

309.024

33
1990

HU ISSN 0865-0497

14.

1990

1-2

itd

izotóptechnika, diagnosztika

Felelős szerkesztő: Veres Árpád

A szerkesztőség címe:

Az MTA Izotópkutató Intézete
Budapest, Pf. 77, 1525

Felelős kiadó: Földiák Gábor

Készült az MTA Központi Fizikai
Kutatóintézete házi sokszorosí-
tójában.

Felelős vezető: Gonda Péter

Törzsszám: KFKI-90-198

A szerkesztőbizottság:

Bába Miklós, Baranyai Lajos, Fehér
László, Földes János, Illy József,
Jánoki Győző, Kárteszi Mihály, Ke-
szei Csaba, Köteles György, Len-
gyel Tamás, Márton József, Máté
Ferenc, Medveczky László, Molnár
Gyula, Szilvási István

1990-től terjeszti az
MTA IZOTÓPKUTATÓ INTÉZETE

Megrendelésükre számlát küldünk.
Címünk:

BUDAPEST, Pf. 77, 1525

Előfizetési díj egy évre 320 F
Egyes szám ára 80 F

Megjelenik évente négyszer.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE!

A kéziratot két példányban, magyar
nyelven, magyar, orosz és angol
nyelvű címmel, ábra- és táblázat-
felirattal, eredeti közlemény ese-
tén pedig ugyancsak e három nyelv-
ven készült, kb. 100 - 150 szónyi
kivonattal kérjük. A helyesírás
az akadémiai helyesírás szabályait
kövesse, a mértékegységek pedig az
SI-t.

Rajzos ábrát tussal kihuzva vagy i-
gen fekete vonalú gyorsmásolatban,
fényképet eredetiben kérünk. A ké-
peket, rajzokat kivánságra vissza-
küldjük.

A szerkesztőség a stiláris és he-
lyesírási változtatás jogát fenn-
tartja magának. A szerzők korrektu-
rát és 50 különlenyomatot, valamint
egy tiszteletpéldányt kapnak.

Hirdetést felvesszünk, kongresszusi
felhívást, értesítést, hirt szive-
sen fogadunk.

*

Az IZOTÓPTECHNIKA, DIAGNOSZTIKA a
hazai izotópkalkalmazás és klinikai
kémiai fejlesztés szerteágazó terü-
leteiről és aktuális elvi, valamint
módszertani eredményeiről kíván le-
hetőleg teljes képet adni a hazai
szakembereknek. Célja, hogy a stabi-
lis és radioaktív izotópok és nem
aktív diagnosztikumok orvosi, mező-
gazdasági, ipari felhasználásában el-
ért alap- és alkalmazott kutatási
eredményekről, a sugártechnika és
sugárvédelem időszerű és módszerta-
ni kérdéseiről, a radioaktív hul-
ladék biztonságos kezeléséről és
más, hasonló területekről tájékoz-
tasson.

*

Utibeszámló, konferenciabeszámoló,
összefoglaló tanulmány, könyvismer-
tetés formájában tájékoztat az ér-
demesnek ítélt hazai és külföldi e-
redményekről. Ismertetést, vitacik-
ket, tájékoztatót közöl a hazai
szakmai körök életéről, problémáiról,
javaslatairól.

itd¹⁹⁹⁰₁₋₂

izotöptechnika, diagnosztika

33. évfolyam

TARTALOMJEGYZÉK

Beszámoló a radiofarmakonok nem várt mellékhatásáról és minőségi hibájáról az Országos Gyógyszerészeti Intézet-hez 1988-ban beérkezett reklamációkról Rakiás F., Bodor E-né	1
Отчет о полученных Государственным Фармацевтическим Институтом в 1988-ом году заявлениях о неожиданном побочном действии и качественных недостатках радиофармацевтических препаратов Report to the National Institute of Pharmacy on Adverse Effects and Quality Defects of Radiopharmaca in 1988	
IODOBELL® ¹²³ I-MIBG készlet radiokémiai vizsgálata Bodor E-né, Rakiás F., Paál T. Радиохимическое испытание набора IODOBELL® ¹²³ I-MIBG Radiochemical Testing of the IODOBELL® ¹²³ MIBG	5
A TÁPCSATORNA MOTILITÁSÁNAK RADIOIZOTÓPOS VIZSGÁLATA A MAGYAR GASTROENTEROLÓGIAI TÁRSASÁG IZOTÓPDIAGNOSZTIKAI SZEKCIÓJÁNAK ÜLÉSE, BUDAPEST, 1989. január 26 МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОДВИЖНОСТИ ГАСТРОИНТЕСТИНАЛЬНОГО ТРАКТА СОВЕЩАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ГРУППЫ "ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА" ВЕНГЕРСКОГО ГАСТРОЭНТЕРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА NUCLEAR MEDICINE METHODS IN EVALUATING GASTROINTESTINAL MOTILITY MEETING OF THE TASK GROUP "NUCLEAR MEDICINE" OF THE HUNGARIAN SOCIETY OF GASTROENTEROLOGY	19
BEVEZETÉS Szilvási I. ВВЕДЕНИЕ PREFACE	21

I. PATOFIZIOLÓGIA, KLINIKUM	23
ПАТОФИЗИОЛОГИЯ, БОЛЕЗНИ	
PATHOPHYSIOLOGY AND DISEASE	
A nyelőcső funkcionális betegségeiről Kiss J.	23
Функциональный порок пищевода	
Functional Disorders of the Esophagus	
A felső emésztőtraktus motilitászavarai Simon L., Régi Cs.	26
Пороки подвижности верхнего дигестивного пути	
Motility disorders of the upper digestive tract	
Az epeuti motilitás néhány kérdéséről Szántó I.	30
Билиарное расстройство	
Biliary Dyskinesia	
II. IZOTÓPDIAGNOSZTIKA, VIZSGÁLÓ MÓDSZEREK	33
МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ	
NUCLEAR MEDICINE METHODS	
A nyelőcső-motilitás radioizotópos vizsgálata Pasztarak E.	33
Радиоизотопная оценка подвижности пищевода	
Radioisotopic Evaluation of the Esophageal Motility	
Az epeutak motilitási zavarainak radioizotópos vizsgálata Juhász L.	36
Радиоизотопная оценка билиарного расстройства движений	
Radioisotopic Evaluation of the Biliary Dyskinesia	
A SZIMPÓZIUM VITÁJÁNAK ÖSSZEFOGLALÓJA Szilvási I.	38
ДИСКУССИЯ	
DISCUSSION	
MUNKAEGÉSZSÉGÜGYI, KÖZEGÉSZSÉGÜGYI ÉS SUGÁREGÉSZSÉGÜGYI KUTATÁSOK, A MTESZ IFJUSÁGI TANÁCSA TÁMOGATÁSÁVAL AZ ORSZÁGOS KÖZEGÉSZSÉGÜGYI INTÉZET RENDEZÉSÉBEN 1989. SZEPTEMBER 29-ÉN TARTOTT V. TUDOMÁNYOS KONFERENCIA	41
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ГИГИЕНЕ ТРУДА, ОБЩЕСТВЕННОМУ ЗДРАВООХРАЩЕНИЮ И РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЕ, V-АЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, БУДАПЕШТ, 29 СЕНТЯБРЯ 1989. Г.	
STUDIES IN PUBLIC HEALTH, LABOUR HYGIENE AND RADIOHYGIENE Vth SCIENTIFIC CONFERENCE, BUDAPEST, SEPTEMBER 29, 1989	
E L Ő A D Á S O K K I V O N A T A I	
A tumornekrózis-faktorok szintézisének indukciója egérben Kocsis K., Kovács I., Takács A.	45
Citokinindukció besugárzott szervezetben Kovács I., Kocsis K., Köteles Gy.	46

Mikronukleusz-képződés OH' gyökfogók jelenlétében besugárzott emberi limfocitákban Kormos Cs., Köteles Gy.	47
DNS-hibajavitást befolyásoló tényezők vizsgálata Karcagi V., Püspöki J., Vincze I.	48
Csökkentett glutathiontartalmu sejtek sugárérzékenységének vizsgálata Rétlaki M., Gázsó L.G., Dám A.M.	49
Az antivirális állapot kialakulását megelőző molekuláris változások Markovits A.	50
A proflavin és glikozidjainak in vitro genotoxikológiai vizsgálata Kelecsényi Zs.	51
Szexhormonok hatása a lipidmetabolizmusra Wachnik A., Biró L.	52
Kloramfenikol meghatározása állati szövetekből Bencsik K.	52
A koleszterin spontán oxidációjával keletkező vegyületek biológiai hatásai, előfordulásuk ételmisszerben Kertészné Lebovics V.	53
Anyatej-hamisítás kimutatása zsírsavösszetétel alapján Nyircsák K., Czuczy P., Gaál Ö.	53
A hazai sugáregészségügy néhány megoldandó problémája Jung J.	54
Sugárveszélyes munkahelyek számítógépes nyilvántartása Jung J.	54
Szerves oldószer metabolitjainak biológiai hatása és a kimutatásuk lehetősége humán expozíció esetén Legoza J., Biró Zs.	55
A magyar lézer-biztonságtechnikai szabvány előkészítése Bakos J., Szabó D. L.	56
Monitorok egészségkárosító hatásai, a védelem lehetőségei, különös tekintettel az elektromágneses és az elektrosztatikus terekre Jánosy G., Gáspár S., Szabó D. L.	56
Budapest belváros benz/A/pirén szennyezettségének alakulása a forgalomkorlátozás hatására Bejczy K., Kertész M.	57
Kombinált talajhigiénés normák kidolgozásának kísérleti és vizsgálati módszerei Farkas H.	57
A monorierdei talajszennyezés hatásának kísérletes toxikológiai vizsgálata Mayer G., Farkas H.	58

A sugársterilizálás hatása különféle típusú műanyagokra Sipos M., Adamis Z-né	59
Emberi csontszövetminták ^{90}Sr -tartalmának sugáregészségügyi értékelése Turai I., Sztanyik B. L., Stur D.	59
A hazai népesség jódelátottsága javításának sugáregészségügyi fontosságáról Turai I.	60
Az NK-370 típusú gamma-spektrométer adatfeldolgozó rendszerének továbbfejlesztése Giczi F., Urbán M., Somlósi J.	61
3. RÖNTGENEMISSZIÓS ANALITIKAI SZEMINÁRIUM, VESZPRÉM, 1989. NOVEMBER 27-29	63
3-й СЕМИНАР ПО РЕНТГЕНОЭМИССИОННОМУ АНАЛИЗУ г. ВЕСПРЕМ, 27-29 НОЯБРЯ, 1989 г.	
3rd SEMINARY ON X-RAY EMISSION ANALYSIS, VESZPRÉM, NOVEMBER 27-29, 1989	
BEVEZETÉS Bacsó J.	66
ВВЕДЕНИЕ PREFACE	
A totális reflexió alkalmazása a röntgenemissziós analízisben (Irodalmi áttekintés) Bacsó J.	67
Использование полного рассеяния в радиометрическом измерении Application of Total Reflection in XRF	
Új foton- és részecskedetektálási elvek és módszerek (Kriogenikus detektorok) Kalinka G.	77
Новые принципы и методы регистрации фотонов и частиц: криогенные детекторы New Principles and Methods of Photon and Particle Detection: Cryogenic Detectors	
Kis rendszámú fő komponenseket tartalmazó minták izotópjelöltéses röntgenfluoreszcenciás vizsgálata Méray L.	89
Анализа проб, содержащих главные компоненты низкого атомного номера с помощью возбужденной изотопом рентгенофлуоресценции Analysis of Samples with Light Major Components Using Isotope Induced EDXRF	
Röntgensöves jelöltés ED röntgenspektrométerekben, eredmények és lehetőségek Kis-Varga M.	95
Рентгеновские трубки для возбуждения при энергодисперсивных спектрометрах: результат и возможности (Обзор) Tube Excitation in Energy Dispersive X-Ray Spectrometers: Results and Possibilities (Review)	

- Si(Li) detektorok hűtési lehetősége Joule-Thomson-effektus felhasználásával
Máthé Gy. 104
- Возможность охлаждения Si(Li) детекторов использованием эффекта Джоуля-Томсона
- The Cooling Possibilities of Si(Li) detectors by Means of Joule-Thomson Effect
- Izotópperjesztésű, szekunder targetes forrás tervezése félvezető detektoros röntgenspektrométerekhez
Kalinka G. 107
- Разработка двухступенчатого источника для рентгеновских спектрометров с полупроводниковыми детекторами
- Development of a Secondary Target Source for Energy Dispersive X-Ray Spectrometers
- PIXE-indukált röntgenfluoreszcencia és alkalmazásai
Szőkefalvi-Nagy Z., Demeter I., Le Huong Quynh 114
- Метод рентгеновской флюоресценции, индуцированной PIXE, и его применение
- PIXE Induced XRF and Its Applications
- Energiadisziperzív röntgenemissziós analitika alkalmazása biológiai és geológiai minták elemösszetételének a meghatározására
Uzonyi I. 120
- Применение метода энерго-дисперсивного рентгеноэмиссионного анализа для определения элементарного состава биологических и геологических проб
- Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis for the Measurement of Elemental Composition of Biological and Geological Samples
- Katalizátorok ritkaföldfém-tartalmának meghatározása
Csikósné Hartyáni Zs., Mándy T. 127
- Определение содержания редкоземельных металлов в катализаторах
- Determination of Rear Earth Content of Catalysts
- Elektron-mikroszondás mennyiségi elemzés: módszerek és alkalmazások a geokémiai kutatólaboratóriumban
Nagy G. 133
- Количественный анализ электронным микрозондом: методы и применения в исследовательской лаборатории по геохимии
- Quantitative Electron Microprobe Analysis: Methods and Applications in the Laboratory for Biochemical Research
- Mikroszkópikus részecskék elemzése szinkrotronsugárzás keltette röntgenfluoreszcenciával (SRXRF) és elektron-mikropróba analizissel (EPMA)
Török Sz., Sándor Sz. 140
- Исследование микроскопических частиц методами рентгеновской флюоресценции на пучке синхротронного излучения и электроннозондового анализа
- Individual Microscopic Particle Analysis by Synchrotron Radiation X-Ray Fluorescence (SRXRF) and Electron-Probe Micro Analysis (EPMA)

Niobium-93m neutronindikátorok aktivitásának meghatározása	
Szalóki I., Szegedi S., Váradi M., Buczkó M., Pázsit Á., Divós F.	146
Определение активности индикаторов нейтронов из ниобия-93м	
Determination of the Activity of Niobium-93m Neutron Indicators	
⁵⁵ Fe aktivitás meghatározása XRF berendezéssel	
Gresits I., Ormai P., Solymosi J., Nagy L.Gy.	151
Анализ ⁵⁵ Fe рентгенофлуоресцентным анализатором	
Determination of ⁵⁵ Fe Content by XRF Equipment	
ATOMKI REA-BERENDEZÉS ÜZEMELTETŐINEK LISTÁJA	155
A REA SZEMINÁRIUM RÉSZTVEVŐINEK LISTÁJA	157

BESZÁMOLÓ A RADIOFARMAKONOK NEM VÁRT MELLÉKHATÁSÁRÓL ÉS MINŐSÉGI HIBÁJÁRÓL AZ ORSZÁGOS GYÓGYSZERÉSZETI INTÉZETHEZ 1988-BAN BEÉRKEZETT REKLAMÁCIÓKRÓL

Rakiás Ferenc, Bodor Elekné

Országos Gyógyszerészeti Intézet, Budapest, Pf. 450, 1372

(Érkezett 1989. július 4-én)

A nemzetközi és hazai adatok ismerete alapján mind a radiofarmakonok alkalmazása során észlelt mellékhatások, mind a radiofarmakonok minőségi hibáival kapcsolatos bejelentések gyakorisága csekély. A betegek és a gyógyszerbiztonság érdeke ennek ellenére megkívánja, hogy a rendelkezésre álló adatok feldolgozásával további értékelhető adatokhoz jussunk. Ez vezérelte a Magyar Orvosi Nukleáris Társaságot, amikor 1984-ben csatlakozott a Európai Nukleáris Medicinai Társaság mellékhatásokkal és minőségi hibákkal foglalkozó koppenhágai központjának munkájához. Az adatgyűjtést 1987-ig az Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugáregészségügyi és Sugárbiológiai Kutató Intézet végezte, és továbbította.

1988. januárjától ezt a feladatot az Országos Gyógyszerészeti Intézet végzi, tekintettel arra is, hogy a 19/1970 (Eü. K. 10) Eü. M. rendelet ezt a feladatot az OGYI-ra ruházta, másrészt az OGYI szervesen részt vesz más, hasonló, jól működő hálózatok, mint pl. a WHO vagy a KGST gyógyszer mellékhatás-figyelő központjának munkájában.

Az OGYI a beérkezett jelentéseket értékeli, számítógépen nyilvántartja, és feldolgozza. Irodalomfigyelést is folytat, és amennyiben a tapasztalt mellékhatásra vonatkozó figyelemre méltó közleményt talál, azt a bejelentőnek, többletinformációként, szintén megküldi.

A bejelentés egyszerűsítésére kétféle bejelentőlapot dolgoztunk ki: az egyik a nem várt mellékhatásra, a másik a minőségi kifogásra vonatkozik (1. és 2. ábra).

1988-ban nem várt mellékhatásról öt izben érkezett bejelentés (1. táblázat). Ezek közül négy allergiás jellegű volt, hármat kénkolloid, egyet a Phosphon okozott. Az ötödik bejelentés hazai gyártású ^{67}Ga -citrátra vonatkozott, amely téves negatív eredményével a beteg halálát okozta.

Minőségi hibát három esetben jeleztek, valamennyi technéciumgenerátorra vonatkozott. Az eluálásra szánt fiziológias konyhasót tartalmazó edény két esetben nem volt felcímkézve, egy esetben a generátor eluálási hatékonyságát kifogásolták (2. táblázat).

Mindezek alapján elmondhatjuk, hogy a bejelentések kis száma valószínűleg nem fedi a valós esetekét. Feltehetően az izotóplaboratóriumok amúgy is tulter-

Országos Gyógyszerészeti Intézet
1372 Budapest 5. Pf: 450

(A megfelelő válaszok aláhúzendók!)

Bejelentés radiofarmakon nem várt mellékhatásáról

Kizárólag tudományos adatgyűjtésre, valamint az European Joint Committee on Radiopharmaceuticals (EJCR) részére továbbítandó bejelentés céljára.

1. A beteg neve : testsúlya : kg
születési ideje :
2. A bejelentő neve : Munkahelye :
telefonja :
3. A mellékhatásért gyanúsítható radiofarmakon neve :
beadás módja : dózisa : gyártója :
gyártási száma :
4. A jelzéshez használt radionuklid/generátor gyártója és a gyártási sorozat száma :
.....
5. Egyéb egyidejűleg és/vagy megelőzően alkalmazott gyógyszerek :
Egyéb egyidejű kezelések : (sugár-, fizioterápia, diéta) :
Egyéb tényezők : (alkohol, diabetes, dohányzás) :
6. ELŐZMÉNY : A gyanúsított radiofarmakkal korábban vizsgálták-e ? igen - nem
Okozott-e figyelemre méltó tüneteket ? igen - nem
Éspedig :
7. AZ ÉSZLELT NEM VÁRT MELLÉKHATÁS KEZDETE : 19....., hó nap, óra
Az ellenreakció típusa :
- allergia - pirogén - gyógyszerhatás - ismeretlen
Az ellenreakció kifejlődése : lassú, akut, halálos
Ha az ellenreakció/mellékhatás az alkalmazott radiofarmakonra vezethető vissza, úgy annak lefolyása
-lassú -közepes -igen gyors
8. A mellékhatás részletes leírása :
.....
9. A nem várt hatással összefüggő (labor) eredmények :
10. A MELLÉKHATÁS MIATT a betegek kezelést igényelt : igen-nem
kórházi beutalást igényelt - nem igényelt
teljesen gyógyult - következménnyel gyógyult - kezelés alatt áll - meghalt
A halál oka :
11. Egyéb megjegyzés, anamnézis, részletek bővebb ismertetését a hátoldalon kérjük.

Dátum :

Aláírás :

Országos Gyógyszerészeti Intézet
1372 Budapest 5. Pf: 450

(A megfelelő válaszok aláhúzendők!)

Bejelentés radiofarmakon minőségi hibáiról

Az European Joint Committee on Radiopharmaceuticals (EJCR) részére továbbítandó bejelentés céljára.

1. A bejelentő neve : Munkahelye :
telefonja :

2. Radiofarmakon neve :
gyártója : gyártási száma :

3. A jelzéshez használt radionuklid/generátor gyártója és a gyártási sorozat száma :
.....

4. A RADIOFARMAKON MINŐSÉGI HIBÁI

4.1- A szállítás során megsérült

- A címke hibás, rossz, elrontott
- A csomagolás hibás
- Külső, radioaktív szennyezettség tapasztalható
- Egyéb

4.2- Hány darabot kapott a kifogásolt készítményből :

- Hány darabot vizsgált a kifogásolt készítményből :
- Hány mutatta a jelzett hibát :

4.3- A készítmény zavaros, nem tiszta oldat, abban lebegő részek vannak.

- A készítmény oldás után nem áttetsző, zavaros, szemcsemérete nem megfelelő
- A készítmény jelzési határfoka nem kielégítő :% -ban jelződött.
- A készítmény radiokémiai tisztasága nem megfelelő, abban az alábbi szennyezőket tapasztaltam :
.....% -ban mértem.
- A készítmény radioizotópos tisztasága nem megfelelő :szennyező
izotópokat mértem,% -ban
- A készítmény pH-ja nem megfelelő, pH=.....
- A készítmény szerveleszlása nem megfelelő
- A készítmény sterilítése nem megfelelő; pirogén.

4.4- Ha generátort használt, úgy annak kinyerési határfoka nem kielégítő:.....%.

5. Egyéb megjegyzést, a részletek bővebb ismertetését a hátoldalon kérjük

Dátum :

Aláírás :

1. táblázat

1988-ban bejelentett mellékhatások és típusok

Неожиданные побочные действия и их типы, заявленные в 1988 г.

Adverse effects and their types reported in 1988

Radiofarmakon	A bejelentések száma	A mellékhatás	A kezelt betegek száma
^{99m}Tc -kén-kolloid	3	allergia	1
^{99m}Tc -Phosphon	1	allergia	1
^{67}Ga -citrát	1	téves negatív	meghalt

2. táblázat

Az 1988-ban bejelentett minőségi hibák

Качественные недостатки, заявленные в 1988 г.

Quality defects reported in 1988

A generátor típusa	A minőségi hiba	A bejelentett esetek száma
Boris Kidric	elválási hatékonyság	1
ROTOP	cinkézetlen üvegek	2

*

1988-ban öt mellékhatás-bejelentés érkezett intézetünkhöz; négy allergiás típusu volt, hármat kénkolloid, egyet Phosphon okozott. Egy téves negatív diagnózist magyar gyártmányu ^{67}Ga -citrát okozott. Izotópgenerátorok minőségi hibáiról szintén három jelentést kaptunk.

ОТЧЕТ О ПОЛУЧЕННЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИМ ИНСТИТУТОМ В 1988-ОМ ГОДУ ЗАЯВЛЕНИЯХ О НЕОЖИДАННОМ ПОБОЧНОМ ДЕЙСТВИИ И КАЧЕСТВЕННЫХ НЕДОСТАТКАХ РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Ракияш, Ф., Бодор, Э.

Институт получил 5 заявлений о побочном действии. Четыре из них были аллергического типа, три были вызваны коллоидами серы, один - фосфоном. Мы получили заявление о фальшивом отрицательном диагнозе, вызванном ^{67}Ga -цитратом. Три заявления занимались качественными недостатками Tc-генераторов.

REPORTS TO THE NATIONAL INSTITUTE OF PHARMACY ON ADVERSE EFFECTS AND QUALITY DEFECTS OF RADIOPHARMACA IN 1988

Rakiás, F., Bodor, E.

Five reports on adverse reactions were received: four of allergic type, three caused by sulphur colloid and one by Phosphon. A false negative diagnosis by ^{67}Ga -citrate was also reported.

The reports on quality defects of ^{99m}Tc generators were also received.

helt munkatársai felesleges adminisztrációnak tekintik a mellékhatások és észlelt minőségi hibák jelzését, még az általunk egyszerűsített nyomtatvány beküldése formájában is.

Ez uton is szeretnénk kérni munkatársainkat, hogy a betegek, valamint a gyógyszerbiztonság érdekében tegyenek meg mindent, hogy minél több ilyen, értékelhető információhoz jussunk, s ezeket közkinccsé téve valamennyiünk munkáját segíthesük.

IODOBELL® ¹²³I-MIBG KÉSZLET RADIOKÉMIAI VIZSGÁLATA

Bodor Elekné, Rakiás Ferenc, Paál Tamás

Országos Gyógyszerészeti Intézet, Budapest, Pf. 450, 1372

(Érkezett 1989. november 27-én)

A guanetidin analóg meta-jód-benzil-guanidin (továbbiakban MIBG) ¹²⁵I és ¹³¹I, valamint ¹²³I-dal jelezve a nyolcvanas évek elején tört be a nukleáris medicinába, mint radiofarmakon. A pheochromocytoma¹⁻³ és neuroblastoma^{4,5} diagnosztizálására, illetve a miokardium^{6,7} leképzésére alkalmas.

Az MTA Izotópkutató Intézete által kifejlesztett, új hazai készítmény, a IODOBELL-MIBG in vivo diagnosztikai készlet előnye, hogy radioaktív jelzését a felhasználó laboratóriumban lehet elvégezni. A farmakon jelzése a rövid (13 óra) felezési idejű, kis, $E_{\gamma} = 159$ keV energiájú ¹²³I-dal, IODOBELL technikával történik. A kötetlen ¹²³I mennyisége a 24 órás felhasználási idő végéig sem haladhatja meg az 5%-ot.

A készítmény törzskönyvezési eljárása során, radiokémiai osztályunkon végzett radionuklid-jelzés után ellenőriztük - egyrészt az előállító által be-terjesztett, másrészt az irodalomban⁸ közölt módszerrel - a törzskönyvezéshez szükséges tíz gyártási tételt. Felülvizsgáltuk az egyes méréstechnikai paraméterek - a hordozóréteg minősége, a fejlesztőkamra felépítése (légtér telítettsége és homogenitás), a kifejlesztés hőmérséklete és időtartama - hatását. Eredményeink matematikai, számítógépes feldolgozásával meghatároztuk az ideális vizsgálati körülményeket.

Összehasonlítottuk a kereskedelmi forgalomban lévő ¹²³I-MIBG (IRE cég terméke) és az újonnan kifejlesztett, hazai IODOBELL technikával előállított termék radiokémiai tisztaságát.

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

ANYAGOK

A MIBG összetétele: meta-jód-benzil-guanidin, ammónium-szulfát, pH=5,0 Walpole-pufferben oldva.

A jelzés: IODOBELL technikával, ¹²³I izotóppal (Nal).

A 155°C-os hőkezelés alatt lejátszódik az izotópcseré, és a ¹²³I - csaknem kvantitatívan - kovalens kötéssel beépül a MIBG molekula aromás magjába.

A radiokémiai tisztaság meghatározása: Polygram SIL N-HR és Kieselgel 60 rétegen, üvegkádban és Gelman-kádban.

MÓDSZEREK

2-8°C-on, illetve 25°C-os hőmérsékleten, 60, 90 és 120 perces kifejlesztési idővel határoztuk meg a készítményben lévő kötetlen ^{123}I mennyiségét. Minden vizsgálathoz mindkét vékonyréteget egyidejűleg használtuk: egy fejlesztőkádban helyeztük el a kétféle kromatográfiás lemez 2x20 cm-es csikjait. A 3-3 párhuzamos vizsgálati minta mellett összehasonlító mintaként kifejlesztettünk egy-egy, a jelzésre szolgáló $^{123}\text{I-NaI}$ -t, valamint egy-egy inaktív kálium-jodidot is.

A kötetlen jodid helyének azonosítása céljából minden egyes csikra először 5-5 μl -t cseppentettünk fel az összehasonlító anyagként szolgáló, 0,2%-os kálium-jodid oldatból, és csak a csepp megszáradása után vittük fel a radioaktív MIBG-t, illetve a ^{123}NaI -t. A kifejlesztett kromatogramot KIO_3 -os előhívóval befujva megjelenítettük a felvitt kálium-jodidot, majd a rutin mérési és kiértékelési eljárással meghatároztuk a radiokromatogramon is a ^{123}I helyét (R_f) és mennyiségét. Az inaktív KI kémiai egyensúlyt megbontó hatásának kizárására, minden alkalommal kontrollvizsgálatot végeztünk a tiszta $^{123}\text{I-MIBG}$ fejlesztésével is. Az összehasonlított rendszereket foglalja össze az 1. táblázat.

1. táblázat

Összehasonlított kromatográfiás körülmények

Сравненные хроматографические условия

Compared chromatographic conditions

Hordozó lemez	Polygram SIL N-HR és KIESEGEL 60	
Kamrarendszer	üvegkád	és Gelman-kád
Vizsgálati minta	$^{123}\text{I-MIBG}$	és inaktív KI + $^{123}\text{I-MIBG}$

ÉRTÉKELÉS

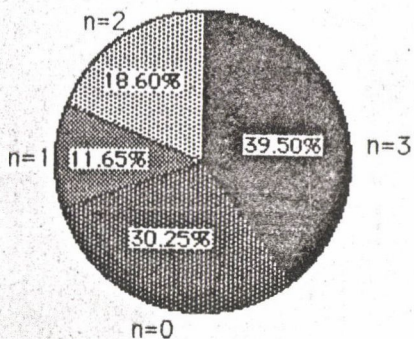
A $^{123}\text{I-MIBG}$ és kötetlen ^{123}I kémiai azonosítását az R_f értékük alapján, mennyiségüket az összaktivitás százalékában adtuk meg. Tájékoztató R_f értékek az irodalom szerint⁸:

$$\begin{aligned} {}^{123}\text{I-MIBG } R_f &= 0,1, \\ {}^{123}\text{NaI } R_f &= 0,6. \end{aligned}$$

A kromatogramok rutin radiokémiai mérését és kiértékelését Packard Auto-Gamma 500 C és a hozzá csatlakoztatott Hewlett-Packard számítógéppel végeztük. Az eredményeket és R_f értékeket a 95%-os konfidenciaintervallumon belül vizsgáltuk, Macintosh Plus számítógéppel végezve a matematikai és statisztikai kiértékelést.

EREDMÉNYEK

Megállapítottuk, hogy a gyártó által betervezett metodika - POLYGRAM SIL N-HR lemez és üvegkád - nem az optimális rendszer a $^{123}\text{I-MIBG}$ radiokémiai tisztaságának ellenőrzésére. Megvizsgálva valamennyi, üvegkádban kifejlesztett POLYGRAM SIL N-HR lemez 3-3 párhuzamosát (43 vizsgálat) a kötetlen ^{123}I megjelenése függvényében, majd a kapott megoszlást százalékban kifejezve azt tapasztaltuk, hogy a vizsgálatoknak csupán alig 40%-a értékelhető optimálisan (1.ábra).

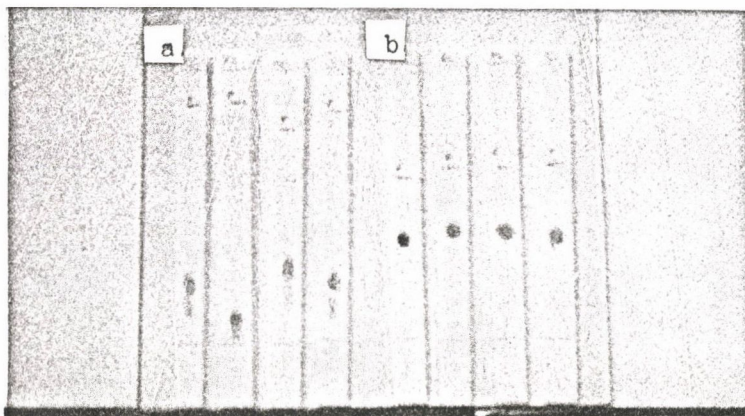


1. ábra

A kötetlen jodid megjelenése a három párhuzamos (n) csikon százalékban, 43 vizsgálat során

Появление несвязанного йодида в трех параллельных полосах (n) в процентах, в ходе 43 испытаний

Appearance of unbound iodine on three parallel (n) samples in percents, during 43 tests



2. ábra

Üvegcádban /a/ és Gelman-kádban /b/ kifejlesztett kromatogramok POLYGRAM SIL N-HR lemezen

Хроматограммы, развитые в стеклянной ванне /a/ и в ванне Гельмана /b/ на пластинке POLYGRAM SIL N-HR

Chromatograms developed in glass /a/ and Gelman /b/ chamber on POLYGRAM SIL N-HR plate

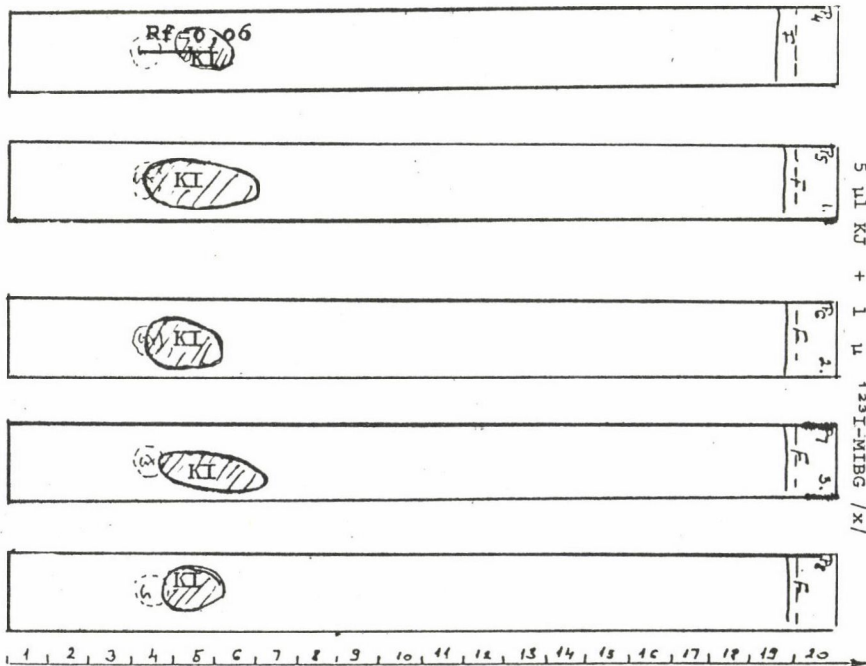
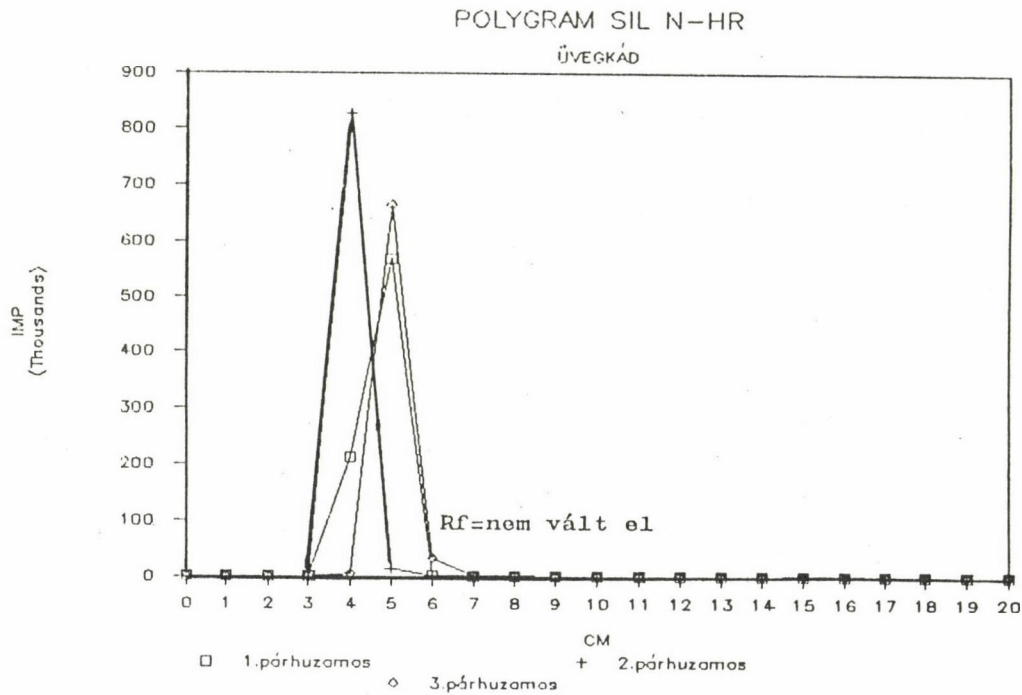
Kálium-jodiddal kombinált vizsgálatainkkal igazoltuk, hogy még a 19 cm-ig, illetve 120 percig fejlesztett kromatogramokon sem válik el minden esetben a kötetlen jodid a radiofarmakontól: bizonytalan és elhuzódó elmozdulása miatt (2. ábra) a 100%-nak mért radiokémiai tisztaság nem megbízható eredmény. A mérés-technikai hibát az okozza, hogy az üvegcádban nem egyenletes az oldószer-gőz eloszlása a kamra légterében. A légmentesen nem zárható kádban, a hordozó-réteggel szemben lévő - a légtér nedvesítésére szolgáló - szűrőpapírról egyenetlenül diffundáló oldószer hamar átnedvesíti a hordozó réteget, és ezáltal megszünteti annak szívó hatását.

Ezt támasztotta alá az a tény is, hogy a Gelman-kádban a párhuzamosan futtatott valamennyi csikon a radioaktív kiértékelés során, az előhívott, inaktív KI-t tartalmazó területen mértük, jól értékelhetően, a kötetlen ^{123}I szennyeződést. A radiokémiai tisztasági eredményeket a 2. táblázat foglalja össze.

A 3-6. ábra azt szemlélteti, hogy a KI foltok és a radiokromatogram Rf értékei azonosak.

Igazoltuk a kétféle vékonyréteglemez összehasonlítása során, hogy az irodalom szerinti KIESELGEL 60 réteg a megfelelő hordozó a radiojelzett MIBG szennyeződésének elválasztására. A 7. ábra jól szemlélteti, hogy a kifejlesztett kromatogramok egyenletesen fejlődnek mindkét kamrában.

Az Rf értékek matematikai statisztikai feldolgozása során kapott diagramokról (8. és 9. ábra) leolvasható, hogy ez a vékonyréteg még üvegcádban is megbízhatóbb eredményt ad: a kétféle lemezen a közel azonos Rf = 0,5 mellett tapasztalt szórás sd = 0,078-ról lecsökkent 0,045-re.

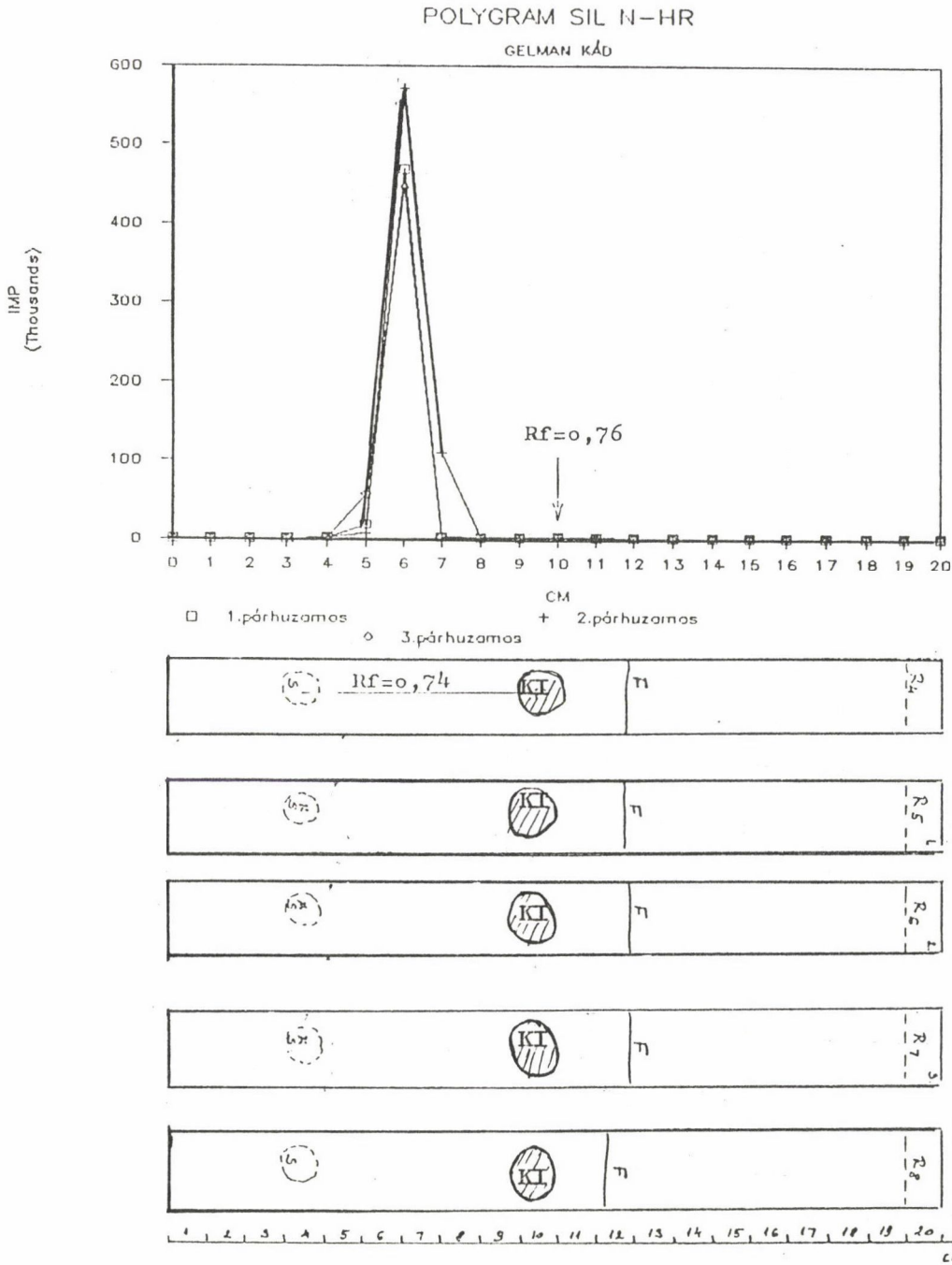


3. ábra

Inaktiv KI-dal megjelenített radiokromatogram POLYGRAM SIL N-HR lemezen, üvegcádban

Радиохроматограмма, меченная неактивным KI, на POLYGRAM SIL N-HR пластинке, в стеклянной ванне

Radiochromatograms imaged with inactive KI on POLYGRAM SIL N-HR plates in a glass chamber

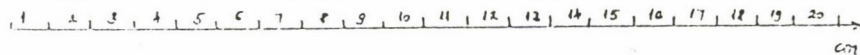
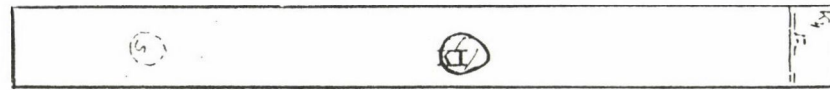
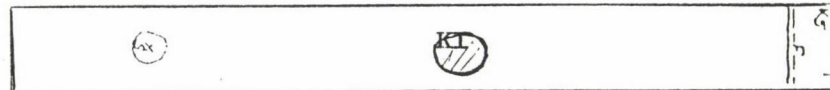
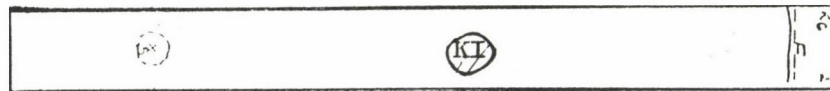
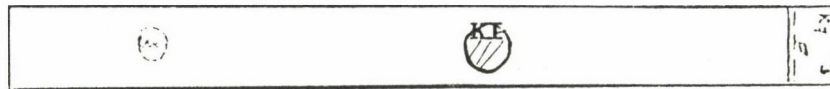
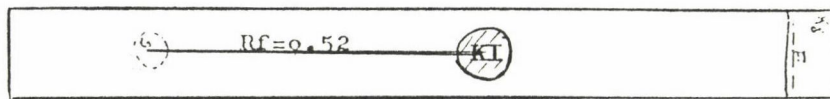
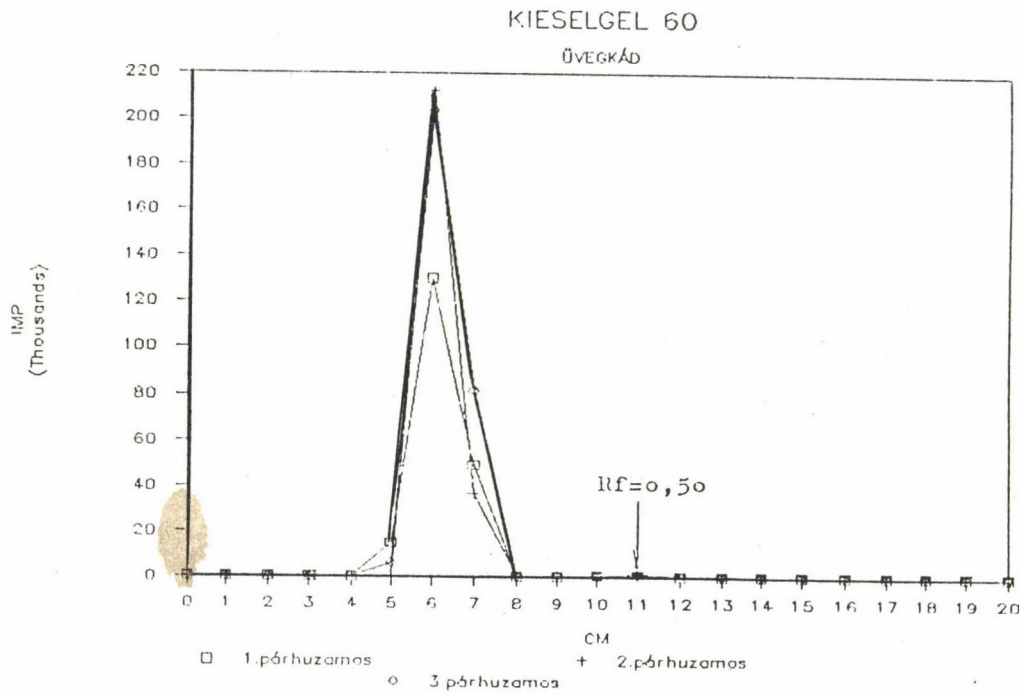


4. ábra

Inaktív KI-dal megjelölt radiokromatogram POLYGRAM SIL N-HR lemezen, Gelman-kádban

Радиоохроматограмма, меченная неактивным KI, на POLIGRAM SIL N-HR пластинке, в ванне Гельмана

Radiochromatograms imaged with inactive KI on POLIGRAM SIL N-HR plates in a Gelman chamber



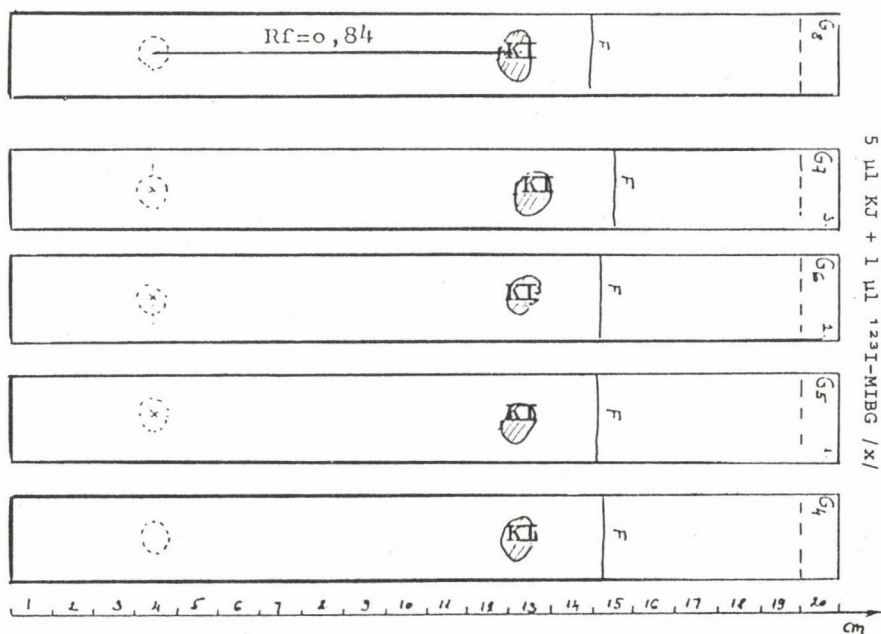
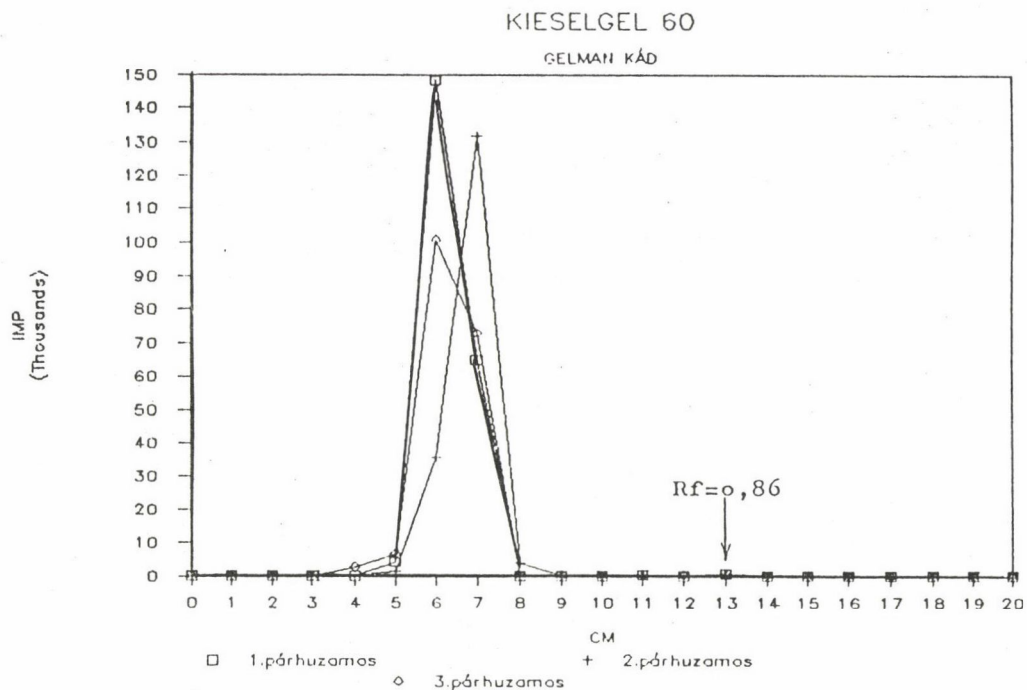
KIESELGEL 60 / ÜVEG KÁDBAN / 90 PERC
5 ml KI + 1 ml 123I-MIBG / X /

5. ábra

Inaktív KI-dal megjelentett radiokromatogram KIESELGEL 60 lemezen, üvegcádban

Радиохроматограмма, меченная неактивным KI, на пластинке KIESELGEL 60, в стеклянной ванне

Radiochromatograms imaged with inactive KI on KIESELGEL 60 plates in a glass chamber



KIESELGEL 60 / GELMAN KÁDRAJ / 90 perc
5 ml KI + 1 ml 123I-MIBG / X/

6. ábra

Inaktív KI-dal megjelenített radiokromatogram KIESELGEL 60 lemezen, Gelman-kádban

Радиохламатограмма, меченная неактивным KI, на пластинке KIESELGEL 60, в ванне Гельмана

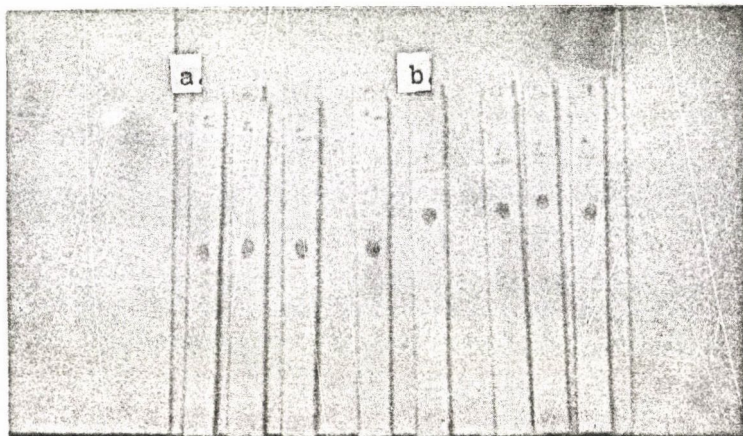
Radiokromatograms imaged with inactive KI on Kieselgel 60, plates in a Gelman chamber

2. táblázat

Radiokémiai tisztaság
Радиохимическая чистота
Radiochemical purity

Fejlesztő kamra	POLYGRAM SIL N-HR				KIESELGEL-60				Mérés ideje nap
	IODOBELL		IRE		IODOBELL		IRE		
	%	sd	%	sd	%	sd	%	sd	
Üvegkád	100,0	0,0	100,0	0,0	99,36	0,430	99,26	0,057	0
	99,92	0,099	100,0	0,0	99,26	0,046	98,70	0,026	+1
Gelman- kád	99,58	0,089	99,03	0,044	99,20	0,311	98,94	0,026	0
	99,34	0,162	98,83	0,045	99,37	0,032	98,82	0,035	+1
					99,33	0,047	98,70	0,080	+2

A két különböző kamrarendszert összehasonlítva megállapítottuk, hogy a Gelman-kád nyújtja az ideálisabb kromatografálási feltételeket, amelyben max. 90 perc alatt beáll a fizikai egyensúly. Amint azt a fényképeken is demonstráltuk, a szennyező komponens elmozdulása nemcsak egyenletesebb, de az Rf értékek tanúsága szerint (amint azt a 10. és 11. ábra, valamint a 3. táblázat szemlélteti) a rövidebb (max. 17,5 cm) oldószerfront ellenére is jobban elkülöníthető a kötetlen jodid a radiofarmakontól.



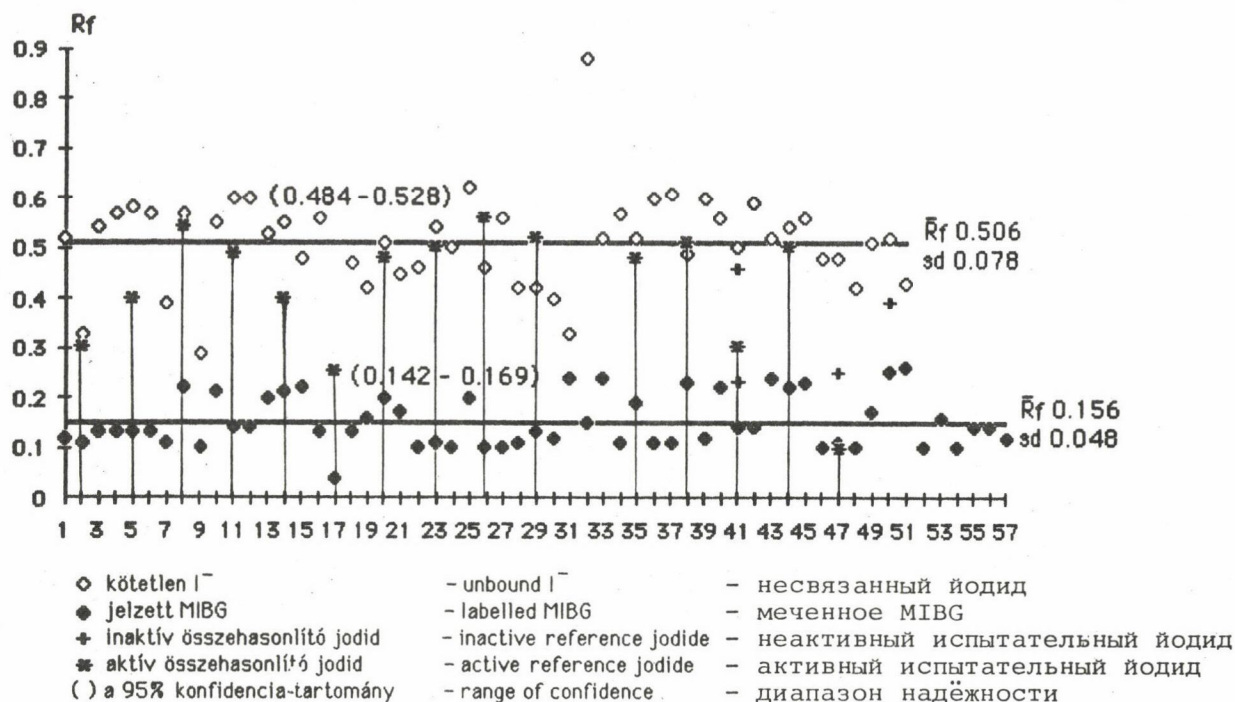
A hazai készletet a külföldi készítménnyel összehasonlítva mindkét radiofarmakon radiokémiai tisztasága megfelelő (4. táblázat), sőt az egy alkalommal 48 óráig végzett vizsgálat szerint a IODOBELL készítmény in vitro stabilitása jobb.

7. ábra

Üvegkádban /a/ és Gelman-kádban /b/ kifejlesztett kromatogramok KIESELGEL 60 lemezen

Хроматограммы, развитые с стеклянной ванне /a/ и в ванне Гельмана /b/ на пластинке КИЕСЕЛГЕЛ 60

Chromatograms developed in glass /a/ and Gelman /b/ chamber on KIESELGEL 60 plate

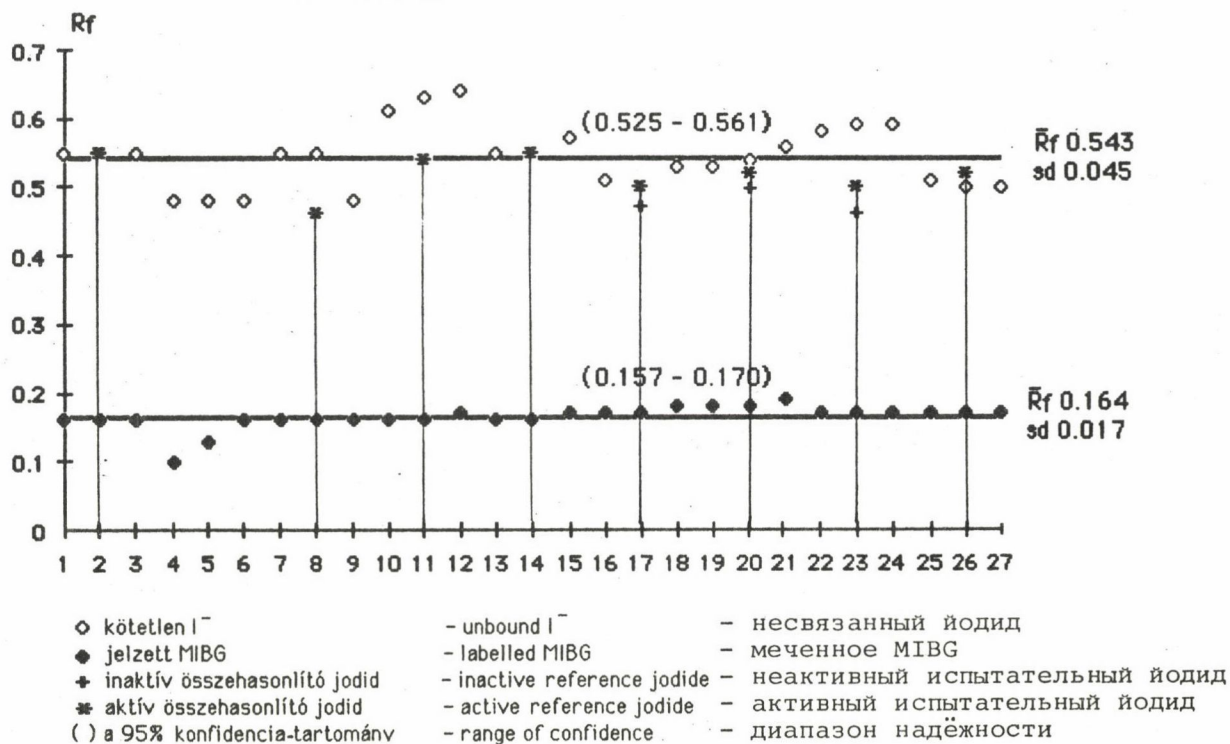


8. ábra

Rf értékek szórása POLYGRAM SIL N-HR lemezen üvegcádban

Разброс значений Rf на пластинке POLYGRAM SIL N-HR, в стеклянной ванне

Deviation of Rf values on POLYGRAM SIL N-HR plates in glass chamber

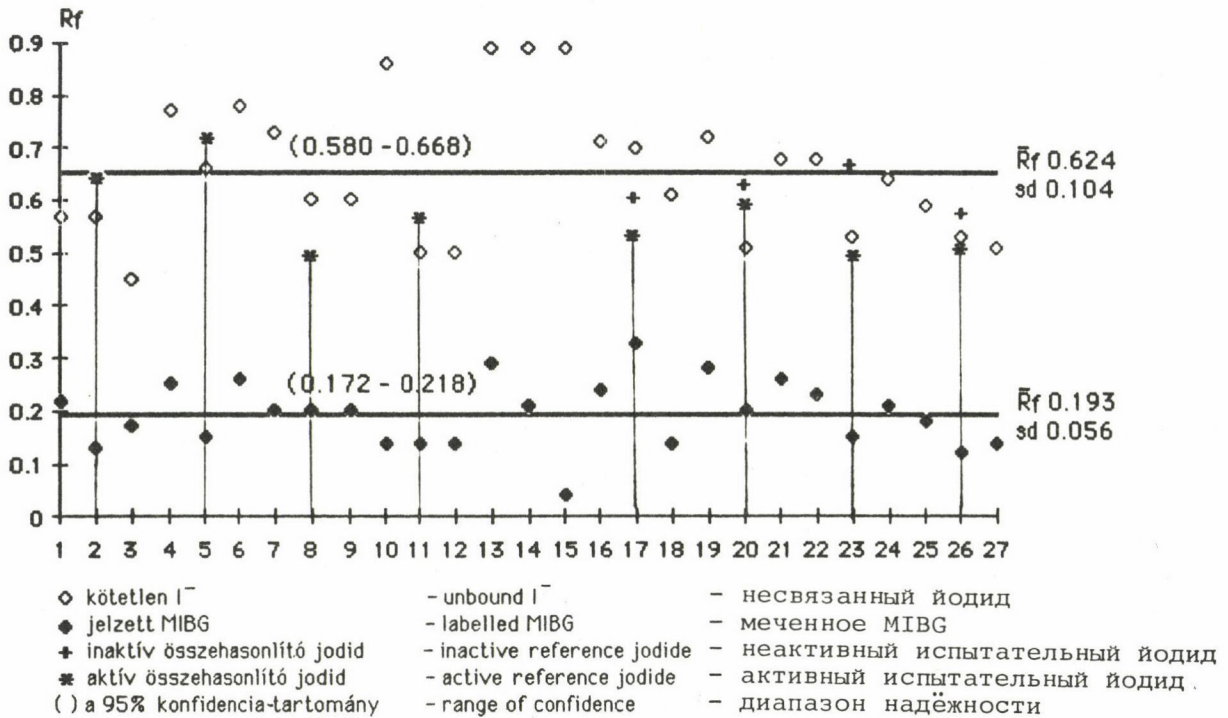


9. ábra

Rf értékek szórása KIESELGEL 60 lemezen, üvegcádban.

Разброс значений Rf на пластинке KIESELGEL 60, в стеклянной ванне

Deviation of Rf values on KIESELGEL 60 plates in glass chamber

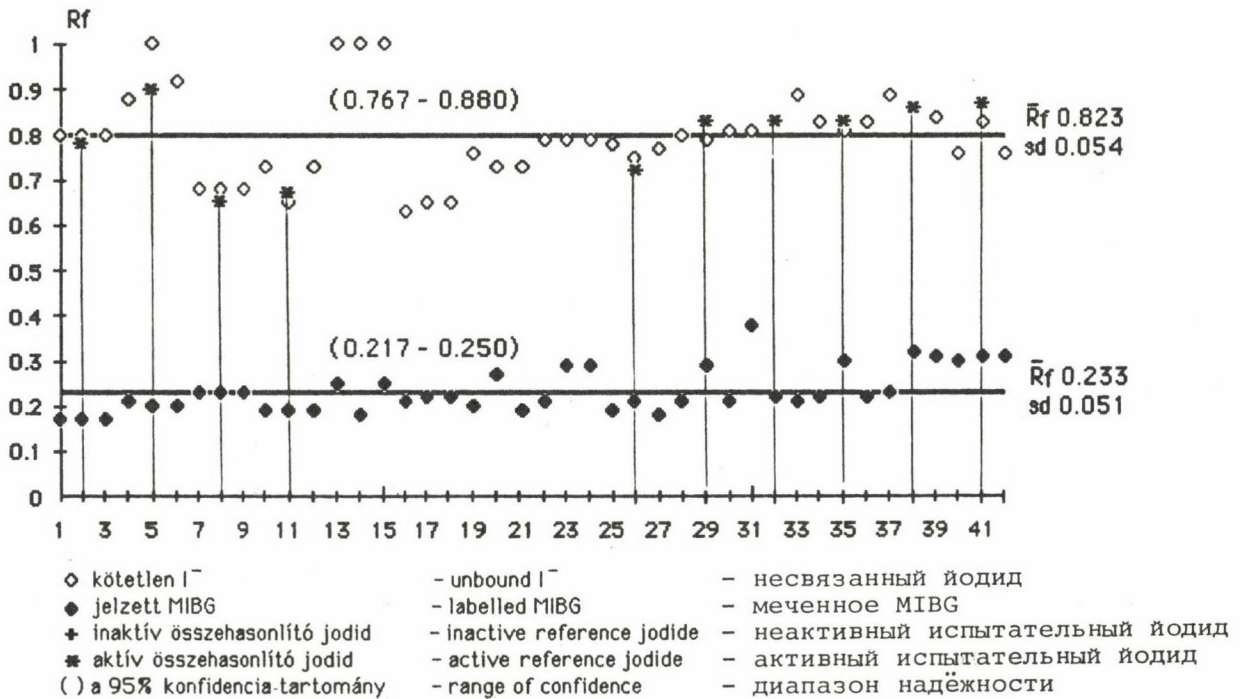


10. ábra

Rf értékek szórása POLYGRAM SIL N-HR lemezen Gelman kádban

Разброс значений Rf на пластинке POLYGRAM SIL N-HR в ванне Гельмана

Deviation of Rf values on POLYGRAM SIL N-HR plates in Gelman-chamber



11. ábra

Rf értékek szórása KIESELGEL 60 lemezen Gelman kádban

Разброс значений Rf на пластинке KIESELGEL 60, в ванне Гельмана

Deviation of Rf values on KIESELGEL 60 plates in Gelman-chamber

3. táblázat

Rf értékek a kétféle kamrarendszerben

Значения Rf в двух системах камер

Rf values in two chambers

	MIBG Rf		Kötetlen ¹²³ I Rf	
	SIL N-HR	KIESELGEL	SIL N-HR	KIESELGEL
Üvegkád	0,16	0,16	0,51	0,54
Gelman-kád	0,19	0,23	0,62	0,82

4. táblázat

Radiokémiai tisztaság (beterjesztett metodika)

Радиохимическая чистота

Radiochemical purity

	Charge szám	0. napon		+1. napon		+2. napon	
		%	sd	%	sd	%	sd
IOJOBELL 123-MIBG	1	98,99	0,274	98,48	0,041	-	-
	2	98,56	0,241	98,48	0,193	-	-
	3	98,54	0,047	99,84	0,070	-	-
	4	99,84	0,092	98,95	0,118	-	-
	5	98,72	0,430	98,93	0,20	-	-
	6	99,77	0,161	100,0	0,0	-	-
	7	99,47	0,395	99,28	0,046	-	-
	8	99,77	0,040	99,85	0,210	-	-
	9	99,75	0,235	100,0	0,0	-	-
	10	100,0	0,0	99,92	0,099	99,34*	0,047
	\bar{n}_{10}	99,44	0,505	99,37	0,623		
IRE	1	-	-	99,50	0,670	98,18	0,311
	2	100,0	0,0	100,00	0,006	98,70*	0,080

*Kieselgel 60 lemezen Gelman-kádban

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során tíz hazai és két külföldi készítményt ellenőriztünk. A 90 kromatográfiás vizsgálatból 43 esetben a beteresztett metodika szerint dolgoztunk, 33 esetben hasonlítottuk össze a POLYGRAM SIL N-HR és a KIESELGEL 60 lemezt, és 34 alkalommal végeztünk vizsgálatot Gelman-kádban. Bizonyítottuk, hogy a törzskönyvezési eljárásra beteresztett vizsgálati eljárás alig 40%-os megbízhatósága miatt nem ideális. Igazoltuk, hogy az irodalomban közölt KIESELGEL-60 lemez a megfelelő vékonyréteg a ¹²³I-MIBG készlet radiokémiai tisztaságának ellenőrzésére. A Gelman-kád biztosítja azokat az optimális kromatográfiás feltételeket, amelyek mellett még a kedvezőtlenebb adottságu POLYGRAM SIL N-HR lemezen is jól értékelhető kromatogramot kapunk. A ¹²³I-dal jelzett MIBG

radiokémiai tisztaságának ellenőrzésére a KIESELGEL-60 lemezt, illetve a készítményhez megadott, nagy illékonyságu kifejlesztő oldószerkegy miatt a Gelman-kádat javasoljuk kamrendszernek; az optimális kifejlesztési idő 90 perc. Végezetül megállapítottuk, hogy standardizáltság szempontjából a vizsgált készítmények egyenértékűek, sőt a hazai termék in vitro stabilitása jobb.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki Hartmann Mihályné szakasszisztensnek a mérések kivitelezésén túl a statisztikai feldolgozásban, illetve Bodó Zoltánnak a számítógépes feldolgozásban nyújtott segítségért.

IRODALOM

1. *D.M. Ackery et al.*, New Approach to the Localization of Phaeochromocytoma: Imaging with iodine 131-meta-iodobenzylguanidine, *Brit. Med. J.* 288 (1984) 1587
2. *B.S. Jeanne et al.*, Iodine-131 Metaiodobenzylguanidine for the Locating of Suspected Phaeochromocytoma: Experience in 400 Cases, *J. Nucl. Med.* 26 (1985) 576
3. *M. Fischer et al.*, 131-I-Metaiodobenzylguanidine-A New Agent for Scintigraphic Imaging and Treatment of Phaeochromocytoma, *J. Nucl. Med.* 25 (1984) 77
4. *B. Kimming et al.*, Scintigraphy of a Neuroblastoma with I-131 Meta-iodobenzylguanidin, *J. Nucl. Med.* 25 (1984) 773
5. *O. Geatti et al.*, Iodine-131 Metaiodobenzylguanidine Scintigraphy for the Location of Neuroblastoma: Preliminary Experience in Ten Cases, *J. Nucl. Med.* 26 (1985) 736
6. *D.M. Wieland et al.*, Myocardial Imaging with a Radioiodinated Norepinephrine Storage Analog, *J. Nucl. Med.* 22 (1981) 22
7. *R.C. Kline et al.*, Myocardial Imaging in Man with I-123 Metaiodobenzylguanidine, *J. Nucl. Med.* 22 (1981) 129
8. *Hammermaier et al.*, Chromatographische Kontrolle der radiochemischen Reinheit von Tc-99m Methylenediphosphonat (DTPA), I-131/123 Metajodbenzylguanidin (MIBG) und I-123 Jodamphetamin (IAMP), *ISH-Heft.* 119 (1987) 10

*

A hazai gyártásu uj MIBG készlet törzskönyvezési eljárása alkalmával összehasonlítást végeztünk különböző kromatográfiás rendszerek hatékonysága között. Radiokémiai jellemzőit összevetettük egy, a kereskedelmi forgalomban lévő külföldi készítménnyel. Meghatároztuk radiokémiai tisztaságának vizsgálatához szükséges optimális VKR kromatográfiás rendszert. Megállapítottuk, hogy a hazai in vivo diagnosztikai készlet standardizáltság szempontjából egyenértékű a külföldi radiofarmakonnal.

РАДИОХИМИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ НАБОРА IODOBELL ^{123}I -MIBG
Бодор, Э., Ракиаш, Ф., Пал, Т.

В ходе регистрационного процесса набора MIBG отечественного производства мы провели сравнение эффективности различных хроматографических систем. В ходе испытаний мы сравнили радиохимические свойства с находящимся в обороте заграничным препаратом. Была определена оптимальная ТС хроматографическая система, необходимая для испытания радиохимической чистоты ^{123}I MIBG. Мы установили, что с точки зрения стандартизованности, ин виво диагностический набор отечественного производства является эквивалентным с радиофармацевтическим препаратом иностранного производства.

RADIOCHEMICAL TESTING OF THE IODOBELL ^{123}I -MIBG
Bodor, E., Rakiás, F., Paál, T.

During the registration procedure of a new Hungarian MIBG kit, we compared the efficiency of various chromatographic systems. We compared its radiochemical purity with that of a preparation manufactured abroad and already on the market. We worked out the optimal TLC system, necessary for testing the radiochemical purity of ^{123}I -labelled MIBG.
The kit is equivalent to the raidopharmaceutical manufactured abroad.

A TÁPCSATORNA MOTILITÁSÁNAK RADIOIZOTÓPOS VIZSGÁLATA

A MAGYAR GASTROENTEROLÓGIAI TÁRSASÁG
IZOTÓPDIAGNOSZTIKAI SZEKCIÓJÁNAK ÜLÉSE,
BUDAPEST, 1989, JANUÁR 26.

Az Orvostovábbképző Egyetemen lezajlott rendezvényt az OTE hivatalos, továbbképző jellegű szimpóziumaként ismerte el. Az alábbiakban közreadjuk az elhangzott referátumokat, annak reményében, hogy az izotópdiaosztikában dolgozó kollégáink felfigyelnek a gastroenterológusok problémáira, a gastroenterológusok felfedezik az izotópdiaosztika e témakörben igen hatékony módszereit, és ez az egymásratalálás bőviti a gastroenterális rendszer motilitászavarainak mindennapi diagnosztikáját.

Dr. Szilvási István

BEVEZETŐ

Szilvási István

Orvostovábbképző Egyetem, Radiológiai Klinika, Budapest, Pf. 112, 1389

A gastrointestinális rendszer számos funkciója közül a táplálék és az emésztőnedvek "mozgatása", azok tovahaladásának biztosítása, azaz a tápcsatorna *motilitása* kiemelkedő jelentőségű. Az utóbbi években a gastrointestinális rendszer fiziológiájáról és patofiziológiájáról, a motilitás neurohormonális szabályozásáról alapvetően új ismereteket szerezhettünk.

A tápcsatorna motilitásának zavara a legtöbb gyomor-bélrendszeri betegség kísérő jelensége, de gyakran önálló entitás, másra vissza nem vezethető kórkép.

A nukleáris medicina módszerei a *működés* vizsgálatára valók. A gammakamerához csatlakozó adatfeldolgozóval a különféle funkciók - így a mechanikai mozgás, pl. a táplálék tovahaladása is *noninvazíve*, és ami a legfontosabb, *fiziológias körülmények* között vizsgálhatók. Különösen fontos ez a gastroenterális motilitás vizsgálatában, ahol a gyakran igen finom eltérések csak úgy mutathatók ki, csak úgy vizsgálhatók, hogy a vizsgáló műszer, berendezés nem változtatja meg a vizsgált működést. A különféle (endoszkópon át végzett manometriás, pH-mérő stb.) eszközös vizsgáló módszerek részben a sokszor szükséges gyógyszeres előkészítés, részben a bevezetett műszer irritáló hatása folytán nem tekinthetők fiziológias diagnosztikai eljárásnak, eredményük ezért sokszor - a motilitás vizsgálatában - csak korlátozottan értékelhető. Joggal mondhatjuk, hogy a motilitás vizsgálatának éppen a radioizotópos módszerek a legmegfelelőbb vizsgáló eljárásai. A vizsgált - radioizotóppal jelzett - anyag (pl. falat, korty, az epébe jutó radiofarmakon) a működést, a motilitást nem befolyásolja, a külső detektálás a gammakamera-számítógéprendszerrel a tápcsatorna vizsgált részének motilitását "érintetlenül" követi.

A radioizotópos módszerek további előnye, hogy a vizsgálat eredményét *kvantitatíve*, paraméterekkel jellemzi. Ennek a medicinában - és a motilitás vizsgálatában is - az a jelentősége, hogy a normális és kóros működés gyakran mennyiségileg - mértékben, sebességben - különbözik egymástól, azaz a betegség felismerése a számszerű adatok ismeretében lehetséges. Másrészt a különféle paraméterek a betegség, a kórfolyamat, kóros tünet súlyosságát is jellemezhetik, így alkalmasak lehetnek a terápia eredményességének "lemérésére", sikerének megállapítására.

Azaz: a tápcsatorna motilitásának vizsgálatára a nukleáris medicina módszerei igen alkalmasak. Szeretnénk, ha a gastroenterológusok megismernék az izotópdiagnosztika nyújtotta lehetőségeket, élnének eljárásainak előnyeivel, i-

gényelnék a környezetükben lévő izotóplaboratórium segítségét. Másrészt az izotópdiagnosztika tekintélyét, jelentőségét is növelné, így szakmánk életképességét fokozná, ha kollégáink országszerte terjesztenék, közkinccsé tennék fiziológiás, funkcionális, kvantitatív eljárásainkat a tápcsatorna motilitászavarainak vizsgálatában. Ugy gondoljuk, hogy e vérbeli interdiszciplinális szimpózium hasznosan szolgálja a hazai betegellátást.

I, PATOFIZIOLÓGIA, KLINIKUM

A NYELŐCSŐ FUNKCIONÁLIS BETEGSÉGEIRŐL

Kiss János

Orvostovábbképző Egyetem I. Sebészeti Klinika, Budapest, Pf.:112, 1389

Az elmúlt mintegy két évtizedben ismereteink, lehetőségeink a nyelőcső-sebészetben jelentősen gyarapodtak. A megbízható, funkcionálisan is jó eredményt adó műtétek rutin megoldásokká váltak. Az elérhető gyógyeredmények bizonyítják, hogy a régebbi nihilista megítélés tarthatatlan, a nyelőcsőbetegekkel "érdemes" és érdemben kell is foglalkozni.

NYELŐCSŐ-DIVERTICULUMOK

A pulsios nyelőcső-diverticulumok - az esetek többségében - iuxtasphinctericusan helyezkednek el. A sphincter spasmusa vagy inkoordinált működése következtében a fölötté lévő nyelőcsőszakaszban (hypopharyngsban) a nyomás megnő, és az izomfal egy gyenge pontján a nyelőcső-nyálkahártya kitüremkedik. A vaktasakba jutó váladék súlya következtében a nyálkahártyaszák kitágul, puttonyszerűen lógva az alatta lévő nyelőcsőszakasz összenyomásával fokozza a dysphagiás panaszokat. A diverticulumból a váladék regurgitálhat, és különösen fekvő helyzetben aspiratiót okozhat. A leggyakoribb pulsiós diverticulum a *Zenker-diverticulum*, mely a felső oesophagealis sphincter, a crycopharyngealis izomcsoport fölött alakul ki.

Az alsó oesophagealis sphincter fölött az un. *epiphrenalis diverticulum* ritkábban fordul elő. A nyelőcső középső harmadában, a hilus magasságában többnyire a kezelést nem igénylő *tractios diverticulum* szokott megjelenni.

A felső oesophagealis sphincter spasticus vagy inkoordinált működése nem mindig vezet diverticulumképződésre. Ennek ellenére a betegeknek komoly dysphagiás panaszai lehetnek. Nyeléskor "gombócot" éreznek a torkukban. Többségük - panaszát pszichés eredetűnek tartva - ideggyógyászati kezelés alatt áll.

Ezt a kórképet ma már külön entitásnak tartják, és összefoglaló névvel *crycopharyngealis achalasiának* nevezik.

Az oesophagealis sphincter kóros működésére, a diverticulumformatio kialakulására a röntgenvizsgálat hívja fel a figyelmet, mutatja meg a diverticulum nagyságát és pozícióját, a manometria a diagnózist pontosítja.

A diverticulumok kezelése többnyire műtétet igényel: a diverticulum resectióját és oki terápiaként a passage-akadályt jelentő crycopharyngealis izomcsoport átmetszését. Ha a diverticulum még kicsi, csak myotomiát kell végezni, és ezt követően a diverticulum is megszűnik. Crycopharyngealis achalasia esetén is, nyilvánvalóan, csak myotomiára kerül sor.

ACHALASIA CARDIAE

Az achalasia (cardiopasmus) csaknem az egész nyelőcsőre kiterjedő betegség, amelyben az alsó oesophagealis sphincter a nyelés folyamán elégtelenül vagy inkoordináltan lazul el. Az egyre fokozódó passage-zavar, nyelőcsőtágulat következtében az oesophagusban több liter pangó nyál és ételmaradék gyülehet össze. A pangó váladék regurgitálhat, és különösen fekvő helyzetben aspirációs pneumonia, pneumoniasorozatok forrása lehet.

A cardiospasmus korai radiológiai jele a cardia magasságában lévő szűkület és a nyelőcső kistagulat. Amint a betegség súlyosbodik, a klasszikus röntgentűnetek is kialakulnak: a nyelőcső dilatál, megnyulik, kanyargós lefutású, a cardia szűk, de nyálkahártyája ép. (Hasonló radiológiai kép látható lassabban növekvő, submucosusan felfelé terjedő cardiatáji carcinománál! A hisztológiai mintavétellel egybekötött endoszkópos vizsgálat ennek kizárása céljából kötelező!)

Az un. funkcionális nyelőcsővizsgálatok, így a manometria segít a különféle achalasiatípusok, illetve más funkcionális nyelőcsőbetegségek közötti különbségek felismerésében.

Vigorous achalasiánál szimultán és repetitív contractiok, gyakori és magas amplitudók láthatók, melyek nyelésre alakulnak ki. Peristalsis nem látható. A sphincter nem, vagy nem jól lazul el.

Diffúz nyelőcsőspasmus (un. corkscrew oesophagus) manometriai vizsgálata során szimultán, repetitív contractiók láthatók, abnormálisan magas amplitudókkal. Alkalmanként a nyelést normál propulsív hullám követi, normális sphinctertervékenységgel.

"Valódi achalasia"cardiae esetén a nyelőcső alsó része koordinált relaxációjának hiányához a tágult nyelőcső ineffektív szegmentális mozgása társul. A betegség előrehaladtával, a nyelőcsőtágulat jelentős fokozódásakor már ezek a nyelőcsőmozgások is eltűnnek, és csak a cardiatájék ellazulási nehezítettsége figyelhető meg.

Az achalasia cardiae kezelésében ma két lehetőség van. A műtéti megoldás lényege, hogy az ellazulásra képtelen alsó oesophagealis sphinctert átvágják. Annak elkerülésére, hogy a myotomia után gastro-oesophagealis reflux alakulhasson ki, annak minden következményével, antireflux műtétet is célszerű végezni. A pneumaticus tágítás során tulajdonképpen egy "belső, nem kontrollált cardiomyotomia" történik. Hangsúlyozni kell, hogy a diétás kezelés hatástalan, és nem ismeretes olyan gyógyszer sem, amely a nyelőcső, illetve cardiatájék motilitását rendezni, megjavítani képes lenne.

REFLUX OESOPHAGITIS

A rutin gastrointestinalis röntgenvizsgálatok 2-16%-ában mutatható ki hiatus hernia. Azonban nem minden hiatus hernia jár együtt az alsó oesophagealis sphincter záróműködésének elvesztésével, gastro-oesophagealis reflux megjelenésével, és a bizonyított refluxok csak egy részében alakul ki oesophagitis.

Az oesophagitist és egyes stádiumait az endoszkópos vizsgálat és a vele egybekapcsolt hisztológiai mintavétel értékelése mutatja meg. Az oesophagitis kialakulását, a különféle súlyossági fokozatok megjelenését több tényező befolyásolhatja. A nyitott alsó oesophagealis sphincter mellett ilyen tényező a nyelőcső nyálkahártyájával kapcsolatba kerülő regurgitatum összetétele, a nyelőcső öntisztuló képességének zavara, az expozíciós idő és a különféle sejtprotektív anyagok hiánya. Ezek meghatározása (24 órás telemetriás pH-mérés, manometria, izotópclearing vizsgálat stb.) komoly jelentőséggel bír a pontos diagnózis felállításában és az aktuális terápiás módszer megválasztásában, illetve ellenőrzésében.

A hiatus herniák két nagy csoportra oszthatók. A *csuszamlásos /sliding/ herniánál* a gastro-oesophagealis átmenet a mediastinumba csuszik fel, és ezt követi a gyomor kisebb-nagyobb része. Ez az állapot lehetőséget jelent a gastro-oesophagealis reflux megjelenésére, mivel az alsó oesophagealis sphincter-működésben közreműködő tényezők közül több károsodhat. A hiatus hernia nagysága és az esetleg megjelenő reflux oesophagitis súlyossága között nincs összefüggés. *Paraoesophagealis herniánál* a cardiatájék a helyén, tehát a hasüregben marad, és a tágult hiatuson keresztül a gyomor kisebb-nagyobb része (és néha más hasi szervek is) herniálódik a mediastinumba. Előfordulhat a kombinált forma is.

Gastro-oesophagealis reflux következményes reflux oesophagitis hiatus hernia kimutatható jele nélkül is előfordulhat. Ebben az esetben *inkompetens cardiáról* vagy *achalasia cardiaeről* beszélünk.

Gyomorresectio vagy totalgastroectomia után duodeno/jejuno-gastro-oesophagealis, illetve jejuno-oesophagealis *alkalikus reflux* alakulhat ki, mely súlyos, a beteg életét megnyomoritó állapothoz vezethet. A kórok pontos kimutatását a chole-scintigraphiás vizsgálat teszi lehetővé.

A reflux oesophagitist kezelni kell. A gyulladásos nyelőcső-elváltozás progressziója fekély, heges strictura kialakulásához vezethet. A konzervatív kezelés hatástalansága esetén műtétet kell végezni.

A funkcionális nyelőcsőbetegségeket ma már eredményesen tudjuk kezelni. Korai felismerésükhöz, a pontos diagnózis felállításához, a kóroki tényezők megismeréséhez, a funkcionális szemléletre épülő helyes kezelés megválasztásához és az eredmény ellenőrzéséhez új noninvazív vizsgálatok, így az izotóptechnikára épülő eljárások nyújthatnak további segítséget.

A FELSŐ EMÉSZTŐTRAKTUS MOTILITÁSZAVARAI

Simon László, Régi Csaba

Tolna Megyei Tanács Kórháza, Gastroenterológiai osztály, Szekszárd, 7101

A gastroenterológiában napjainkban egyre inkább előtérbe kerül a gastro-intestinum (GI) motilitászavarok problémaköre. Nemzetközi irodalmi adatok tanúsága szerint a gasztroenterológus segítségét kérő betegek kb. 50%-ának irritabilis bélszindrómája van, és sok embernek vannak hasonló panaszai anélkül, hogy ezekkel orvoshoz fordulna. Jelen tanulmányunkban rövid összefoglalását szeretnénk adni a normál és a megzavart GI motilitással kapcsolatos újabb ismereteknek.

A GI TRAKTUS NORMÁL MOTILITÁSA

A gastrointestinum különböző régióinak motoros funkcióit, illetve az ezeket biztosító mechanizmusokat az 1. táblázat mutatja be:

1. táblázat

Fázis	Funkció	Mechanizmus
Digestiv Prox. gyomor	Reservoir A folyadékok kiürítése	Receptív relaxáció és akkomodáció Tónusos kontrakciók (gastroduod. nyomásgradiens)
Distalis gyomor	Őrlés és elfolyósítás A szilárd táplálék kiürítése	Perisztaltikus kontrakciók Antroduodenális koordináció Elfolyósítás után folyadékként való kiürítés
Interdigestiv Prox. és distalis gyomor	Az emészthetetlen maradványok kiürítése	Az MMC (lásd később) késői 2-es és 3-as fázisa

Fázis	Funkció	Mechanizmus
Digestiv	Keverés Propulzió	Szegmentáló, állandó kontrakciók Perisztaltikus kontrakciók Tovahaladó kontrakciós rohamok A kontraktilitás oroaboralis gradiense
Interdigestiv	A béllumen üresen és sterilen tartása	Az MMC késői 2-es és 3-as fázisa

A NORMÁLIS GI MOTILITÁS FIZIOLÓGIÁJA

A normális GI motilitás myogén és neurohormonális szabályozás alatt áll. Ezek a bélfal simaizomsejtjeiben jellemző elektrofiziológiai változásokat hoznak létre.

A myogen elektromos aktivitás legjellemzőbb, domináló képviselői a ciklikusan jelentkező un. lassu hullámok (LH). Ezek mind a gyomorban, mind pedig a vékonybélben egy-egy gastricus, illetve duodenalis pacemaker területről erednek, s önmagukban csak igen gyenge kontrakciókat eredményeznek. Erősebb, effektív kontrakciók létrejöttéhez ezen alapritmusra túskepotenciálok (spikes) szuperponálódása szükséges (illetve a gyomornál ezt szuperponált oszcilláció, illetve az LH plató potenciáljának emelkedése - azaz erősebb depolarizáció - is létrehozhatja).

A lassuhullám-aktivitás jellemzőit, illetve a túskepotenciálok szerepét a 2. táblázatunk foglalja össze, feltüntetve a gastricus és az intestinális aktivitás közti különbségeket is.

2. táblázat

Lassu hullámok	Distalis gyomor (a középcorpus, illetve ettől lefelé)	Vékonybél
Előfordulása pacemaker területen	Mindenütt (omnipresent) Középcorpus nagygörbületes oldala	Mindenütt (omnipresent) Pars descendens duodeni, a papillaszint körül
Frekvenciája	3/min	11-12/min
Frekvenciaplatók	A pacemaker terület által meghatározott egyetlen frekvenciaplató	Frekvenciaplatók /"frekvenciagradiens"/
A kontrakciók ereje	Gyenge, ineffektív	Gyenge, ineffektív
Tüskék (vagy az LH plató egyéb változásai)	Effektív kontrakciókat eredményeznek A kontrakciók ereje a tüskék számától, amplitudójától, vagy az LH plató fázisában a depolarizáció mértékétől függ	Effektív kontrakciókat eredményeznek A kontrakciók ereje a tüskék számától és amplitudójától függ
	Proximalis gyomor az MMC-as fázisát kivéve, elektromosan csendes	

Mind a vegetatív plexusoknak, mind a központi idegrendszernek fontos szerepe van a GI motilitás szabályozásában. A túskepotenciálokat - és így az effektív kontrakciókat - meghatározó tényezők valószínűleg főként neurogénválaszok a bélfal kemo-, termo-, és mechanoreceptorainak stimulációjára. Az utóbbi időben bizonyossá vált, hogy e mechanizmusok jól szervezett, specifikus motilitási mintákat hoznak létre mind a digestív, mind az interdigestív fázisban.

Ezidáig - elsősorban a vékonybélben - számos motilitási mintát írtak le, melyek közül a legismertebb s legjellemzőbb az un. vándorló motoros komplex

(Migrating Motor Complex, MMC). Ez az interdigesztív fázis jellegzetes mintája. A gastroduodenalis területen ered, s lassan halad aboralis irányban, le egészen a terminalis ileumig. A terminalis ileum elérését követően újabb komplex indul "fentről", s ez ciklikusan egészen addig ismétlődik, amíg a mintát a táplálkozás meg nem szakítja.

Az MMC négy egymást követő fázisra osztható: a nyugalmi fázisra, a szabálytalan motoros aktivitás fázisára (ISA, Irregular Spike Activity), az "aktivitási front", ritmikus kontrakciókitörések fázisára (RSA, Regular Spike Activity) és az 1-es fázishoz való gyors visszatérésre. A 3-as fázisnak alapvető szerepe van az emészthetetlen maradékok kiürítésében s a béllumen üresen és sterilen tartásában.

A gyomor MMC-je több tekintetben különbözik a vékonybél MMC-jétől. Az emberi gyomorban a tipikus 3-as fázisaktivitás csak rövid ideig áll fenn, s inkább a motilin, mint a vegetatív idegrendszer szabályozása alatt áll.

A GI MOTILITÁS ZAVARAI

A GI motilitás zavaraiival összefüggésbe hozható kórképeket a 3. táblázat mutatja be.

3. táblázat

	Primer	Secunder
A tranzit késése obstrukció következtében	Achalasia Pylorus stenosis	Intestinalis obstrukció
A tranzit késése defektív propulzió következtében	Postvagotomiás gastroparesis Idiopathiás intestinalis pseudobstructio	Oropharyngealis dysphagia Diabeteses gastroenteropathia Paralyticus ileus Progressiv systemás sclerosis Dysautonomia (Shy-Drager sy.) Chagas-betegség Myxoedema
Gyorsult tranzit	Dumping syndroma Postvagotomiás diarrhoea Irritabilis bél syndroma	Carcinoid syndroma Infect diarrhoea
Retrográd tranzit	Bukás Hányás	Gastroesophagealis reflux Duodenogastricus reflux Metabolikus hányás Bacterialis túlnövekedés

Milyen elektrofiziológiai változások állhatnak a megzavart motilitás hátterében? Számos olyan elektrofiziológiai abnormalitást ismerünk, amely kapcsolatba hozható bizonyos motilitási rendellenességekkel. Ilyen patológiás motilitási eltéréseket mutat be a 4. táblázat.

	A gyomor motilitás zavarai	A vékonybél-motilitás zavarai
A lassuhullám-ritmus rendellenességei	<ul style="list-style-type: none"> - ectopias pacemaker - a normál pacemaker területéről eredő <p>Extradepolarizáció Extrasystoleszerű → retrograd kontrakció Tachygastria - általános abnormális, antralis pacemaker területéről ered - retrograd kontrakció /hányinger, hányás/ Tachyarrhythmia - egy vagy több ectopias pacemaker - eredménye: az antrum nem mutat mechanikus aktivitást 3-as fázis arrhythmia</p>	<p>Tachy- és bradyrhythmia /hyperthyreosis, hypothyreosis/ Paroxysmalis tachyrrhythmia /Q-komplex/ - chronicus diarrhoea - nyerstejivők</p> <p>A lassu hullámok fordított frekvenciagradiens /ectopiás pacemaker/ - krónikus, tisztázatlan eredetű hányinger és hányás Intermittáló lassuhullám-aktivitás - intestinals pseudoobstructio</p>
Az interdigestiv minták rendellenességei /3-as fázis abnormalitások/	<p>A 3-as fázis hiánya /diabeteses gastroparesis, vagotomia/ - bezoárképződési hajlam - tisztázatlan eredetű hányinger, hányás A 3-as fázis csökkent előfordulása /gyomor- és nyombélfekély/ A 3-as fázis retrograd terjedése A rölöngált 3/min-os ritmus</p>	<p>A 3-as fázis hiánya /jejunalis bakterialis túlnövekedés/ Gyorsult 3-as fázis terjedési sebesség /carcinoid tumorok/ Csökkent 3-as fázis terjedési sebesség /autonom neuropathia/ A 3-as fázis retrograd terjedése /myotoniás dystrophia/ Stacioner 3-as fázis /CCK és Cisaprid hatás!!/ Hypertoniás 3-as fázis /NUD/ Megszakított 3-as fázis</p>
2-es fázis rendellenességek		<p>Egyszeri tovahaladó kontrakciók fokozott előfordulása /secretoros diarrhoea/ Rendellenes kitörés aktivitás /mucosalis bakteriális invázió, illetve károsodás/ Ultrarapid kontrakciók fokozott előfordulása /secretoros diarrhoea/ A 2-es fázis hiánya /somatostatinhatás/ Hypomotilitási-hypermotilitási minták /NUD/</p>
A digestiv minták rendellenességei	<p>A koplalási minták étkezés utáni fennmaradása /NUD/ Az antrum postprandialis hypomotilitása /atrophas gastritis/ /NUD/ /diabetes/ A proximalis gyomor zavarai /Chagas-betegség/ /diabetes/</p>	<p>A koplalási minta étkezés utáni fennmaradása /NUD/ Az étkezési minta időtartamának eltérései /Ulcus duodeni/</p>

AZ EPEÚTI MOTILITÁS NÉHÁNY KÉRDÉSÉRŐL

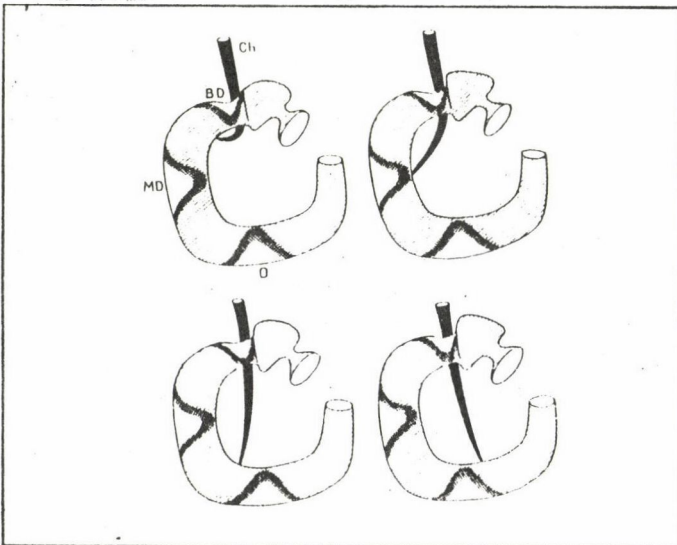
Szántó Imre

Orvostovábbképző Egyetem, II. Sebészeti Klinika, Budapest, Pf.: 112, 1389

A Vater-papilla anatómiai felépítése és élettani funkciója teszi lehetővé az epe és a pancreasnedv zavartalan duodenumba jutását, ugyanakkor megakadályozza a duodenumnedv refluxát e vezetékek felé. Az Oddi-sphincter /OS/ állandó mozgásban van, ami elernyedésből és összehuzódásból áll.

Az OS tónusa az intraduodenalis és intracholedochalis nyomástól függ: például ha a duodenumban a nyomás csökken, akkor a papillán átfolyó epe mennyisége nő. Az idegi szabályozástól megfosztott sphincter automáciája gyorsan helyreáll, ennek anatómiai alapját Kántor a papilla területén megfigyelt ganglionsejtek jelenlétével magyarázza.

Az OS élettani szerepére a duodenumban lévő "sphincterterületek" is befolyással vannak. A közöttük lévő kölcsönhatás elsősorban az epevezeték és a duodenum anatómiai viszonyaitól függ.



A "sphincterterületeket" élőben vagy cadaverben nehéz megtalálni, de funkcionális vizsgálattal jól kimutathatók.

Az OS és a duodenum sphincterek közötti kapcsolatról jól tájékozódhatunk endoszkópos retrográd cholangiopancreatographia (ERCP) során is. Mi is megfigyeltük, hogy ha a duodenum a Vater-papilla szintjén kontrahálódik, akkor az OS is záródik. Ha azonban a duodenum elernyed, az OS bizonyítva függetlenségét - kinyílik, vagy zárva marad.

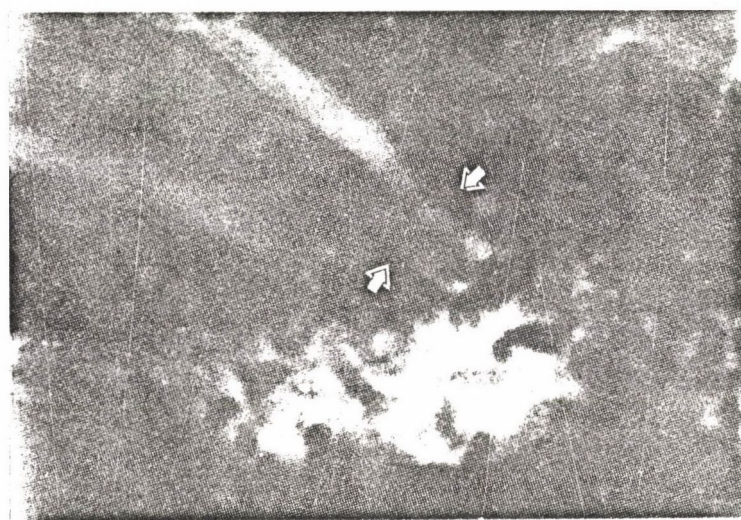
A sphincter superior és infundibulum hagyományos orális és intravénás cholegraphiával is jól megitélhető.

A Vater-papilla három szerv (máj, duodenum, pancreas) találkozási pontján van, így érthető, hogy bármelyikben létrejövő legkisebb anatómiai vagy funkcionális zavar a papillában következményekkel járhat.

EPEUTI DYSKINESIS

A különféle diagnosztikus módszerek eltérő alkalmazása, valamint a nem standardizált vizsgálatok miatt klinikailag sem jól definiált betegcsoport tartozik ide. A bevezetőben említettek miatt valószínűleg gyakrabban fordulnak elő, mint azt gondolnánk.

Hess, epeuti dyskinesisen az epeutak fájdalommal járó funkciózavarát érti. A funkcionális zavarok tüneteivel is társulhatnak, ugyanakkor organikus epebetegség tüneteit is utánozhatják. E tünetek gyakran együtt járnak más biliaris sphincterzavarok tüneteivel, társulhatnak a duodenumban lévő "sphincterterületek" funkcionális rendellenességeivel. Például görcsökkel járó colitis vagy duodenalis ulcus esetén az OS és a duodenális sphincterek spasmusa ép epehólyag mellett is az epének a duodenumban való felgyülemelését okozhatja, ami a beteg panaszait fokozhatja.



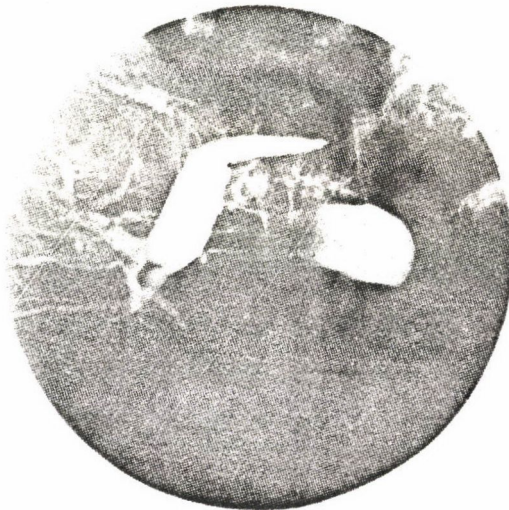
Az epeutak tónuszavarai két csoportba oszthatók. Egyik esetben sem lehet a cholecystában organikus okot kimutatni. Az egyik csoport a hypertoniás dyskinesia; ilyenkor az epehólyag kicsiny, fokozott tónusu, ugyancsak fokozott az OS, valamint a ductus cysticus sphincterének tónusa is. Az epehólyag kezdetben összehúzódik, de a kontrakció mindkét sphincter ellenállásába ütközik. A betegnél kő okozta epegörcsökhöz hasonló fájdalom lép fel. Évek múlva a cholecysta petyhüdtté válik, összehúzódásra képtelen, és a ductus choledochus is kitágul.

HYPOTONIÁS DYSKINESIS

Ilyenkor az epehólyag részlegesen vagy teljesen kontrakcióképtelen, petyhüdt, pang benne az epe. Az OS állandóan nyitott, az epeutak szabályos tágaságúak. A dyskinesis ezen formái mint önálló epeuti betegségek ritkán fordulnak elő.

Az epeuti dyskinesisek azon csoportját, amelyek a ductus cysticus területén lévő elfolyási akadály következtében alakulnak ki, syphopathiának nevezzük. Ilyenkor az epehólyag kiürülése mechanikusan akadályozott. Leggyakoribb oka a ductus cysticus megtöretése, amit környezeti gyulladások idéznek elő. Ritkábban okozza cysticitis, adenomatosis, rendellenes septumképződés az epehólyag nyak területén.

Mi az epeuti dyskinesisek önálló formájának tartjuk azokat a ductus hepatocholedochus területén kialakult megtöretéseket, amelyek cholecystectomiát, külső epeuti drainage-t vagy gyomorresectiót követően alakulnak ki. Ezeket az epeut környezetében lezajló gyulladás következményének tartjuk. Előfordulhat azonban nem operált betegben is.



A megtöretés különféle mértékű lehet, légzéssel paralell fokozódik. Az akadályozott epepassage miatt a megtöretés fölött epeuttágulat alakulhat ki, az gyulladásához, kőképződéshez vezethet, fájdalommal járhat.

Az epeuti dyskinesiseknek ezt a formáját ERCP-vizsgálatok során mutatjuk ki, a dinamikus cholescintigraphia felhívhatja a figyelmet az elfolyási akadály helyére és mértékére.

OS-DYSKINESIS

Az OS-dyskinesziát el kell különíteni a Vater-papilla stenosisától, azonban ez néha nem lehetséges. Az OS megváltozott motilitása folytán a duodenum felé az epe ürülése zavart. A nyomás növekedése fájdalmat okozhat. Fontos megemlíteni, hogy ilyenkor a Vater-papillán strukturális elváltozás nem igazolható. A hypertoniás és hypotoniás dyskinesisek között az előbbi a gyakoribb forma. Ez dinamikus cholescintigraphiával jól detektálható; a vizsgáló módszer a beteget nem terheli, objektív. A bevezetőben említettek miatt az OS-dyskinesis gyakrabban fordulhat elő, mint hinnénk, ugyanis a közeli vagy távoli szervben zajló betegség, bizonyos gyógyszerek megzavarhatják az OS motoros működését.

A VATER-PAPILLA STENOSIS

Ez olyan klinikai szindróma, amelyet visszatérő hasi fájdalom, ritkán recidiváló pancreatitis jellemez. Etiológiájában a Vater-papilla akut vagy krónikus gyulladása játszik szerepet. Szeleczy egyértelműen szekunder jelenségnek tartja. Anyagában az esetek 98,4%-ában a jóindulatu szűkületet az epeutak köves, gyulladós betegségeiben, régebben végzett cholecystectomiák esetében találta. Szekunder jellegéből adódóan minél régebben áll fenn az epekövesség, annál gyakrabban fordul elő. Az akadályozott epeelfolyás a pangó epe fertőződéséhez, cholangitishoz, majd májcirrrosishoz vezethet. A ductus Wirsungianussal való szoros kapcsolat révén a pancreasra is kedvezőtlenül hathat, krónikus pancreatitist okozhat. A pancreasnedv elfolyási akadályozottsága esetén a ductus Wirsungianus jelentős mértékben kitágulhat, különösen akkor, ha a ductus Santorini nem drenálja a fővezetékét.

A Vater-papilla stenosisának fel nem ismerése epeműtét során később újabb műtétet tehet szükségessé. Hess anyagában a reoperált betegek között az "elnezett stenosis" 32,5%-ban fordult elő. A szűkület miatt a betegek egy része a műtét után nem válik panaszmentessé (ez az ún. "postcholecystectomiás szindróma" egyik oka), megmarad az epeelfolyás akadályozottsága, a bacteriemia, s ezek később epeuti kövek keletkezéséhez vezethetnek.

A cholelithiasishoz társuló OS-dyskinesisek megelőzésében vagy megszüntetésében a legfontosabb az idejében elvégzett műtét; ez a Vater-papilla stenosis kialakulásának megelőzésében is lényeges szempont.

A Vater-papilla dyskinesisek, -stenosis diagnosztikájában a leginkább fiziológiásnak a dinamikus cholescintigraphiát tartjuk, ami jól jelzi az epeelfolyás akadályozottságát. A stenosis megállapításában az epe duodenumba való lelassult ürülésének igazolása mellett a következmények laboratóriumi, röntgenológiai és ultrahangvizsgálattal végzett detektálása alapvető jelentőségű.

Az intraoperatív afiziológiás körülmények miatt a papillastenosis praeeoperatív kimutatására kell törekedni még akkor is, ha pl. a choledocholithiasishoz társuló dyskinesist a papillastenostól nehéz elkülöníteni.

Miután a Vater-papilla közelében zajló folyamatok (duodenitis, ulcus duodeni, ulcerativ colitisek, krónikus pancreatitis, juxtapapillaris diverticulumok) befolyásolhatják a duodenobiliaris sphinctereket, a beteg kivizsgálása során figyelembe kell venni e betegségek lehetőségét. A dyskinesisek kórismézése során a duodenum és a Vater-papilla motoros működését befolyásoló gyógyszerek tartós alkalmazását kerülni kell!

II. IZOTÓPDIAGNOSZTIKA, VIZSGÁLÓ MÓDSZEREK

A NYELŐCSŐ-MOTILITÁS RADIOIZOTÓPOS VIZSGÁLATA

Pasztarak Erzsébet

Tolna megyei Tanács Kórház-Rendelőintézet, Izotópdiaosztikai Laboratórium,
Szekszárd, 7101

A nyelőcső vizsgálatára szolgáló izotópos módszert először Kazem és munkatársai közölték 1972-ben. Részletes metodikai közlemény Tolintól és Malmudtól származik, 1979-ből. A módszer lényege azóta sem változott, noha számos módosított változata létezik. Ezek a kivételezésben és a kiértékelés módjában különböznek.

A vizsgálat műszeres feltétele: gammakamera és számítógépes adatfeldolgozó.

A radionuklid oesophagus szcintigráfia noninvazív, egyszerűen kivitelezhető módszer. Fiziológiai körülmények között vizsgálható a paciens. Kis sugárterheléssel jár, és a funkcióról kvantitatív adatok nyerhetők.

MÓDSZER

A gammakamera detektora előtt - álló, ülő vagy fekvő pozícióban - elhelyezett beteg éhgyomorral, egy nyelvéssel egy radioaktív falatot (bolus) nyel le, amely többnyire folyadék vagy félszilárd bolus (tejben főzött dara, bébiétel). Jelölésre ^{99m}Tc -DTPA-t vagy -kénkolloidot használunk, 20-30 MBq dózisban.

A nyelés folyamatát egyidejűleg számítógépes adatfeldolgozóban rögzítjük, tetszőleges frame-időekkel, melyek megválasztása függ a bolus konzisztenciájától és a nyelőcső várható motilitási zavarától.

ÉRTÉKELÉS

A számítógépes frame-sorozat megtekintéséből az oesophagus különböző szakaszaira és a gyomorfundusra helyezett ROI-kból generált időaktivitás-görbék értékeléséből áll. Az értékelés során a görbeadatokból kiszámítható

- a radionuklid oesophago-gastricus tranzitideje (az az idő, amely alatt a nyelőcsőbe jutott maximális aktivitásnak legalább 90%-a elhagyja az oesophagust), és a
- tranzitidő a nyelőcső (felső, középső, alsó) szakaszára.

INDIKÁCIÓK

- Minden olyan dysphagias beteg vizsgálata, akinél a nyelőcső morfológiái vizsgálata nem mutatott organikus elzáródást vagy szűkületet (achalasia, DES, "nutcracker" oesophagus)
- Az ilyen alapon kórismézett, primer motilitászavarban szenvedő beteg kór- állapotának pontos motorikai jellemzése, a terápia megválasztása, illetve effektusának objektív értékelése céljából
- Kardio-pulmonológiai okokkal nem magyarázható mellkasi fájdalmak differenciáldiagnosztikája
- Diabeteses gastro-enteropathiák, perifériás neuropathiák korai felismerése, esetleg a gyógyszeres beállítás helyességének megállapításaira

AZ EPEUTAK MOTILITÁSI ZAVARAINAK RADIOIZOTÓPOS VIZSGÁLATA

Juhász László

Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Kórház-Rendelőintézet, II. Belgyógyászati Osztály, Miskolc, Pf. 188, 3501

Az epeutak motilitási zavarai vonatkozásában két kórképről szükséges szólni: az epehólyag dyskinesiséről, és az Oddi-sphincter (O.s.) dyskinesiaról. Mindkét entitás tisztán funkcionális, tehát organikus megbetegedés kizárása szükségszerű, azaz az összes rendelkezésre álló képalkotó eljárás negatív eredményű. Mivel mindkét kórkép tünetei hasonlatosak az elsősorban cholelithiasisban észlelt postprandialis fájdalmakhoz, az ultrahang, postcholecystektomiás panaszok esetén pedig az ERCP (O.s. dyskinesia általában postcholecystektomiás panaszok esetén jön szóba) előfeltétel.

Epehólyag-d dyskinesia esetén a cholecysta ingerre bekövetkező kontrakciója elmarad, vagy nem kielégítő. Ennek oka lehet az epehólyag simaizomzatának primer kontrakciós gyengesége vagy a d. cystikus fokozott resistenciája lehet. Vizsgálatának módja: ^{99m}Tc IDA vegyületet intravénásan adunk be, majd cholecystokinin-/CCK/-infúzió adása után meghatározzuk a cholecysta un. ejekciós frakcióját gammakamerás detektálás alapján. Standard körülmények között e viszonyszám jól jellemzi a cholecysta kontrakciós képességét, felmérhetjük ultrahang vagy hagyományos orális cholecystographia alapján is, a cholecysta vértületének mérésével.

Az O.s. dyskinesis megítélésére postcholecystektomiás syndroma esetén szintén alkalmazható az izotópos módszer, a funkcionális pharmacocholescintigraphy. 100-150 MBq ^{99m}Tc IDA (leggyakrabban TECHIDA) intravénás adása után több ponton szimultán veszünk fel idő-aktivitási görbét gammakamerával sorozatfelvételek alapján, rutin esetben 5-60 perc között, egyidejű számítógépes adatfeldolgozással. (ROI 1:a máj, 2:a d.choledocus, 3:a pars inf.duodeni.) Amennyiben a görbék lefutása alapján a d. choledochusban pangást észleltünk, két lehetőségre gondolhatunk: O.s. dyskinesisre vagy a Vater-papilla stenosisára. Ebben az esetben valamely, az O.s.-re ható relaxánst adunk a betegnek (saját gyakorlatunkban glukagont, illetve amylnitritet). Amennyiben egyik farmakonra sem csökken hirtelen a d. choledochus fölött mért aktivitás (illetve nem növekedik egyidejűleg a duodenum fölött), inkább az organikus jellegű Vater-papilla-stenosisról van szó. Ha a d. choledochus aktivitása gyorsan csökken (illetve a duodenum fölött nő), az O.s. spasmusa lehetett a pangás oka, amit megfelelő klinikai adatokkal egybevetve O.s. dyskinesisként értékelünk.

Vannak esetek, amikor időszakos epés jellegű postprandialis fájdalmak ellenére a d. choledochusból normál ürülést észlelünk. Ilyenkor a klinikai gyanu alapján morfinprovokációt végezhetünk: morfin hatására O.s. dyskinesisben jelentős pangást látunk a d. choledochus görbe emelkedése alapján (ami a jelleg-

zetes fájdalom jelentkezésével jár együtt, amylnitrit oldja).

Néhány esetben a görbék elemzése alapján nem dönthető el, hogy van-e szignifikáns pangás a d. choledochusban, illetve a farmakonok egyikére sincs relaxáns hatás. Ilyen bizonytalan esetekben a farmakoszcintigráfia cserben hagy. Ilyenkor létjogosultsága van a morfin-cholereticum (Debray) vagy a morfinstigmosan (Nardi) provokációs próbának. A hatásukra létrejött jellegzetes és nitroglycerinre oldódó fájdalom, valamint megemelkedő máj-, illetve pancreaszimek jelezhetik az O.s. spasmusát. Mivel e provokációs próbák nem eléggé specifikusak, szükség lehet endoszkópos epeuti manometriára, ez az egyébként is szükséges ERCP-hez köthető. A manometriás paraméterek normál kontrollhoz viszonyított eltérései jelzik az O.s. dyskinesist. Az endoszkópos manometria alkalmas az O.s. működésének izolált vizsgálatára, ezért in situ cholecysta esetén is felhasználhatjuk az O.s. dyskinesis kórismézésében.

A SZIMPÓZIUM VITÁJÁNAK ÖSSZEFOGLALÓJA

Szilvási István

A referátumok elhangzása után rövid "gasztroenterális élményszerzés" következett (az MTA Izotópkutató Intézetének jóvoltából). Ezt követően élénk vita alakult ki a jelenlévő klinikusok és izotópdiaoszták között. Ennek rövid összefoglalása következik.

A három szerv: a nyelőcső, a gyomor és az epeutak motilitásának vizsgálata közül a legnagyobb gyakorlati jelentősége az *epeutak* nevezetesen az Oddi-szfinkter farmakodinámiás vizsgáló eljárásának van. Ennek az az oka, hogy nagyon nagy a cholecystectomián átesett, de panaszmentessé nem vált betegek száma. Az un. postcholecystectomiás syndroma-panaszegyüttes sok gondot okoz a mindennapi betegellátásban. Számos oka közül gyakori az Oddi-szfinkter kóros motilitása, dyskinesise. Ez az ok izotópdiaosztikai módszerrel felismerhető, azonosítható, objektíválható. Az epeuti dyskinesis megállapítása további felesleges (és gyakran szövődményt okozó) és nem olcsó vizsgálatok elkerülését teszi lehetővé, elősegíti a gyógyszeres kezelés helyes megválasztását. Ezért a cholezcintigráfia a postcholecystectomiás syndromában *indokolt* eljárás. A jelenlevők álláspontja megegyezett a miskolci munkacsoportéval, a radiológiai osztály izotóplaboratóriumának vezetője, Varga Győző véleményével, hogy a cholezcintigráfia során - amennyiben epeelfolyási akadályozottságot észlelünk - minden esetben el kell végezni az Oddi-szfinkterre ható gyógyszer hatásának vizsgálatát. A jelenlevők többsége szerint a *Glucagon* intravénás adása a legmegfelelőbb az epeelfolyási akadályozottság spasticus-dyskineticus eredetének megállapítására. A fekvő helyzetű beteg epeelfolyását 15 másodperces gyűjtési idejű framek 20-25 perces sorozatával vizsgáljuk. A choledochus és a duodenum *idő-aktivitásgörbéit* elemezzük. Amennyiben a choledochus aktivitástartalma (beütésszáma) jelentősen csökken a Glucagon beadása utáni percekben, az elfolyási akadályozottság funkcionális - spasticus eredetűnek véleményezhető. Ha Glucagon hatására változást nem észlelünk, az elfolyási akadályozottság organikus természetű, legtöbbször a Vater papilla stenosisa okozza.

A *nyelőcső* motilitásának radioizotópos vizsgálata - sajnos - nem eléggé elterjedt, majdhogynem szórványosnak mondható. A legnagyobb tapasztalattal rendelkező szekszárdi munkacsoport véleménye az, hogy a módszer sokszor igazi klinikai haszonnal jár. Ha egyéb eljárásokkal (röntgen, endoszkópia, manometria, szövetten, pH-mérés) nem, vagy csak részben magyarázhatóak a beteg "nyelőcsőregyanus", olykor cardiálisnak tűnő panaszai, a nyelőcsőmotilitás radioizotópos vizsgálata indokolt, mert gyakran nyomára vezet a panaszok eredetének.

A leginkább vitatott jelentőségű volt a *gyomor* motilitásának radioizotópos vizsgálata. *Nemessányi Zoltán* (POTE KIL) visszafogott hangvétellű referátumában a módszertan ismertetése után az eljárás napi-gyakorlati jelentőségét vi-

tatta. Részletesen ismertette a méréstechnikai gondokat (szöveti abszorpció, ROI-felhelyezés), a szilárd és a folyékony fázisu táplálék ürülése között meglévő különbségeket, a kettős jelzéses módszer nyújtotta előnyöket. A legmegfelelőbb - a jelenlévők véleményével megegyezően - a félülő testhelyzetben, "normális" standard reggeli elfogyasztását követő dinamikus frame adatfelvételi technika. A jelölő radionuklid a ^{99m}Tc , a szilárd fázisu táplálék jelölésére. (Hogy mit jelöljünk, azt részben konyhaművészetünk is megszabja. Pl. tojásrántotta, főtt tojás elkészítése, korpa közé keverés stb.) Nemessányi doktor hangsúlyozta, hogy a gyomorürülés vizsgálatára van objektív és ugyanakkor fiziológiás eljárásunk: a gyomorürülés radioizotópos módszere, de ennek klinikai használhatósága korlátozott. Legnagyobb hátránya az, hogy kb. 1 órára lefoglalja a gamma-kamera-számítógéprendszer. (Hja, a kapacitásaink!) Egyértelmű, hogy patofiziológiai kutatásra, bizonyos klinikai körülmények között, a módszer hasznos. Jóleső érzés volt hallani, hogy a jelenlévők - és csodák csodája, épp a klinikusok! - végülis meggyőzték a referátum előadóját arról, hogy módszere a gyomorműtétek utáni ürülési zavarok vizsgálatában klinikailag hasznos lehet, ezért elvégzése indokolt.

Összefoglalva, a szimpózium hasznos volt. Betöltötte legfontosabb feladatát: közelhozta a klinikusokat és az izotópdiagnosztákat. Elősegítette, hogy a "felek" kölcsönösen megismerjék egymás gondjait, vágyait-igényeit, kérdéseiket és az azokra adható válaszokat, az izotópmódszerek lehetőségeit és korlátait is. És ez - úgy gondolom - a betegek javára válik.

MUNKAEGÉSZSÉGÜGYI, KÖZEGÉSZSÉGÜGYI ÉS SUGÁREGÉSZSÉGÜGYI KUTATÁSOK

A MTESZ IFJÚSÁGI TANÁCSA TÁMOGATÁSÁVAL
AZ ORSZÁGOS KÖZEGÉSZSÉGÜGYI INTÉZET RENDEZÉSÉBEN
1989. SZEPTEMBER 29-ÉN BUDAPESTEN TARTOTT
V. TUDOMÁNYOS KONFERENCIA

Az országos higiénés intézetek, nevezetesen az Országos "Johan Béla" Közegészségügyi Intézet, az Országos Élelmezés- és Táplálkozástudományi Intézet, az Országos Munka- és Üzemegészségügyi Intézet és az Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet immár ötödik alkalommal rendezte meg a népszerűvé és hagyományossá vált Fiatal Diplomások Konferenciáját. A szakmai programot az intézetek tudományos vezetése állította össze. Bevezető előadást Dr. Szabadkai Attila, a MTESZ Oktatási és Művelődéspolitikai Főosztály vezetője tartott "Kutatási, intézményi hálózatunk helyzete, a felzárkózás esélyei Európában" címmel. Ezt követően 7 intézményből 23 előadás hangzott el biológiai kutatások, élelmezés- és táplálkozástudomány, munkaegészségügy, munkahelyi sugáregészségügy és közegészségügy tárgykörében.

Az előadások kivonatát a tudományos tájékoztatás céljain túlmenően azért is adjuk közre, hogy ezáltal is ösztönözzük fiatal szakembereinket olyan magas színvonalú, elmélyült kutató, fejlesztő, elemző tudományos munkára, amellyel hozzájárulhatnak közegészségügyünk szükséges fejlesztéséhez és ezáltal gazdasági feladataink teljesítéséhez.

Dr. Somosy Zoltán

AZ ELŐADÁSOK KIVONATAI

A TUMORNEKRÓZIS-FAKTOROK SZINTÉZISÉNEK INDUKCIÓJA EGÉR BEN

Kocsis Katalin, Kovács Ildikó, Takács Attila

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet

A tumornekrózis-faktorokat (TNF- α , TNF- β) az immunrendszer sejtjei termelik. In vitro számos daganatos sejtvonalra citotoxikus, illetve citosztatikus hatásuk, míg in vivo tumorok hemorrhágiás nekrozisát okozzák. Tumorellenes hatásuk mellett egyéb biológiai hatásuk is van.¹

A TNF-ok szintézisét a véráramba kerülő baktériumok, vírusok, bakteriális endotoxinok és tumorsejt-antigének indukálhatják. A TNF-ok szintézisét Carswell és munkatársai módszere² alapján indukáltuk BD₂F₁ hibrid egerekben. Az egereket előbb Mycobacterium paratuberculosis (1 mg/állat) intraperitoneálisan, majd 2 héttel később endotoxinnal (LPS, E. coli, Westphal típusu, 10 μ g/állat) intravénásan kezeltük. Az állatokat 2 óra múlva elvégeztettük. Az egérszérumok TNF-aktivitását a P 388 limfoid leukémia ascites sejtek ³H-timidin felvételének gátlása alapján mértük 6 órai együttinkubálás után. Az inkubált szérumok gátló hatását a normál egér és a baktérium-, illetve vírusfertőzés-mentes, ún. csiramentes egér szérumához hasonlítottuk. A csiramentes egerek széruma nem gátolta a P 388 ascites sejtek ³H-timidinfelvételét. A csiramentes egerek szérumához viszonyítva a normál egerek széruma jelentős mennyiségű gátló anyagot tartalmazott. A Mycobacterium paratuberculosis- és endotoxin-kezelés tovább fokozta ezekben az egerekben a szérum gátló hatását az ascites sejtek ³H-timidin felvételére.

IRODALOM

1. Kocsis K., Takács A., A tumor nekrozis faktorokról. Sejtbiológiai és biokémiai áttekintés, M. Onkol. 32 (1988) 164
2. E.A. Carswell, et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA 72 (1975) 3666

CITOKININDUKCIÓ BESUGÁRZOTT SZERVEZETBEN

Kovács Ildikó, Kocsis Katalin, Köteles György

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet

A sejtek közötti együttműködést és egymásrahatást a szervezett sejtközösségekben sokféle nagy és kis molekulasúlyú, hosszabb és rövidebb ideig ható mediátor, hormon, citokin biztosítja. Utóbbiak egyike a makrofágok termelte tumornekrózis-faktor (TNF). Daganatpusztító tulajdonságán kívül szerepe van a gyulladásos folyamatban, a vérképzésben és az immunitásban¹. Mindezen folyamatok, illetve zavarai hozzájárulnak a sugárbetegség tünetegyütteseinek kialakulásához. Ezért indokoltnak láttuk megvizsgálni, hogy változik-e ennek a citokinnek a képződése besugárzott szervezetben.

TNF-képződést M. paratuberculosis és lipopoliszacharid adásával indukáltunk BD₂F₁ hibrid o egerekben. A szérumban TNF aktivitását P 388 ascites sejtek ³H-timidin felvétele alapján mértük in vitro². A TNF-indukciók előtt 1 nappal az egereket 0,5, 2 és 6 Gy röntgensugárzással kezeltük.

Adataink azt bizonyítják, hogy az LD₅₀ alatti dózissal sugárkezelt egerekben a TNF indukálhatósága nem változik.

IRODALOM

1. Kocsis K., Takáts A., A tumor nekrózis faktorokról. Sejtbiológiai és biokémiai áttekintés, M. Onkol. 32 (1988) 164
2. Kocsis, E.K., Takáts, A., Bertók, L., Tumor Necrosis Factors in Murine and Human Sera, Abstr. Intern. Union of Biochem., Prága (1988)

MIKRONUKLEUSZ-KÉPZŐDÉS OH' GYÖKFOGÓK JELENLÉTÉBEN BESUGÁRZOTT EMBERI LIMFOCITÁKBAN

Kormos Csilla, Köteles György

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató-intézet

A mikronukleuszok olyan kromoszómaaberrációk, amelyek az interfázisú sejtekben észlelhetők. Kémiai és fizikai károsító hatások egyaránt kiválthatják. Ionizáló sugárzástól eredő tullepozíció biológiai indikátoraként is ígéretes^{1,2}.

Jelenleg két OH' gyökfogónak, az etanolnak és a dimetilszulfoxidnak a mikronukleuszok előfordulási gyakoriságára kifejtett hatását vizsgáltuk, keringő limfocitákban, emberi vér röntgenbesugárzását követően. Megállapítottuk a hatásos koncentrációkat, amely etanol esetében 0,1 mM, dimetilszulfoxid esetében 100 mM felettinek bizonyult. Mindkét gyökfogóval az elváltozásoknak csak mintegy felét sikerült kivédeni. Etanol kisebb sugárdózisoknál viszonylag kevésbé, nagyobb dózisoknál jobban védett, azaz a hatás jelentősebbnek bizonyult a lineáris-kvadrátikus dózis-hatás összefüggés négyzetes szakaszán. Az etanol esetleges előfordulását a vérben figyelembe kell venni baleseti tullepozíció dózisének becslésénél. Dimetilszulfoxid 0,5 koncentráció felett önmaga is fokozta a mikronukleusz gyakoriságát. A clastogén hatások észlelésére és ezek csökkentésének, a gyökfogók hatásának tanulmányozására a mikronukleuszteszt alkalmas módszernek látszik.

IRODALOM

1. Almásy, Zs., Krepinsky, A.B., Bianco, A., Köteles, G.J., The Present State and Perspectives of Micronucleus Assay in Radiation Protection, A Review, *Appl. Radiat. Isot.* 38 (1987) 241
2. Kormos, Cs., Köteles, G.J., Micronuclei in x-Irradiated Human Lymphocytes, *Mutat. Res.*, 199 (1988) 31

A DNS-HIBAJAVÍTÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK VIZSGÁLATA

Karcagi Vera, Püspöki Judit, Vincze István
Országos Közegészségügyi Intézet, Biokémiai Osztály

Metil-metánszulfonáttal végzett in vivo genotoxikus kezelést követően vizsgáltuk az egér lépsejtek UV indukálta DNS-hibajavító készségét és dezoxiribonukleotid pooljának változását a kezelést követő 1 - 21. nap múlva.

Megállapítottuk, hogy a DNS-hibajavítás a kezelést követő 3. napon a kontrollérték 1,4-szeresére emelkedett, majd egy 7. napi csökkenés után a kontroll körüli értékre tért vissza.

A genotoxikus kezelés az egyes pooltényezőkben különböző mértékű és irányu, kontrollhoz viszonyított eltérést okozott, bár bizonyos hasonlóságot tapasztaltunk a dATP-dTTP, illetve a dCTP-dGTP pooloknál. A dNTP pool és a DNS-reparáció változása közötti összefüggés statisztikai elemzése a purin dezoxiribonukleotidnál telítési jelleget, míg a pirimidin dezoxiribonukleotidoknál harmadfoku polinomot adott.

Birka-vörösvértesttel végzett immunizálást követően ugyancsak meghatároztuk az egérlép-limfociták DNS-hibajavító készségét, valamint a dNTP pool-tartalmát a kezelést követő 1 - 28. napon. Megállapítottuk, hogy a DNS-hibajavító képesség erősen lecsökken az immuntiter emelkedésével párhuzamosan. Az immunizáció folyamatát időben jól követő, szemikonzervatív DNS-szintézis fokozódás és a repairkapacitás között szoros fordított arányosságot tapasztaltunk. Az egyes dNTP-pooltényezők az immunfolyamat során dinamikusan változtak, azonban mind a DNS-szintézissel, mind pedig a DNS-repairkapacitással csak harmadfoku laza összefüggést tapasztaltunk.

CSÖKKENTETT GLUTATHIONTARTALMU SEJTEK SUGÁRÉRZÉKENYSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

Rétlaki M., Gazsó L.G., Dám A.M.

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató-intézet

A természetes sugárvédő thiol, a glutathion (GSH) sugárérzékenységet befolyásoló szerepét tanulmányoztuk *Bacillus megaterium* spórárendszerben. Vizsgáltuk a glutathion-szint-csökkentés hatását a sejtek sugárérzékenységre. A baktériumokat a vegetatív periódusban és a spóráképzés időszakában 10 mM/L dietil-maleáttal (DEM), illetve 1 mM/L diamiddal (DAM) kezelve stabilan csökkentett GSH-szintű spórákhoz jutottunk. E spórák sugárérzékenységét különféle gázkörnyezetben (N_2 , 0,7, 1,4, 1,89% O_2 nitrogénben) vizsgáltuk. Oxigén jelenlétében az érzékenység növekedését tapasztaltuk.

Tanulmányoztuk két, eltérő hatásmechanizmusú hidroxil szabad gyökfogó, a t-butanol és az izopropanol hatását. A kezeltlen spórák érzékenységét oxigén jelenlétében csökkentették, de anoxiában nem befolyásolták. Kis GSH-tartalmu sejtek esetében hasonlóan viselkedtek, 0,7%-nál nagyobb oxigénkoncentrációnál a spórák érzékenységét a kontroll szintje alá csökkentették.

Megvizsgáltuk a DEM és a DAM direkt hatását is a spórákra. Mindkét vegyület anoxiában is jelentős mértékben szenzitizált. A hidroxil szabad gyökfogók a DEM és a DAM által megnövelt sugárérzékenységet anoxiában és 0,7% O_2 koncentrációnál jelentősen mérsékeltek, nagyobb oxigénkoncentrációnál a kontroll szintje alá csökkentették.

A DEM és a DAM egyaránt rendelkezik direkt és indirekt sugárszenzitizáló hatással, melyet a hidroxil szabad gyökfogók képesek csökkenteni. A DEM és a DAM érzékenyítő hatása oxigénfüggő.

A hidroxil szabad gyökfogók az oxigénkoncentráció függvényében kétféle módon hatnak: anoxiában és 0,7% O_2 koncentrációnál deszenzitizálnak, míg 1,4 és 1,69% O_2 jelenlétében a deszenzitizálás mellett protektív hatást is kifejtenek.

AZ ANTIVIRÁLIS ÁLLAPOT KIALAKULÁSÁT MEGELŐZŐ MOLEKULÁRIS VÁLTOZÁSOK

Markovits Andrea

Országos Közegészségügyi Intézet, Mikrobiológiai Kutatócsoport

1957-ben fedezte fel az interferont A. Isaacs és J. Kindenmann. Azóta, az óriásira duzzadt irodalom ellenére, csak keveset ismerünk azokról a molekuláris eseményekről, amelyeken keresztül az interferonhatás, így az antivirális állapot kialakul.

Az interferon receptorához kapcsolódva fejti ki hatását. A ligandum és receptor kölcsönhatása a sejtekben másodlagos messengerek keletkezéséhez vezet. Két ilyen nagy rendszert ismerünk: a cAMP rendszert, és az inozitol-foszfolipidek lebontásán alapuló, jelátvivő mechanizmust.

Kimutattuk, hogy humán leukocita interferonnal kezelt UAC sejtekben az inozitol-foszfolipidek anyagcseréje megváltozik, és aktiválódik a protein-kináz C enzim, amely a második reakciót egyik kulcsenzime. Számos extracelluláris szignál fejti ki hatását az inozitol-foszfolipid-diacilglicerol- Ca^{2+} -protein-kináz C utvonalat aktiválva. Feltételezésünk szerint ez a mechanizmus szerepet játszik az interferonhatás kialakításában is, így ezeknek az anyagoknak interferonszerű aktivitással is kell rendelkezniük.

Ezért megvizsgáltuk:

a forbol-mirisztát-acetát antivirális aktivitását, amely képes helyettesíteni a diacil-glicerolt, és közvetlen aktivátora a proteinkináz C-nek;

a poli I:C antivirális aktivitását olyan rendszerben, amelyben az interferonindukciót kizártuk;

az A vitaminnak a vesicular stomatitis virus RNS-szintézisére gyakorolt hatását.

Mindhárom vegyület antivirális aktivitását sikerült igazolni. Ezek az anyagok ugyanakkor beindították az inozitol-foszfolipidek lebontásán alapuló jelátvivő mechanizmust.

Eredményeink és más irodalmi adatok alapján feltételezzük, hogy a sejtek antivirális állapota kialakítható olyan anyagokkal, amelyek indukálják az inozitol-foszfolipidek lebomlását, és aktiválják a protein-kináz C transzlokációját.

A PROFLAVIN ÉS GLIKOZIDJAINAK IN VITRO GENOTOXIKOLÓGIAI VIZSGÁLATA

Kelecsényi Zsolt

Országos Közegészségügyi Intézet, Morfológiai osztály

A proflavin (3,6-diaminoakridin, PF) interkaláló ágens, amely mutagén mind prokarióta, mind eukarióta rendszerekben. Genotoxikus hatása nem tisztázott teljes mértékben; a két aminocsoport jelentőségét számos adat támasztja alá.

Az egyik vagy mindkét aminocsoport glikozilálása kapcsán vizsgáltuk a proflavin-monoglikozid (PMG) és proflavindiglikozid (PDG) citogenetikai hatásának változását testvérkromatid-kicserélődés és metafázis-analízis endpointokban CHO sejtekben, sötétben és besugárzást követően.

Mind a PMG, mind a PDG szignifikáns mértékben csökkentette a proflavin SCE-indukáló képességét. E megállapítás vonatkozik a sötétben és fénybesugárzás mellett elvégzett kísérletekre is. A PDG hatására a kromoszómaaberrációk számának növekedése nem haladta meg a kezeletlen kontrollokét. Ha proflavint és a PMG-t különböző arányokban kevertük össze, a PMG-nek a proflavinhoz viszonyított növekvő arányában csökkentette a testvérkromatid-kicserélődések számát. Sötétben már az 1:100 arányú keverékben jelentősen csökkent az SCE-k száma, míg fotoaktiváció esetén a jelentős mértékű csökkenés az 1:1000 arányú PF:PMG keverékben történt. A kísérletekből egyértelműen megállapítható, hogy a glikoziláció megszünteti a proflavin genotoxikus hatását in vitro CHO rendszerben vizsgálva, fotoaktivációval és anélkül is.

A továbbiakban azt vizsgáltuk, hogy az előzőekben tapasztalt genotoxikus hatás mennyiben hasonlítható össze ezen vegyületek DNS-hez való affinitásával. Az összehasonlító vizsgálatokban spektrofluorometriás méréseket végeztünk, melyek során mértük a DNS-vegyület (PF, PMG, PDG külön-külön) komplex emissziós intenzitásának változásait. Azt állapítottuk meg, hogy a PF-nak sokkal nagyobb a DNS-hez való affinitása, mint a két glikozidnak, a két glikozidé pedig hasonló. Ezek a megfigyelések egybeesnek a genotoxikológiai vizsgálatok eredményeivel.

SZEXHORMONOK HATÁSA A LIPIDMETABOLIZMUSRA

Wachnik Anna, Biró Lajos

Országos Élelmezés- és Táplálkozástudományi Intézet

Gonadektomizált, szexhormon-szubsztituált és álműtött him és nőtény patkányokban tanulmányoztuk a máj lipid peroxidációját, valamint a réz- és vasanyagcsere szexhormonfüggőségét. Kísérletünkben H-Wistar törzsbe tartozó patkányokat használtunk, melyek normál LATI tápot kaptak 12 héten keresztül.

Eredményeink alapján az intakt, valamint a hormonszubsztituált nőtény állatokban a malondialdehid-termelés szintje csökkent, ami ezen állatok májának alacsonyabb triglicerid- és magasabb rézsintjével magyarázható.

A tesztoszteron nagy valószínűséggel a lipidperoxidációt serkentő mechanizmus része.

KLORAMFENIKOL MEGHATÁROZÁSA ÁLLATI SZÖVETEKBŐL

Bencsik Katalin

Országos Élelmezés- és Táplálkozástudományi Intézet

Az állattenyésztők egyre fokozódó mértékben alkalmaznak biológiailag aktív kemikáliákat, állat- vagy esetleg humángyógyászati készítményeket a betegségek megelőzésére, gyógyítására és hozamfokozásra. A munka során, nagy hatékonyságu folyadékkromatográfiás módszer segítségével, az egyik legrégebben és kiterjedten alkalmazott antibiotikum, a kloramfenikol (CAP) kimutatását végeztem el izomszövetből. A CAP alkalmazását - mint a világ számos országában, így hazánkban is - 1988. január 1-jétől betiltották az élelmiszertermelő állatoknál, ennek ellenére sokan alkalmazzák.

Nagyon lényeges a minél érzékenyebb kimutatás, mivel a FAO/WHO Állatgyógyászati Maradék Kódex Bizottsága és a 15/1982.(XII.27.) EÜM. sz. rendelet nulla toleranciaszintet ír elő CAP-pal végzett kezelés után a szövetekben, az irreverzibilis csontvelő-károsító mellékhatás, az aplasticus anaemia miatt. Az aplasticus anaemia kialakulása dóziszfüggetlen, arra érzékeny embereknél olyan kis dózisok is kiválthatják, amelyek CAP-pal végzett kezelés után az állati szövetekben reziduumként előfordulhatnak.

Ismertetek egy kivonási és tisztítási módszert, melyet az irodalom áttekintése után a mi viszonyainkat figyelembe véve dolgoztam ki. A módszerrel 10 µg/kg érzékenységgel mutatható ki a CAP izomszövetből.

A KOLESZTERIN SPONTÁN OXIDÁCIÓJÁVAL KELETKEZŐ VEGYÜLETEK BIOLÓGIAI HATÁSAI, ELŐFORDULÁSUK ÉLELMISZEREKBE

Kertészné Lebovics Vera

Országos Élelmezés- és Táplálkozástudományi Intézet, Élelmiszerkémiai osztály

A koleszterinnel kiváltott érlemeszesedés, mint vizsgálati modell, már több mint 70 éve elfogadott, és a koleszterin-tartalmu élelmiszereket, mint az érlemeszesedést okozó fontos rizikófaktort tartják számon. Azonban legtöbbször nem veszik figyelembe, hogy a koleszterin igen labilis vegyület: a spontán oxidáció következtében keletkező származékok biológiai hatásai jelentősen eltérnek a tiszta koleszterinétől.

In vivo kísérletekkel igazolták, hogy az oxidált szterinek közül számos vegyület citotoxikus, atherogén, angiotoxikus, mutagén, karcinogén hatású, és jelentős szerepe van a koleszterin bioszintézisének szabályozásában.

Ezek a spontán képződő oxidációs származékok a táplálékkal kerülnek szervezetünkbe. Elsősorban azokban a koleszterintartalmu élelmiszerekben fordulnak elő, ahol oxidációs folyamatok számára kedvezőek a körülmények.

Kutatásunk során célul tűztük ki e vegyületek kimutatását a hazai élelmiszerekben, figyelembe véve a gyártástechnológiát, konyhatechnikai műveleteket, valamint a tárolás körülményeit.

ANYATEJ-HAMISÍTÁS KIMUTATÁSA ZSÍRSAVÖSSZETÉTEL ALAPJÁN

Nyircsák Katalin, Czuczy Péter, Gaál Ödön

Országos Élelmezés- és Táplálkozástudományi Intézet

Mint közismert, csecsemők számára a legmegfelelőbb táplálék az anyatej.

A koraszülött, illetve kis súlyú csecsemőket anyatejgyűjtőkben összegyűjtött tejjel látják el. Az anyatej magas ára alatt felmerül a hamisítás problémája. A tehéntejjel végzett hamisítás kimutatására már több módszert kidolgoztak. Napjainkban számolni kell a tápszeres hamisítással is, amelynek kimutatására új módszerre van szükség.

A szerzők a tehéntej és az anyatej eltérő, rövid és közép szénláncu (64-8) zsírsavösszetétele alapján dolgoztak ki módszert ennek kimutatására.

A módszerrel 10%-os hamisítás is nagy biztonsággal kimutatható.

A HAZAI SUGÁREGÉSZSÉGÜGY NÉHÁNY MEGOLDANDÓ PROBLÉMÁJA

Jung József

Fővárosi Közegészségügyi és Járványügyi Állomás, Sugáregészségügyi osztály

A sugárveszélyes tevékenység engedélyezéséhez szükséges egészségügyi alkalmassági vizsgálatoknál nincs országosan egységes gyakorlat. Ez megnyilvánul abban, hogy a vizsgálatok mélysége az orvosra van bízva, és az többnyire független a sugárveszélyes tevékenység formájától. Problémát jelent az is, hogy nincs a vizsgálatoknál alkalmazandó egységes követelményrendszer, s ez a dolgozók részéről megkérdőjelezi e vizsgálatok komolyságát.

A sugárveszélyes munkahelyek ellenőrzési gyakoriságát az állami közegészségügyi-járványügyi felügyelőségek részére 16/1979./Eü.K.12./ Eü.M.sz. utasítás és az azt kiegészítő 21/1981./Eü.K.13./ Eü.M.sz. utasítás határozza meg. Az előadás példákkal illusztrálja a fenti utasítások korszerűtlenségét, s javaslatokat tesz azok módosítására. A módosításoktól egységesebb hatósági munka és a jelenleginél lényegesen informatívabb statisztikai rendszer kialakulása lenne várható.

SUGÁRVEZÉLYES MUNKAHELYEK SZÁMÍTÓGÉPES NYILVÁNTARTÁSA

Jung József

Fővárosi Közegészségügyi és Járványügyi Állomás, Sugáregészségügyi osztály

A fővárosi KÖJÁL Sugáregészségügyi Osztálya 1987 óta alkalmazza a "COMPUACTA" nevű, C-64 gépre irt programot a sugárveszélyes munkahelyek nyilvántartására. A nyilvántartó rendszer legfontosabb jellemzői:

- minden munkahelyről rendelkezésre áll egy olyan adatlap, amelyen megtalálhatók a munkahely legfontosabb adatai (név, cím, felelős vezetők, a munkahely jellege/i/, utolsó ellenőrzés, esedékes ellenőrzés, a 12 utolsó ügyirat száma, időpontja, tárgya, a bennük szereplő határidők stb.). Az adatlap könnyen hozzáférhető, és arra minden változás feljegyezhető.

- A nyilvántartó rendszer jelzi az adott időpontig lejárt, illetve az adott félévben lejárató határidőket.

Kivánságra kilistázhatók az egységek kerület, jelleg, illetve kerület és jelleg szerint.

- A rendszer szét tudja választani a budapesti, illetve a Pest megyei tevékenységet.

- A rendszer figyeli, és számolja mindazokat a tevékenységeket, illetve eseményeket, amelyek az év végi statisztikai adatok megadásához szükségesek.

(ellenőrzések, üzemeltetési engedélyek, rendelkező határozatok, tervbírálatok, üzembehelyezések, szabálysértések, dózistullépések stb.).

- Statisztikai adatok tetszőleges időpontban lehívhatók, és az adatok a formanyomtatványok kitöltéséhez közvetlenül felhasználhatók.

Az előadás ismerteti a számítógépes nyilvántartás előnyeit, alkalmazásának tapasztalatait, valamint a jelenlegi program korlátait, hátrányait.

SZERVES OLDÓSZER METABOLITJAINAK BIOLÓGIAI HATÁSA ÉS A KIMUTATÁSUK LEHETŐSÉGE HUMÁN EXPOZÍCIÓ ESETÉN

Legoza József, Biró Zsigmond

Hajdu-Bihar Megyei Közegészségügyi és Járványügyi Állomás

A szerves oldószerek közül a benzol és a sztirol felhasználásának munkahigiénés követése és biológiai hatásai elemzése igen fontos feladat.

A benzol károsítja a csontvelői vérképzést, és citopéniát okoz. Epidemiológiai vizsgálatok bizonyítják, hogy leukemogén ágens.

A sztirolt a WHO-IARC állásfoglalása 2 B kategóriájú rákkeltőnek minősítette.

Munkahelyi expozíció esetén a dolgozók időszakos vizsgálata alkalmával rendszeresen kimutatjuk a vizelettel ürülő bomlástermékeket (vizelet fenol-, illetve mandulasav-tartalmának mérése).

A szervezetben végbemenő lebomlás során olyan intermedierek képződhetnek, melyek makromolekulákhoz kapcsolódhatnak, illetve egyes sejttípusok kvalitatív abnormalitását okozhatják. Kimutatásuk (mérésük) információt szolgáltat a humán vonatkozású preklinikai hatások becsléséhez.

Részletesebben elemezzük a benzolexpozícióban felhasználható glicerinhemolízis-teszttel kapcsolatos megfigyeléseinket, illetve a sztirolexponáltaknál mért vizelet- δ -amino-levulinsav üritését.

A MAGYAR LÉZER-BIZTONSÁGTECHNIKAI SZABVÁNY ELŐKÉSZÍTÉSE

Bakos József, Szabó D. László

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet

A lézerek egyre szélesebb körű alkalmazása és elterjedése hazánkban szükségessé tette egy, a lézerek sugárbiztonságával kapcsolatos szabályozás kidolgozását.

1988-ban megalakult a Magyar Lézer Szabványbizottság abból a célból, hogy az IEC-825 nemzetközi szabványajánlást felhasználva kidolgozza a "Lézergyártmányok sugárbiztonsági előírásai" című magyar szabványt. A szabványbizottságban részt vettek lézerfejlesztő fizikusok és mérnökök, a hazai lézergyártás szakemberei, lézereket alkalmazó orvosok és, a sugáregészségügy részéről, az OSSKI munkatársai.

E szabvány tárgya a lézert tartalmazó készülékek és berendezések sugárbiztonsági előírásai, osztályba sorolása és használati utmutató.

A szabvány táblázatosan megadja az egyes lézerosztályokra megengedett kisugárzási határértékeket, valamint a szemre és bőrre vonatkozó legnagyobb megengedett expozíciókat. Tartalmazza a szükséges ellenőrző mérések, valamint a lézersugárzások ellen védő szemüvegek és ruházatok leírását és a betartandó biztonsági előírásokat.

MONITOROK EGÉSZSÉGHÁRÓSÍTÓ HATÁSAI, A VÉDELEM LEHETŐSÉGEI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ ELEKTROMÁGNESES ÉS AZ ELEKTROSZTATIKUS TEREKRE

Jánossy Gábor, Gáspár Sándor, Szabó D. László

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet

A számítógépes képernyők sugárzási ártalmaival kapcsolatban az ionizáló és nem ionizáló elektromágneses sugárzásokkal, valamint az elektrosztatikus terekkel foglalkozunk saját mérésekre, illetve irodalmi adatokra támaszkodva. Az esetleges sugárzási ártalmakkal párhuzamosan - szintén saját mérésekre támaszkodva - részletesen elemezzük a ma Magyarországon kínált védekezési lehetőségeket. Összehasonlítjuk a különböző szemüvegek, illetve filterek hatékonyságát. Emellett megemlítjük az egyéb védekezés szükségességét, illetve lehetőségét (beépíthető árnyékolások, tükröződő fények kiküszöbölése stb.).

BUDAPEST BELVÁROS BENZ/A/PIRÉN SZENNYEZETTSÉGÉNEK ALAKULÁSA A FORGALOMKORLÁTOZÁS HATÁSÁRA

Bejczy Katalin, Kertész Magdolna

Országos Közegészségügyi Intézet, Levegőhigiénés osztály

A Budapest belvárosában 1988. május 15-től bevezetett forgalomkorlátozás hatását vizsgáltuk a levegő minőségére. Számos levegőszennyező (NO, NO₂, NO_x, CO, formaldehid, ólom) mellett meghatároztuk a levegő szállópor-koncentrációját, illetve annak benz/a/pirén tartalmát. A benz/a/pirén ugyanis nagyon jó indikátora a levegőben előforduló, nagyszámu PAH-nak, és nem utolsó sorban erősen rákkeltő és mutagén hatásu anyag.

A méréseket a forgalom elől elzárt terület 4 jellemző pontján végeztük. A forgalomcsillapítás bevezetése előtt két héten keresztül és a bevezetés után két héten át, mindig hétfőn, csütörtökön és pénteken.

Az üvegszál szűrőre vett szállópormintákból a benz/a/pirént folyadékkromatográfiás módszerrel, UV detektor segítségével határoztuk meg. Megvizsgáltuk a benz/a/pirén-tartalom változását az egyes mérőpontokon a csillapítás bevezetése előtt és után, valamint összehasonlítottuk a különböző mérőpontok egymáshoz viszonyított benz/a/pirén-terhelését is.

Az eredményeket összevetettük a Budapest területén végzett korábbi benz/a/pirén-vizsgálatok értékeivel.

KOMBINÁLT TALAJHIGIÉNÉS NORMÁK KIDOLGOZÁSÁNAK KISÉRLETI ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

Farkas Hilda

Országos Közegészségügyi Intézet

A korábbi években végzett kutatások az egyedi talajszennyező komponensekre vonatkozó higiénés normák kidolgozására irányultak.

Jelenlegi feladatunk az egymás mellett különféle kombinációkban fellépő szennyezők és az általuk kifejtett kombinált hatások vizsgálata.

Munkánk célja az emberi egészség szempontjából legveszélyesebbnek ítélt elemek, így az As, Cd, Hg és az As, Cd, Pb együttes talajszennyező hatásának vizsgálata, kombinált higiénés normáinak meghatározása.

A vizsgálati módszereket az egyedi normákra kidolgozott KGST módszertani ajánlás alapján, azt továbbfejlesztve állítottuk össze.

Vizsgáltuk a kombinált szennyezés kioldhatóságát, migrációját a mélyebb talajrétegekbe, összeállítottunk transzlokációs kísérleteket kulturnövényekkel, vizsgáltuk a talajszennyezők különféle kombinációinak hatását a transzlokációra.

A talaj, talajviz és növényi minták elemtartalmának meghatározásához kidolgoztuk a megfelelő analitikai módszereket, melyekkel nemzetközi interkalibrációban is részt vettünk.

A MONORIERDEI TALAJSZENNYEZÉS HATÁSÁNAK KÍSÉRLETES TOXIKOLÓGIAI VIZSGÁLATA

Mayer Gábor, Farkas Hilda
Országos Közegészségügyi Intézet

Munkánk célja a Monorierdő Minőség Vegyipari Kiszövetkezet telepén vegyi hulladékkal történt szennyezés során kiemelt talaj toxikológiai veszélyességének meghatározása volt. Ehhez az alábbi vizsgálati sémát állítottuk össze. Első lépésben a screeneléshez sejttenyészetet használtunk, ezt követően egereken tájékoztató toxikológiai vizsgálatot végeztünk a heveny toxicitás kimutatására, majd intraperitoneális egértesztben meghatároztuk a kivonatok szenzoros irritáló hatását, végül szubkrónikus állatkísérletben a 90 napos expozíció hatását elemeztük.

Valamennyi vizsgált minta citotoxikusnak bizonyult, azonban a tájékoztató toxikológiai vizsgálat során nem tapasztaltunk heveny mérgező hatást. A minták közül egy bizonyult enyhén irritatívnak. A háromhónapos szubkrónikus kísérlet után vérképzési zavart, májkárosodást, valamint az idegrendszer fokozott ingerlékenységét és a neuromuszkuláris rendszer fáradékonyságát mutatuk ki.

Eredményeink arra utalnak, hogy a nagy publicitást kapott környezetszennyezés a közelben élő lakosság egészségét valóban veszélyezteti.

A SUGÁRSTERILEZÉS HATÁSA KÜLÖNFÉLE TÍPUSU MŰANYAGOKRA

Sipos Márta, Adamis Zoltánné
Országos Közegészségügyi Intézet

Az orvosi felhasználásu, illetve egészségügyi rendeltetésű műanyagok γ -sugárral való sterilezése Magyarországon is terjed. A besugárzás hatására azonban a műanyagok különféle változásokon mennek keresztül, tulajdonságaik elsősorban a kémiai felépítéstől, valamint a besugárzás dóziséjától függően változnak meg.

Előadásunkban azokról a kémiai és biológiai vizsgálatokról számolunk be, melyeket négyféle sugársterilezett műanyaggal (polietilén, polipropilén, lágyított PVC, poliamid) végeztünk, a belőlük készült orvosi eszközök higiénés-toxikológiai elbírálása céljából.

EMBERI CSONTSZÖVETMINTÁK ^{90}Sr -TARTALMÁNAK SUGÁREGÉSZSÉGÜGYI ÉRTÉKELÉSE

Turai István, Sztanyik B. László, Stur Dénes
Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet

Emberi fog ^{90}Sr -koncentrációjának retrospektív meghatározása révén a hazai lakosság környezeti eredetű ^{90}Sr -inkorporációját követjük nyomon. A retrospektív elemzés a speciális klasszifikációs rendszernek köszönhető, mely szerint a napjainkban kihuzott fogakat azok relative legintenzivebb egyedi fejlődési időszakának - a fogzás évének - megfelelően csoportosítjuk.

Kimutattuk, hogy a légköri atomfegyver-kísérletek előtt kifejlődött fogakban ^{90}Sr nem detektálható. Mérési eredményeink szerint a hazai lakosság maradó fogaiban az ötvenes évek végén és a hatvanas évek elején fokozatosan nőtt a radiostroncium-tartalom, amely a maximumértéket 1965-ben érte el. Azóta a maradó és a tejfogak ^{90}Sr -koncentrációjának csökkenése nem az évenkénti, hanem - amint ez a táplálékláncon keresztüli stronciumfelvétel tényéből várható - a kumulatív ^{90}Sr -lerakódás dinamikáját követi.

A hetvenes évek végén kifejlődött tejfogakban, valamint a nyolcvanas években elhaltak csontjaiban mérhető átlagos ^{90}Sr -koncentráció jól összevethető, 40 ± 10 mBq/gCa átlagértékeket mutat. A fogszövetre megadott retrospektív adataink, valamint az emberi bordákban mért ^{90}Sr -aktivitások jól egyeznek a nemzetközi adatokkal, és ezen utóbbiak alapján becsülhető csontvelő-, csontsejt- és egészsetstdózisokkal, amelyek értéke nem éri el a természetes sugárterhelés 1%-át.

A HAZAI NÉPESSÉG JÓDELLÁTOTTSÁGA JAVÍTÁSÁNAK SUGÁREGÉSZSÉGÜGYI FONTOSSÁGÁRÓL

Turai István

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató-intézet

Ismeretes, hogy minél kisebb egy adott területen élő népesség átlagos napi jódfelvétele, annál nagyobb a diagnosztikai céllal beadott radioaktív jódból a pajzsmirigybe jutó hányad, s ennél fogva e kis tömegű szerv sugárterhelése.

Az elmúlt évtizedben végzett állatkísérletes és analitikai vizsgálataink során egyrészt arra a kérdésre kerestük a választ, hogy mennyire befolyásolja a pajzsmirigyblokkolás céljára beadott, nagy dózisu, stabil jód védőhatását a jódezellátottság mértéke, másrészt emberi eredetű minták jódkoncentrációját mérve hogyan jellemezhetjük az esetleges baleseti radiojód-felvétel által leginkább veszélyeztetett Paks környéki népesség jódezellátottságát.

Mintegy ezer CFY patkányon végzett kísérletek eredményeként megállapítottuk, hogy jódhiányos állapotban csökken a sugáregészségügyi jódprofilaxis védőhatása, azaz mind a kifejlett egyedek, mind a magzatok és az újszülött állatok pajzsmirigy- és egésztest-sugárterhelése nagyobb a ^{131}I -felvétel után nagy dózisban beadott stabil jód ellenére is, mint a hasonlóan kezelt, normál jódezellátottságú csoportokban. A napi jódbevitel tartós, kis mértékű emelésével (megduplázásával) átlagosan a felére csökkenthető a pajzsmirigy ^{131}I -felvétele. Ezen "előkezelés" és a ^{131}I -felvétel után nagy dózisban beadott KI védőhatása összegződött, azaz a kombinált jódbevitellel csökkenthető a legjobban a pajzsmirigy és az egész test sugárterhelése.

A paksi atomerőmű körüli 30 km sugaru körzetben élő lakosok (összesen 1500 fő) pajzsmirigyében két, vizeletében 3 módszer egybehangzó eredményei szerint olyan jódkoncentrációkat találtunk, amelyek a normál jódezellátottságnak csupán a felét tükrözik, és sürgetik a jódezellátottság javítását pl. a jódozott só kizárólagos használatával az említett körzetben.

AZ NK-370 TÍPUSÚ GAMMA-SPEKTROMÉTER ADATFELDOLGOZÓ RENDSZERÉNEK TOVÁBBFEJLESZTÉSE

Giczi Ferenc, Urbán Márta, Somlósi János

Győr-Sopron megyei Közegészségügyi és Járványügyi Állomás

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató-intézet

A csernobili nukleáris balesetet követően az Egészségügyi Radiológiai MÉRŐ-Adatgyűjtő Hálózat (ERMAH) laboratóriumai a Gamma Művek által kifejlesztett 200-csatornás analizátort és spektrumkiértékelő szoftvert kaptak, elsősorban a környezeti minták radioaktivitásának mérésére.

Az elmúlt időszakban alakult ERMAH számítástechnikai bizottság újabb igényt fogalmazott meg a mérési eredmények kiértékelésével és archiválásával kapcsolatban, Commodore 64 és IBM PC számítógépekre alapozva.

A szerzők a számítástechnikai bizottság javaslatai alapján és koordinálásával fejlesztették tovább az analizátor adatfeldolgozó rendszerét. Ezáltal lehetőség nyílik a saját és más műszeren mért eredmények archiválására. A Commodore 64 számítógép kis kapacitása miatt, itt az archivált adatok IBM PC számítógépre átvihetők, majd központi országos feldolgozásra is alkalmasak lesznek.

Commodore 64 számítógép kis kapacitása miatt, itt az archivált adatok IBM PC számítógépre átvihetők majd, és központi országos feldolgozásra is alkalmasak lesznek.

3. RÖNTGENEMISSZIÓS ANALITIKAI
SZEMINÁRIUM

VESZPRÉM, 1989. NOVEMBER 27-29

BEVEZETŐ

1989. november 27-29-én került sor a 3. Röntgenemissziós Analitikai (REA) szeminárium megrendezésére a Veszprémi Akadémiai Bizottság (VEAB) székházában, a Veszprémi Vegyipari Egyetem (VVE), a VEAB és az MTA Atommagkutató Intézete (ATOMKI) közös szervezésében. Ennek anyagát tartja kezében a tisztelt olvasó.

A REA gyökere az 1913-as évre nyulik vissza, arra az időre, amikor Moseley felfedezte a róla elnevezett törvényt. Ez megállapítja, hogy az elemek által kibocsátott karakterisztikus sugárzás frekvenciája és az elem rendszáma között egyértelmű összefüggés van. Ennek alapján fedezte fel 1922-ben Hevesy és Coster a hafniumot, mint a periódusos rendszerből addig hiányzó elemet. Ebből is látszik a REA nagy teljesítő képessége, de a magyar természetbuvárok igen korai részvétele is, ami kötelez bennünket, utódokat, a természetmegismerés méltó továbbvitelére. Ilyen gondolatok készítették 1982-ben az első hazai REA ankét megszervezésére, a denveri konferenciák mintájára (Denverben évenként rendezik). Az eredeti tervek szerint kétévenként került volna rá sor, és kizárólag magyar részvétellel (nemzeti beszámolónak számvá), azzal a céllal, hogy idegen nyelven nem beszélő érdeklődők, alkalmazók is jussanak némi szakirodalomhoz.

Az energiadiszperzív REA mérő eszköze a félvezető detektoron (Si(Li), Ge(Li), HPGE) alapuló röntgenspektrométer. 1975-ig ilyen berendezést csak nyugatról lehetett behozni a KEVEX, ORTEC, PHILIPS stb. cégtől.

Az 1970-es évek elején az ATOMKI-ben elkezdődött a Si(Li) detektorok készítése, majd a röntgenspektrométer kifejlesztése. 1974-ben megépült az első, energiadiszperzív (ED) REA-ra is alkalmas berendezés. Ezt követte a REA alkalmazásának elkezdése széles interdiszciplináris területen. Vizsgálatok kezdődtek geológiai, metallurgiai, régészeti, mezőgazdasági, környezetvédelmi, biológiai stb. mintákon. Ez a tevékenység két célt szolgált: egyrészt, felhívni a különféle diszciplinák szakértőinek a figyelmét a REA alkalmazására, másrészt, minél szélesebb körű felhasználói igény birtokában továbbfejleszteni a REA berendezést, minél versenyképesebbé tenni azt. Ennek eredményeképpen az elmúlt kb. 15 év alatt több, mint 50 készülék hagyta el az ATOMKI-t bel és külföldre, kb. 8:2 arányban. Közben a REA-t művelő magyar kutatók egyre gyakrabban jelentek meg előadással hazai és külföldi rendezvényeken.

1982-re, úgy tűnt, megérett a helyzet egy hazai ankét meghirdetésére. Miskolcon, az MTA Olajbányászati Kutatólaboratóriumában "A röntgenfluoreszcens szinképelemzés alkalmazása az iparban, a kutatásban és a környezetvédelemben" címmel rendeztük meg a Gépipari Tudományos Egyesület (GTE), a Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE) és az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület (OMBKE) közös Szinképelemző Szakbizottsága és ennek Röntgenspektrometriai Munkabizottsága közös rendezvényeként 30 ipari vagy ipari termeléssel kapcsolatban

lévő szakember és 27 kutató részvételével. A megnyilvánuló érdeklődés igazolta a szervezők elképzelésének helyességét. Azt is érdemes megjegyezni, hogy a résztvevők kb. fele külföldi (5-6 cégtől származó) és a másik fele hazai (ATOMKI) berendezéssel dolgozott.

A második ankétot "Röntgenmissziós analízis és interdiszciplináris (ipari, mezőgazdasági, környezetvédelmi és tudományos) alkalmazásai" címmel a Debreceni Akadémiai Bizottság (DAB) székházában, 1984 november 13-15 között, a DAB, az ATOMKI, a GTE, a MKE és az OMBKE közös Szinképelemző Szakbizottsága és ennek Röntgenmissziós Munkabizottsága szervezte. Az ankéton 24 előadás hangzott el, 54 résztvevő előtt (ebből 29 ipari szakember volt).

A harmadik találkozóra csak 1989-ben kerülhetett sor a VEAB székházában, a VEAB, a VVE és az ATOMKI szervezésében. Ennek oka főleg a 80-as évek nehezedő gazdasági helyzetében keresendő. A találkozón 14 előadás hangzott el 32 résztvevő előtt és egy kerekasztal-beszélgetésen megvitattuk a REA hazai helyzetét, jövőjét. A megbeszélésen jelen voltak az ipari alkalmazók, a fejlesztők és kutatók. Szóba került a gerjesztő radioizotóp források magas ára, a nagyobb kiadást jelentő, de egyszeri beruházást igénylő röntgensöves gerjesztés előnybe helyezése, a különféle típusú minták standardizálási problémái. Felmerült az igény a REA-val foglalkozó szakemberek gyakorlati és elméleti problémáinak az eddiginél hatékonyabb összefogására, közérdeklődésre számot tartó események, információk rendszeres közzétételére. Ennek érdekében a jelenlévők kifejezték azt a határozott igényüket, hogy a szeminárium anyagát, a korábbi ankétok anyagához hasonlóan, jelentessük meg, és az anyaghoz csatoljuk a résztvevők listáját, valamint azokét, akiknek van REA készülékük. Elhangzott, hogy most is több érdeklődő lenne, de sokan nem tudtak az összejövetelről.

Kifejezetten a kémikus kollégáknak köszönhetően működik ugyan a GTE, a MKE és az OMBKE közös Szinképelemző Szakbizottsága mellett a Röntgenspektrometriai Munkabizottság (tagjai: Träger T. és Bacsó J.), de bizonyos szervezési okok miatt (csak GTE tagokat tudnak értesíteni) a REA-val foglalkozók megnövekedett létszáma új szervezeti formát kíván. Felvetődött egy fizikus körökhez közelebb álló, a nukleáris analitika minden területét (REA, NAA, γ -spektroszkópia) összefogó akadémiai bizottság létrehozásának szükségessége.

Mivel a szeminárium tárgyköre az "Izotóptechnika, diagnosztika" című folyóirat témájába tartozik, kézenfekvőnek látszott az anyag megjelentetését itt kezdeményezni, amit a szerkesztőbizottság a legnagyobb megértéssel és segítőkészséggel fogadott.

Végül a magam és a szeminárium résztvevői nevében szeretnék köszönetet mondani a VVE munkatársainak és személy szerint Dr. Méray László rektorhelyettes urnak a szeminárium megszervezéséért, és a VEAB-nak a kiváló és nyugodt elhelyezésért, a gyönyörű környezetért, ahol zavarmentesen és eredményesen zajlott le a találkozó.

Debrecen, 1990. január

Bacsó József

A TOTÁLIS REFLEXIÓ ALKALMAZÁSA A RÖNTGENEMISSZIÓS ANALIZISBEN (IRODALMI ÁTTEKINTÉS)

Bacsó József

MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen, Pf. 51, 4001

BEVEZETÉS

A korszerű ipari termelés és az iparszerűen termelő mezőgazdaság egyaránt feltételezi nagy érzékenységű, gyors, sokelemes, egyszerű és olcsó analitikai módszerek alkalmazását. A legtöbb jelenleg használatos, korszerű analitikai módszer (AAS, AES, ICP, MS, REA, NAA stb.) megfelel valamely vagy több követelménynek is, azonban a legtöbb követelményt egyidejűleg a röntgenemissziós analitika (REA, angol elnevezéssel X-ray Fluorescence Analysis, XRFA) elégíti ki. Ugyanakkor egyszerű mintaelőkészítési igénye nagymértékben csökkenti a nyomelemkoncentráció torzítását (mintaelőkészítés során előforduló nyomelemkivonást vagy kontaminációt). Hátránya azonban, hogy a hagyományos radioizotóp gerjesztésű REA berendezések detektálási küszöbe (angol elnevezése Limit of Detection, LOD) csak a legkedvezőbb esetekben éri el a 0,1 ppm-et, bár ez az érzékenység a gyakorlati feladatok egy részének a megoldásához elegendő, más részük érzékenyebb módszert igényel.

A nem kielégítő érzékenység oka a visszaszórt gerjesztő sugárzás nagy részaránya a mért spektrumban, ami a háttérrel a teljes analitikai tartományban erősen megnöveli. A visszaszórt sugárzás részarányának a csökkentésére - és a LOD csökkentésére is - két lehetőség kínálkozik: egyik a teljes visszaverődés (totális reflexió, TR) alkalmazása¹⁻³, a másik a lineárisan polarizált gerjesztő nyaláb használata. Itt csak az előbbivel foglalkozunk. Mielőtt azonban a TR REA-ban való alkalmazására rátérnénk, nézzük meg egy kicsit részletesebben, mire is képes a REA, és milyen részfolyamataiban okozhat a TR alkalmazása olyan változást, amely a módszer érzékenységét képes kedvezően befolyásolni.

ENERGIA-DISZPERZIV RÖNTGENEMISSZIÓS ANALITIKA (EDREA, EDXRFA)

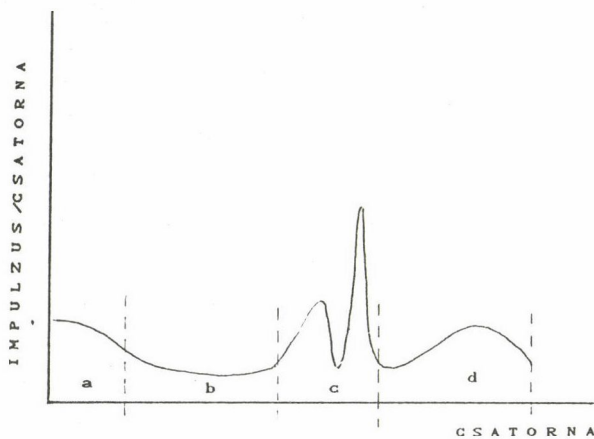
A hagyományos energiadisziperziv (ED) röntgenspektrométerek (Si(Li), Ge(Li), HPGE) alkalmazásával folytatott REA lehetővé teszi, hogy tetszőleges mintában a fő komponenseket és a nyomelemeket egyidejűleg határozzuk meg a 11-nél nagyobb rendszámú elemeknél. Speciálisan tervezett, ún. ablak nélküli detektorral még a C, N, O és F is detektálható. Tapasztalati tény, hogy az EDREA-val meghatározható koncentráció alsó határa eléri a ppm szintet, vagy enyhén alatta van. Így az ED röntgenspektrométer, illetve a REA - figyelembe véve a jelentéktelen mintaelőkészítési követelményt, a halmazállapottól, a kémiai formától és elemtípustól (alkáli, halogén, ritkaföld stb.) független meghatározás lehetőségét - igen

sok és szerteágazó gyakorlati feladat megoldására bizonyult igen hathatós eszköznek.

A technika és tudomány fejlődése azonban szüli az igényt egyre kisebb koncentráció, folyton kisebb (nano- és pikogramnyi) mennyiség kvantitatív meghatározására. Ezek a mennyiségek mélyen a REA detektálási küszöbe (LOD) alatt vannak, az ilyen kicsiny mennyiségtől származó analitikai jel ugyanis (a leszámított röntgenkvantumok száma) nem különböztethető meg a háttér statisztikai ingadozásától.

Statisztikai megfontolások alapján, detektálási küszöbön (LOD) azt az anyagmennyiséget (vagy koncentrációt) értjük, amelytől származó nettó detektált impulzusszám (N_{LOD}) egyenlő az illető elem csucs alatti területén mért háttér-impulzusszám (N_B) négyzetgyökének, azaz a háttér statisztikus ingadozásának háromszorosával: $N_{LOD} = 3 N_B^{1/2}$.

A definícióból következik, hogy a LOD csökkentésének útja a háttér csökkentése. A hagyományos REA-nál a nagy háttér elsősorban a viszonylag nagy mintatömegekről (100-200 mg) és esetleg a mintatartóról való visszaszórás okozza. A nagy háttér az analitikai tartománynak csak egyes helyein engedi meg



1. ábra

Tipikus sugárzás okozta háttérspektrum a REA-ban
 Типический фон в радиометрическом анализе
 Typical radiation induced background spectrum in
 photon excited X-ray fluorescence analysis

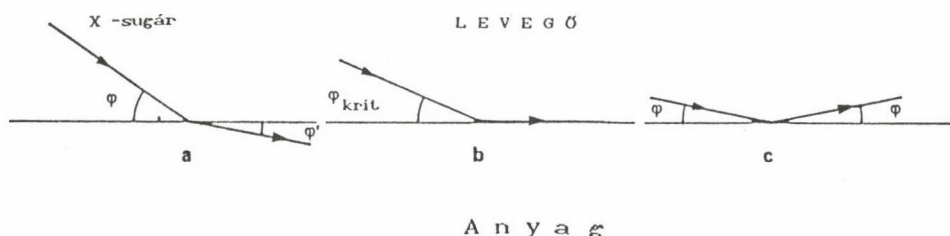
mutatja, a háttér főbb komponensei szerint szakaszokra (a, b, c, d) bontva. Az egyes spektrumszakaszok eredete a következő az "a" szakasz a detektorba bejutott és ott Compton-szórást szenvedett, nagyobb energiájú röntgen- vagy γ -sugárzás detektorban maradt energia része; "b" szakasz a mintán és mintatartón többszörös szórást szenvedett sugárzás, amely bejutott a detektorba (első közelítésben fehér spektrum); "c" szakasz a mintán és a mintatartón rugalmas és rugalmatlan szórást szenvedett gerjesztő sugárzás; "d" szakasz (röntgensöves gerjesztésre jellemző spektrumszakasz) a mintáról és mintatartóról

visszaszóródott, fékezési sugárzás. Radioaktív izotópos gerjesztés esetén csak az "a", "b" és "c" szakasz, míg röntgensöves gerjesztésnél a "d" is megjelenik. Itt kell megjegyezni, hogy a REA spektrumok zömében (a nehéz elemekből álló minták spektrumait kivéve) a visszaszórt sugárzás részaránya eléri a 95-98%-ot is. Ez a nagy részarány, az elemzés szempontjából viszonylag kevés információt hordozó spektrumrész elnyomása a célja a teljes visszaverődést szenvedett nyalábbal végzett gerjesztésnek.

TELJES VISSZAZERŐDÉS

FIZIKAI ELV

A röntgensugarak teljes visszazerődése akkor következik be, ha egy kollimált nyaláb esik röntgensugárzás visszazerődésére alkalmas anyag sík és eléggé sima, polirozott felületére, a kritikus szögnél (φ_{krit}) kisebb szög alatt (2. ábra). Ha a beesési szög $\varphi > \varphi_{\text{krit}}$, akkor a nyaláb behatol az anyagba, és fény-



2. ábra

Röntgensugárzás elhajlása és visszazerődése a beeső szög függvényében

Отклонение и рассеяние рентгеновского излучения в зависимости от угла нападения

Refraction and reflection of X-rays as a function of the incident angle

töréshez hasonló elhajlást (refraction) szenved; ha a $\varphi = \varphi_{\text{krit}}$, akkor a megtört nyaláb a reflektor felületén, azt surolva halad tovább, míg a $\varphi < \varphi_{\text{krit}}$, akkor teljes visszazerődés figyelhető meg. Ez azt jelenti, hogy a beesési szög megegyezik a visszazerődés szögével, és a visszavert nyaláb intenzitása elvileg megegyezik a beeső nyaláb intenzitásával. A valóságban azonban számolni kell az abszorpcióval is, ami az anyagba való behatolás közben fordul elő. A gyakorlatban a behatolási (penetrációs) mélység igen kicsi (10 nanométer nagyságrendű), amelyben létrejön a gerjesztő sugárzás kölcsönhatása az anyaggal. Mivel ez az anyagmennyiség nagyságrendekkel kevesebb, mint a hagyományos gerjesztés esetén, a háttér kialakító szórás is ilyen arányban lesz kevesebb.

A kritikus szöget és a behatolási mélységet elméletileg a diszperziós elméletből határozhatjuk meg, elhanyagolva a kvantumeffektusokat és a rezonanciajelenségeket. A kritikus szöget a következő összefüggésből kapjuk:

$$\varphi_{\text{krit}} = \left(\frac{5,4 \cdot 10^{10} Z \rho \lambda^2}{A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ahol Z a reflektor atomszáma, A a tömegszáma, ρ a sűrűsége (g/cm^3) és λ a reflektált sugárzás hullámhossza (cm). A kritikus szög tipikus értékei a milliradián szögtartományba esnek. Az 1. táblázat tartalmazza a kritikus szögeket a $\text{Cu}_{K\alpha}$ és a $\text{Mo}_{K\alpha}$ vonalára SiO_2 és Ge egykristály reflektorok esetén. Bár ezek a szögek igen kicsik, a beállításuk nem okoz gondot, ha az alkalmazott goniométer (pontosság és reprodukálhatóság tekintetében) megfelelő.

1. táblázat

A kritikus szög a Cu_{Ka} és Mo_{Ka} vonalra, Suprasil és Ge reflektornál
 Критические углы полного рассеяния для линий Cu_{Ka} и Mo_{Ka} в рефлекторе "Suprasil" (SiO_2) и Ge
 Critical angle for total reflection of Cu_{Ka} and Mo_{Ka} lines on Suprasil and Ge reflector material

Primer-sugárzás	Reflektor-anyag	φ_{krit}	
		mrad	szögperc
Cu-Ka	Suprasil	4	14
1,54 Å	Ge	5,5	19,2
Mo-Ka	Suprasil	1,9	6,5
0,711 Å	Ge	2,4	8,3

számításba vehető reflektoranyagoknál (SiO_2 , Ge) a 20-70 nanométertartományba esnek⁵ X_p értékeit a 2. táblázat tartalmazza a Cu Ka és Mo Ka sugárzására, SiO_2 (Suprasil) és Ge egykristályra. Fentiekből következik, hogy a totális reflexió alkalmazásánál a háttér csökkenni fog az átvilágított mintaréteg csökkenése miatt, de újabb reflektorral elérhető a gerjesztő sugárzás nagy energiájú részének a levágása is, azaz a gerjesztésre legalkalmasabb hullámhossztartomány kiválasztása történhet, ami szintén háttérnövekedést eredményez.

2. táblázat

Penetrációs mélység SiO_2 és Ge reflektorban a Cu_{Ka} és Mo_{Ka} vonalakra
 Величины глубины проникновения для рефлекторов SiO_2 и Ge и линии Cu_{Ka} и Mo_{Ka}
 Penetration depth in Suprasil and Ge reflector for Cu_{Ka} and Mo_{Ka} lines

Primer-sugárzás	Reflektor-anyag	X_p (nm)
Cu-K	Suprasil	36,4
1,54 Å	Ge	18,2
Mo-K	Suprasil	73,8
0,711 Å	Ge	12,9

A sugárzás reflektorba való behatolásának jellemzésére a penetrációs mélység (X_p) szolgál. Ez az a mélység, amelyben a sugárzás az e-ed részére csökken. Nagysága függ a sugárzás hullámhosszától λ (cm) és a reflektor τ (cm) lineáris abszorpciós együtthatójától:

$$X_p = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\pi \tau} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

X_p értékei a szokásos hullámhossztartományban és a jelenleg

KISÉRLET

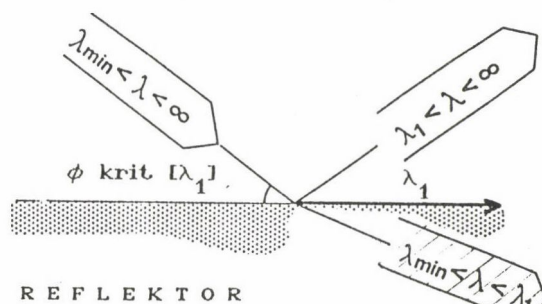
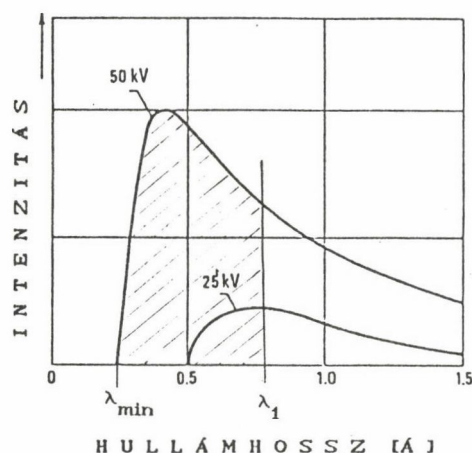
A TR alkalmazása a REA területén feltételezi alkalmas reflektor meglétét, a mintapreparálás és berendezés optimális összeállítását, a legkedvezőbb eredmény feltételeit. A következőkben sorra vesszük azokat a technikai változtatásokat, melyeket a REA-hoz képest meg kell valósítani.

REFLEKTOR, MINTATARTÓ

A TR alkalmazása a REA-ban azt jelenti, hogy a TR-ban részt vevő röntgennyaláb idézi elő a mintában lévő elemek karakterisztikus sugárzását, azaz geometriailag jól definiált, surlódó, párhuzamos sugárnyaláiban történik a minta gerjesztése. Ebből következik, hogy a vizsgálandó mintát és a reflektort szoros kontaktusba kell hozni a mérés idejére. A mintát a reflektor felületére kell preparálni igen vékony rétegben. Ez jelzi, hogy a reflektort többszöri felhasználásra kell tervezni és készíteni, ami együttevén szigorú követelményeket támaszt a reflektor anyagával szemben⁵. Ezek:

- 1/ amorf vagy kristályos anyag legyen, de mindenképpen homogén;
- 2/ ultranagy tisztaságú legyen (ppb, ppt mennyiség már zavaró);

- 3/ mechanikailag kemény és kémiaailag ellenálló legyen;
- 4/ jól megmunkálható, csiszolható és polírozható legyen;
- 5/ karakterisztikus sugárzása essék kívül a vizsgálandó tartományon;
- 6/ különleges felületi minősége legyen, a felület síksága belül legyen a hullámhossz egy tizedén és durvasága a $1 \mu\text{m}$ -en;
- 7/ árban elérhető legyen.



3. ábra

A röntgenspektrum nagy energiás részének "levágása"

Схематическое представление "отреза" высоко-энергетической части спектра

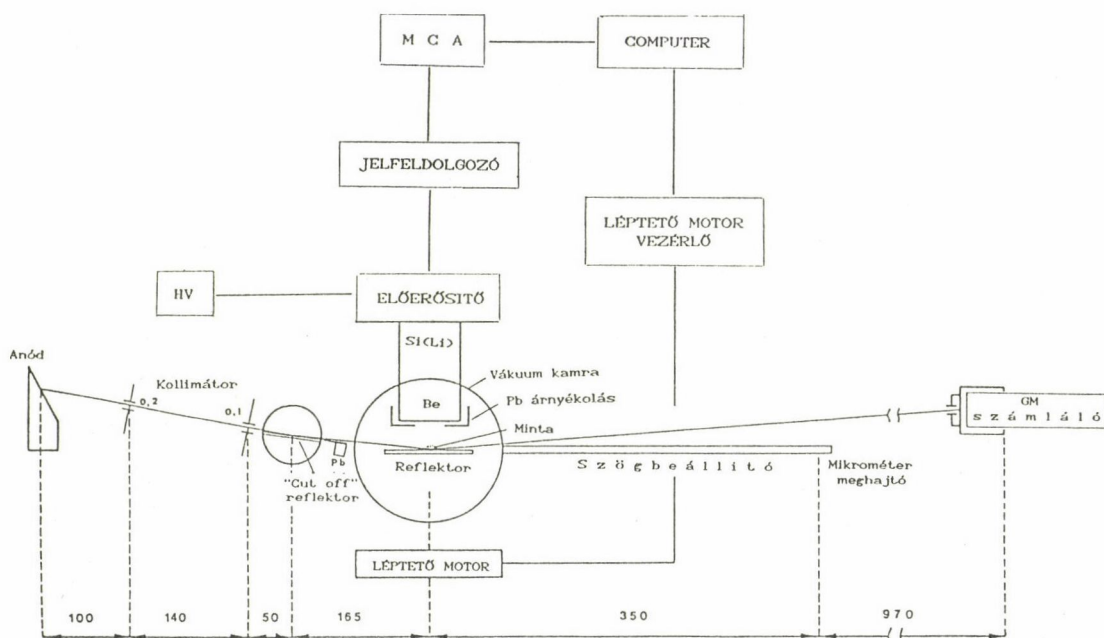
Schematic representation of the "cut-off" of high energetic spectrum part

A TR-REA BERENDEZÉS FELÉPÍTÉSE

A 4. ábra egy TR-REA berendezés elvi vázlatát mutatja. A detektorrendszer, a jelfeldolgozó és kiértékelő rendszer és a vezérlő rendszer (PC) megegyezik a hagyományos REA berendezéssel (Si(Li) mérőfej, jelprocesszor, MCA, számítógép, printer). Ami változást jelent a REA-hoz képest, az a fluoreszcens sugárzás (a mintában lévő elemek karakterisztikus sugárzása) gerjesztését biztosító besugárzó rendszer, a mintapreparálás és ezek mérőfejhez viszonyított térbeli elhelyezése.

A gerjesztő sugárzást finom fókuszú kis (1 kW-nál nem nagyobb) teljesítményű röntgenső szolgáltatja, kollimátorrendszeren keresztül (0,2 és 0,1 mm rés). A kollimált röntgennyaláb ún. "cut off" reflektoron keresztül jut a mintatartóra, amelyen totális reflexiót szenved. Mivel a sugárnyaláb surlódó beeséssel esik a reflektorra (mintatartóra), a mintát teljes vastagságában átjárja. A keltett fluoreszcens sugárzást a detektor igen közelről (kb. 2-3 mm-ről) nézi. A totális reflexiót biztosító reflektort (mintatartót) goniométeren helyezük el, amelynek pontos beállítását a számítógépről vezérelt léptetőmotor és a szögbeállító teszi lehetővé, a GM-detektor segítségével.

Mint az a korábbiakból kitűnik, a vizsgálathoz a mintát a reflektor közepén, kb. 8 mm átmérőjű foltban, $1 \mu\text{m}$ -nél nem vastagabb rétegben kell elhelyezni. Ez oldatba vitt minta a reflektor felületén való beszáritásával vagy rend-



4. ábra

TR-REA kísérleti elrendezés vázlata két reflektorral
 Экспериментальное устройство радиометрического анализа с двойным отражением

Experimental setup of XRF with double reflector arrangement

kivül finomra ($\leq 1 \mu$) őrölt minta felületen való megkötésével érhető el. Így a mintaelőkészítés első fázisa a minta oldatba vitele. Ennek módja elsősorban a minta típusától függ. Arra nincs lehetőség, hogy minden mintatípusra receptet adjunk, de a legfontosabbak a következők. A nehezen oldható mintákat tömény HNO_3 -ban, 180°C -on több órán keresztül, nagy nyomás alatt, teflonbombában oldják fel. A visszamaradt oldhatatlan részt ultrahanggal diszpergálják. Az őrlés után az oldathoz adják, homogenizálják, és ez után viszik fel a mintatartóra. Olajok nyomelemvizsgálatához a vizsgálandó anyagot kloroformmal célszerű elegyíteni, 1:10 arányban.

Természetes víz (esővíz, tengervíz, forrásvíz stb.) nyomelemvizsgálatát végezhetik direkt uton is, de elődiszitással az érzékenység fokozható. Az elemek kvantitatív meghatározásának elősegítése végett az oldatba vitt anyaghoz ismert mennyiségű, alkalmas elemet adnak (belső standard), homogenizálják, majd 1-300 μl oldatot a mintatartón kb. 8 mm átmérőjű foltba bepároolnak.

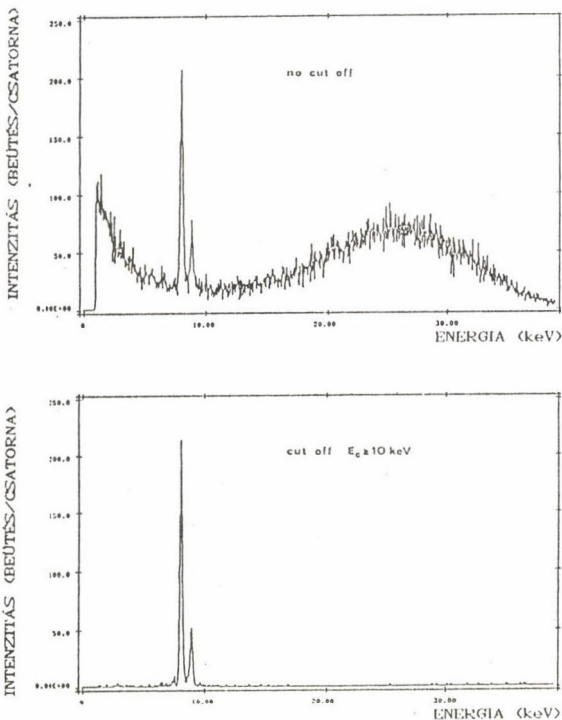
Itt említjük meg, hogy a zárt mérési körülmények miatt sorozatmérés kizárólag csak sok minta befogadására alkalmas mintaváltó berendezéssel képzelhető el. Jelenleg 35 minta egyidejű befogadására alkalmas TR-es mintaváltó rendszer van kereskedelmi forgalomban⁴.

EREDMÉNYEK

A TR alkalmazása esetén a háttér intenzitása két ok miatt is csökken:

a/ A gerjesztő sugárzás praktikusán 90° -os beesési szögben (surlódó beesés) éri a vizsgálandó mintát, amelyet a detektor szintén 90° -nál lát (a szórási keresztmetszet 90° -nál a legkisebb).

b/ A TR miatt a gerjesztő sugárzás 4-5 nagyságrenddel vékonyabb anyagréteget pásztáz, mint a közönséges REA esetében. Ennek megfelelően a háttérteret eredményező szórt sugárzás is kb. ilyen arányban csökken. Ugyanakkor, mivel a detektor (mérőfej) egészen közelre (2-3 mm) vihető a mintához, a fluoreszcens sugárzást lényegesen nagyobb térszögből detektáljuk. Az 5. ábra a Cu K α és K β vonalait mutatja "cut off" reflektor alkalmazása esetén és nélküle. Az ábra jól demonstrálja a reflektor szerepét a fluoreszcens spektrum háttérének alakításában.



5. ábra

Cu karakterisztikus röntgenspektruma nagy energiás levágással (alul) és a nélkül (felül)

Спектр Cu с отрезом части высокой энергии спектра (внизу) и без отреза (вверху)

X-ray spectrum of Cu with high energy "cut-off" (below) and without it (above)

A módszer igen eredményesen alkalmazható levegőminta szennyezettségének mérésére. A 3. táblázat mutatja cellulózacetát szűrőre vett, $0,93 \text{ mg/cm}^2$ légszennyező mérési eredményeit a következő mérési körülmények mellett: 1 cm^2 szűrőlap feloldva 2 ml salétromsavban, $25 \text{ }\mu\text{l}$ 200 ppm -es Ni törzsoldattal standardizálva, homogenizálás után $25 \text{ }\mu\text{l}$ beszárítva a mintatartón, mérési idő 500 s . A TRREA-val megadott eredmények hibája nem nagyobb 20% -nál. A táblázat 2. oszlopa a TRREA a 3. oszlop instrumentális neutronaktivációs mérés INAA (ellenőrző mérés), a 4. oszlop a hagyományos REA (összehasonlításra), míg az 5. oszlop a TRREA-ben mért abszolút elemennyiséget mutatja.

A táblázat jól szemlélteti a TRREA teljesítőképességét az INAA-hoz és a hagyományos REA-hoz képest.

Az esővíz nyomelemtartalma tájékoztat a légtérbe juttatott minden környezetszennyezőről. Ezek koncentrációja általában igen kicsi. Direkt és elődustitás után végrehajtott TRREA eredményét mutatja a 4. táblázat⁷. A táblázatból kitűnik, hogy a módszer reprodukálhatósága kitűnő ($1-2\%$), és csak néhány esetben tesz ki $20-25\%$ -ot. Oka valószínűleg a mintaelőkészítésben keresendő.

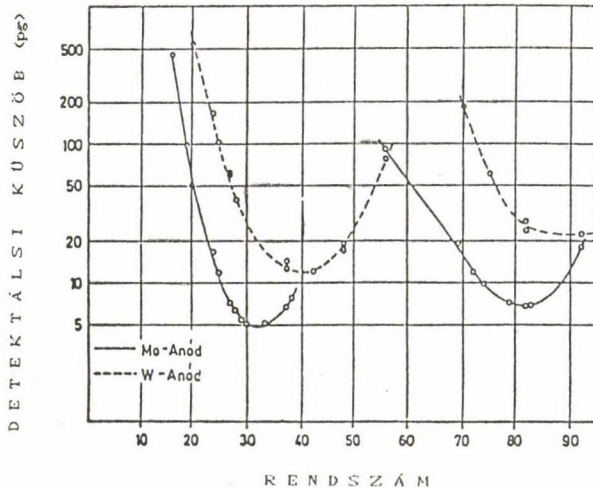
3. táblázat

Cellulózacetát szűrővel vett aeroszolminta elemzési adatai

Аналитические результаты для аэрозольных частиц, накопленных на целлюлозацетатном фильтре

Analytical figures for airborne particles collected on a cellulose acetate filter

Elem	TRREA $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	INAA $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	REA $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Tömeg pg
S	$73,10 \pm 14,6$	< 100	75,7	836,0
Ti	$1,59 \pm 0,24$	$1,5 \pm 0,3$	2,1	18,2
V	$0,25 \pm 0,05$	$0,28 \pm 0,02$	-	2,86
Cr	$0,13 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,04$	-	1,49
Mn	$0,52 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,02$	-	5,95
Fe	$23,6 \pm 0,6$	29 ± 4	27,6	270,0
Ni	$0,13 \pm 0,02$	$< 1,4$	-	1,49
Cu	$2,51 \pm 0,07$	$2,4 \pm 0,3$	-	28,7
Zn	$3,04 \pm 0,01$	$3,0 \pm 0,3$	3,78	34,8
As	$0,80 \pm 0,1$	$0,61 \pm 0,05$	-	9,15
Pb	$6,49 \pm 0,28$	-	-	7,42
Se	$0,19 \pm 0,02$	$0,18 \pm 0,03$	-	2,17
Br	$0,81 \pm 0,08$	$0,68 \pm 0,03$	0,9	9,27
Rb	$0,05 \pm 0,01$	-	-	0,57
Sr	$0,47 \pm 0,05$	-	0,43	5,38



6. ábra

Detektálási küszöb a rendszám függvényében, Mo és W anód esetén

Порог детектирования в зависимости от атомного номера для Mo и W анода

Limit of detection vs. atomic number for Mo and W anode

Elődusítás esetén 10^{-10} , sőt 10^{-12} g teljes biztonsággal meghatározható. Tengervízben az oldott nehézfémek koncentrációja a ng/kg-tól a $\mu\text{g}/\text{kg}$ tartományba esik, aminek meghatározása igen nagy követelményt állít a mérőmódszer és az analitikus elé egyaránt. Igen érdekes megfigyelni, milyen határok között változik a nehézfémek koncentrációja az óceánok vizében. Olajban nehézfémekre szintén 10^{-10} g detektálási küszöb adódott.

A 6. ábra a detektálási küszöb abszolút értékét mutatja a rendszám függvényében, Mo és W anód esetén.

Az utóbbi idők nagyfokú erdőpusztulásának okát keresve igen érdekes különbségeket találtak egészséges és beteg fenyőfák hajszálgyökereinek nyomelemtartalmában. Növekedést találtak töb-

4. táblázat

Esővízminta elemzése közvetlenül és előkoncentráálás után mérve

Анализ образца дождевой воды непосредственно и после концентрирования

Rainwater samples analyzed directly and after concentration

Elem	Direkt mérés µg/l	Elődustitás: Freeze-drying µg/l	
S	662	463	452
K	135	113	111
Ca	122	117	118
Ti	-	0,4	0,4
V	1,8	1,5	1,6
Cr	-	0,3	0,3
Mn	6,9	6,4	6,4
Fe	8,8	5,7	5,8
Ni	1,2	1,5	1,8
Cu	1,8	1,7	1,8
Zn	17,7	16,3	16,7
As	-	0,06	0,13
Pb	2,0	1,51	1,5
Se	-	0,06	0,10
Rb	-	0,18	0,18
Sr	0,8	0,66	0,66
Mo	-	0,07	0,07
Ba	-	1,1	1,0
Cd	-	0,11	0,11

5. táblázat

Nyomelemek koncentrációtartománya tengervízben

Диапазон концентрации микроэлементов в морской воде

Range of trace element concentrations in oceanic sea-water

Elem	Koncentráció ng/l	
	Irodalmi érték	TRREA ng/l
V	830-1570	960-1760
Mn	10-55	14-67
Fe	15-150	197-467
Co	1-7	<5-10
Ni	123-646	129-622
Cu	32-320	30-355
Zn	5-588	61-533
Pb	3-15	24-49
Állandó	[ng/l]	
Mo	10,1 _{+0,3}	10,3 _{+0,5}
U	3,08 _{+0,07}	3,13 _{+10,12}

bek között a K, Mn, Fe és Ni koncentrációban, míg csökkenést figyeltek meg a Ca, és súlyos hiányt a Zn és Mo esetében⁸.

A TRREA-i mérésben kapott detektálási küszöb és a meghatározás hibája alapján állitható, hogy a teljes visszaverődéssel végzett REA a legérzékenyebb analitikai módszerek sorába került. A vizsgálat lényegéből adódó, vékony minta használata kiküszöböli a mátrixeffektus bonyolult számításba vételét. Mindezek, a módszer sokelemes meghatározási tulajdonságával együtt, azt sejtetik, hogy a TRREA igen széles alkalmazásra fog lenni a közeli jövőben.

IRODALOM

1. Y. Yoneda, T. Horiuchi, Rev. Sci. Instr. 42 (1971) 1069
2. H. Aiginger, P. Wobrauschek, Nucl. Instr. Meth. 114 (1974) 157
3. P. Wobrauschek, H. Aiginger, Anal. Chem. 47 (1975) 852
4. International Patents Held by GKSS Research Centre, Geesthacht.
5. H. Aiginger, P. Wobrauschek, Adv. X-Ray Fluor. Anal. 32 (1989) 1
6. P. Wobrauschek, H. Aiginger, Spectrochim. Acta. 35B (1980) 607
7. H. Schwenke, J. Knoth, Nucl. Instr. Meth. 193 (1982) 239
8. W. Michaelis, J. Knoth, A. Prange, H. Schwenke, Adv. X-Ray Fluor. Anal. 28 (1985) 75
9. C. Strelí, H. Aiginger, P. Wobrauschek, Spectrochim. Acta 44B (1989) 491
10. P. Wobrauschek, H. Aiginger, X-Ray Spectrom. 8 (1979) 57
11. J. Knoth, H. Schwenke, Z. Anal. Chem. 291 (1978) 200
12. P. Wobrauschek, H. Aiginger, Z. Anal. Chem. 324 (1986) 865
13. J. Knoth, H. Schwenke, Z. Anal. Chem. 301 (1980) 7
14. F. Hegedüs, P. Winkler, P. Wobrauschek, C. Strelí, Adv. X-Ray Fluor. Anal. 28 (1984) 85
15. P. Ketelson, A. Knöche, Z. Anal. Chem. 317 (1984) 333
16. A. Knöchel, A. Prange, Microchim. Acta (II) (1980) 395
17. W. Ahlf, A. Weber, Environ. Techn. Lett. 2 (1981) 317
18. J. Knoth, H. Schwenke, R. Marten, J. Glauer, J. Clin. Chem. Clin. Biochem. 15 (1977) 557

*

A hagyományos REA-ban kb. 1 ppm detektálási küszöb érhető el. Oka a magas háttér az analitikai tartományban. Ezt csökkenteni a teljes visszaverődés vagy polarizált nyaláb alkalmazásával lehet. A cikkben foglalkoztunk a teljes visszaverődés elvi és gyakorlati lehetőségével, és bemutatjuk a vele elért érzékenységjavulást.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛНОГО РАССЕЯНИЯ В РАДИОМЕТРИЧЕСКОМ ИЗМЕРЕНИИ

Бачо, Й.

Порог детектирования 10^{-6} г/г получен в традиционном радиометрическом измерении. Высокий порог детектирования вызван высоким фоном в аналитическом диапазоне. Уменьшить фон можно использованием полного рассеяния. В статье рассматриваются условия использования полного рассеяния и результаты.

APPLICATION OF TOTAL REFLECTION IN XRF

Bacsó, J.

About 1 ppm limit of detection was reached by conventional XRF, owing to its high background in the analytical region. It can be lowered by using polarized or totally reflected radiation for excitation, and results obtained by it are described.

ÚJ FOTON- ÉS RÉSZECSEDETEKTÁLÁSI ELVEK ÉS MÓDSZEREK (KRIOGENIKUS DETEKTOROK)

Kalinka Gábor

MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen, Pf. 51, 4001

BEVEZETÉS

A fotonok és részecskék energiájának mérésére szolgáló un. energiadiszerzív detektorok működése azon alapul, hogy a sugárzás és detektor anyagának kölcsönhatásában valamilyen fajta, nem egyensúlyi, fölös részecskék keletkeznek, melyek száma a sugárzás energiája és az illető folyamatra jellemző, egy részecske keltéséhez szükséges ϵ energia értékétől függ. Ezeket a részecskéket azután a lehető legjobb hatásfokkal össze kell gyűjteni, majd "leszámolni".

Az energiamérés elvi pontosságát a keltett részecskék számának az adott keletkezési folyamattól függő statisztikus ingadozása szabja meg, amely a folyamatot jellemző F un. Fano-faktorral $\delta_{\text{stat}} = (F\epsilon E)^{\frac{1}{2}}$ alakban fejezhető ki. További energiamérési bizonytalanságot okoznak a "számláló berendezés" elektronikus ingadozásai, amelyeket a detektorban sugárzás nélkül is jelen lévő egyensúlyi részecskék statisztikus fluktuációjával együttesen zajnak nevezünk, és amelyek szórásjároméka az ϵ mennyiséggel arányos: $\delta_{\text{noise}} \sim \epsilon$. A részecskebegyűjtési folyamattól származó szórásjároméka általános esetben nem adható meg egyszerűen, ráadásul, az előző két tényezővel ellentétben, nem normális eloszlással írható le. Csaknem tökéletes, $\eta \geq 0,95$ begyűjtés esetén jó közelítéssel $\delta_{\text{coll}} \approx [(1-\eta)E\epsilon]^{\frac{1}{2}}$, illetve a teljes energiabizonytalanság

$$\delta_{\text{tot}}^2 \approx \delta_{\text{stat}}^2 + \delta_{\text{coll}}^2 + \delta_{\text{noise}}^2 \quad (1)$$

alakban fejezhető ki.

Példaképpen gázionizációs detektorokban a sugárzás elektron-gázion párokat hoz létre, páronként kb. 30-40 eV energiaszükséglettel, míg például Si(Li) félvezető detektorban elektron-lyuk párokat, amelyek keltéséhez 3,6 eV energia szükséges. A gyakorlatban szórás helyett a vele $\Delta = 2,355 \delta$ összefüggésben lévő energiafelbontó képességet, az un. félértékszélességet használjuk. Egy jó minőségű Si(Li) detektor esetén a MnK_{α} ($E = 5898$ eV) röntgenvonalra ezekkel $\Delta_{\text{stat}} \approx 100$ eV ($F \approx 0,08$), $\Delta_{\text{noise}} \approx 90$ eV (kb. 25 zajelektron), valamint $\Delta_{\text{coll}} \approx 66$ eV ($\eta \approx 0,96$), amelyek együttesen $\Delta_{\text{tot}} = 150$ eV felbontóképességet eredményeznek.

Mivel az ϵ csökkenésével mind az energiafelbontó képesség (amely nem tulságosan nagy zaj esetén $\Delta_{\text{tot}} \sim \sqrt{\epsilon E}$), mind a legkisebb mérhető energia (az

un. detektálási küszöb, amely néhányszorosa a $\Delta_{\text{noise}} \sim \epsilon$ zajszélességnek) javul, logikusnak látszik olyan detektálási elveket keresnünk, amelyekre ϵ minél kisebb. Az egyik ilyen lehetőségnek a szupravezetőkben meV nagyságrendű kötési energiával rendelkező Cooper-párok felbontása révén keletkező kvázirészecskék, míg másik lehetőségnek nagyon alacsony (1 K körüli) hőmérsékletű anyagokban keltett, a kristályráccsal termikus egyensúlyba jutott (termalizálódott), kb. 0,1 meV/K energiájú rácsrezgések, fononok felhasználása látszik. Ezeket a detektorokat a működési elvükből következő alacsony "üzemi" hőmérsékletük miatt összefoglalóan kriogenikus detektoroknak nevezzük. Alkalmazással, elvben, a kis ϵ miatt, kb. 1 eV felbontóképességet (Δ_{tot}) és detektálási küszöböt ($\sim 3\div 4 \cdot \Delta_{\text{noise}}$) lehetne elérni.

A szupravezetésben rejlő magsugárzás-detektálási lehetőséget 1962-ben¹, míg a fotonkeltésen alapuló, termikus detektálásét csak 1974-ben² ismerték fel. Az elvektől a ténylegesen működő detektorokig hosszú volt az út, az első spektrumokat csak a 80-as évek elején regisztrálták, a 80-as évek közepétől viszont már olyan eredményeket értek el (100 eV alatt), amelyek feltétlenül figyelmet érdemelnek, és indokolhatják a jelen közlemény megjelentetését is. A kriogenikus detektorokkal kapcsolatos kutatás, fejlesztés óriási erővel folyik, a helyzet gyorsan változik. A jelen közlemény, az idézett munkák átfutási idejét is figyelembe véve, kb. az 1988. végi állapotot rögzíti.

SZUPRAVEZETŐ DETEKTOROK

A szupravezető állapot jelenleg kétféle módon látszik detektálás céljára alkalmazhatónak.

SZUPRAVEZETŐ-NORMÁL ÁTMENET ALKALMAZÁSA³⁻⁵

Ismeretes⁶, hogy az I. típusú szupravezetőknek elsőrendű fázisátmenetük van, amelyre jellemző a túlhűtött, illetve túlhevített metastabilis állapot. Jelen esetben a kétdimenziós (H,T) mágneses-hőmérsékleti térben van olyan túlhevített tartomány, amelyből kicsiny ΔT (vagy ΔH) változással a szupravezető normál állapotba kerül: megszűnik a Meissner-effektus, azaz az eddig kiszorított mágneses erővonalak behatolnak a szupravezetőbe, aminek következtében az azt körülvevő tekercsben a fluxusváltozás miatt feszültség indukálódik, s ez érzékenyen, célszerűen un. SQUID¹¹-del (szupravezető kvantum-interferometrikus eszközzel) megmérhető.

Ez az elvi lehetőség azonban csak különálló mikrogömbökön (pl. Sn esetén 2-100 μm mérettartományban) realizálható, nevezetesen, hogy valóban létrehozható legyen benne a túlfűtött metastabil állapot, a hőkapacitása pedig elég kicsiny legyen ahhoz, hogy az elnyelt sugárzás energiája által bekövetkező ΔT hőmérsékletváltozás előidézhesse a "billenést". Valójában egy detektor-szemcse egy két állapotú szupravezető monolitikus kaloriméternek (lásd ott)

tekinthető, és még nagyszámu szemcseegyüttes esetén is csak abban az esetben várható minimális energiafelbontás, ha egy sugárzáskvantum egyidejűleg több detektorszemcsét is képes "megszólaltatni". Ezzel szemben előnye, hogy szinte tetszőleges méretű és alakú detektort készíthetünk ilyen mikrogömbökből, osztott tekercsek alkalmazásával 100 μm -nél kisebb pozícióérzékenység érhető el, a kiolvasás pedig utólag, visszabillentéssel is elvégezhető.

A módszer másik változatában vékony, alig valamivel a T_c (szupravezetési kritikus hőmérséklet) alá hűtött, keskeny szupravezető filmben hoz létre a sugárzás normál állapotú tartományt, amely geometriai, termikus és elektromos feltételektől függően rövidebb szakaszon rövidebb ideig, vagy a film teljes hosszában hosszabb ideig, a film teljes keresztmetszetét normál állapotba bilenti, mérhető véges ellenállásváltozást idézve elő^{7,8}. A módszer hátránya - direkt detektálás esetén - a méretből adódóan a kicsiny hatásfok, ezért inkább közvetetten, ún. akusztikus fonondetektorban (lásd ott) alkalmazzák⁹. Előnye, hogy nagyon gyors, a jelek fel- és lefutása 10-100 ns között van.

KVÁZIRÉSZECSKÉK ALAGUTEFFEKTUSA^{3,4,10}

Ha egy fémet a T_c szupravezetési kritikus hőmérséklete alá hűtünk, akkor a vezetési elektronok ún. Cooper-párokat kezdenek alkotni, amelyek a szupravezető állapot sajátos elektromos és mágneses tulajdonságaiért felelősek. A hőmérséklet csökkentésével a Cooper-párok száma rohamosan nő, míg a párosítatlan kvázirészecskéké (vezetési elektronoké) ennek arányában csökken. A Cooper-párok kötési energiája nagyon kicsiny: $2\Delta(1-T/T_c)^{1/2}$, ahol a 2Δ ún. gap paraméter meV nagyságrendű, a kvázirészecskék keltéséhez ennél néhányszor nagyobb ϵ energiára van szükség.

A sugárzás által közvetlenül vagy sugárzás által keltett energikus fononok révén felszakított Cooper-párokból keletkezett, nem egyensúlyi kvázirészecskéket olyan körülmények között célszerű észlelni, ahol az egyensúlyi kvázirészecskék, valamint Cooper-párok hatása elnyomható: szupravezető-szigetelő-szupravezető (S-I-S) szendvicsszerkezetű alagutátmenetben¹¹. A szupravezető rétegek tipikus vastagsága néhány 100 nm, míg a szigetelő, ún. Josephson-gáté 1-2 nm, amelyen töltéshordozók csak alaguteffektussal juthatnak át. Szupravezető állapotban Cooper-párok zérus feszültségkülönbség esetén is képesek "át-tunnelezni", míg véges feszültség esetén diszkrét kvázirészecskék. Megfelelően megválasztott, az átmenettel párhuzamos mágneses térrel a Cooper-párok árama - makroszkopikus kvantuminterferencia révén - megszüntethető, míg a kvázirészecskéké elég alacsony ($T \lesssim 0,1 T_c$) hőmérséklet alkalmazásával - amelyen a kvázirészecskék száma termikus egyensúlyban elegendően kicsiny, és feltéve, hogy $U < 2\Delta$, amely még nem elegendő a Cooper-párok felszakításához - csökkenthető olyan kis értékűre, hogy az ne zavarja a detektált sugárzás által keltett (alagut) áramimpulzusok észlelését.

Ez a detektortípus, működési elvéből következően, jó energiafelbontó képességgel kellene, hogy bírjon. A gyakorlatban ennek legfőbb akadálya, hogy nehéz valóban kis szivárgási áramu, stabil átmeneteket készíteni, valamint az, hogy a sugárzás által keltett kvázirészecskék száma a viszonylag hosszú időt igénylő, sikeres tunnelezés előtt rekombináció és (vagy) diffundálás révén csökken. Ez a magyarázata annak, hogy Twerenbold¹² MnK α röntgensugárzás detektálásánál rendkívül aszimmetrikus csucsalakot kapott: a csucs bal oldalára kb. 110 eV, a jobb oldalára pedig kb. 65 eV Δ_{tot} felbontóképességet.

Javitott geometriában, kisebb kvázirészecske-veszteség esetén Zehnder¹³ csaknem szimmetrikus MnK α csucsra $\Delta_{\text{tot}} = 37$ eV-ot kapott.

FONONDETEKTOROK

KALORIMÉTEREK^{4, 14, 15}

A kalorimetria - eredeti formájában környezetétől jól elszigetelt térben képződött hőenergia mérése a hőmérsékletváltozás alapján, a rendszer fajhőjének ismeretében - már századunk elején is nagy jelentőségű eredményeket szolgáltatott a magfizikában. Curie és Laborde¹⁶ ezen a módon mutatta ki a radioaktivitás következtében felszabaduló energiát 1903-ban, míg 1927-ben Ellis és Wooster¹⁷ a β -bomlás energetikájára vonatkozóan szerzett olyan adatokat, amelyek később elősegítették a neutrínó posztulálását.

Ezeket a méréseket még szobahőmérsékleten végezték, de Simon¹⁸ már 1935-ben felvetette az alacsony hőmérsékletű nukleáris mikrok calorimetria lehetőségét, hiszen a Debye-törvény értelmében kristályos, diamágneses dielektrikum fajhője T^3 szerint változik a hőmérséklettel, így a módszer érzékenysége jelentősen növelhető. Egyedi részecskék detektálására azonban csak 1974-ben mert gondolni Niinikoski és Udo², a részletes elméleti tárgyalás pedig további 8-10 évet váratott magára¹⁹.

Egyedi részecskék detektálásához az M tömegű, T hőmérsékletű, így $C \sim MT^3$ hőkapacitású abszorbert "lazán", egy R termikus ellenálláson keresztül kell csatolni a hűtőhöz, amely a ΔE energiaabszorpció következtében előálló $\Delta T = \Delta E/C$ hőmérsékletugrást $\tau = RC$ időállandóval kisüti, visszaállítva az eredeti hőmérsékleti munkapontot a következő energiaadag méréséhez. A jel t_r felfutási idejét a primer kölcsönhatásban keletkező energetikus fononok bonyolult termalizációs folyamatának időállandója (első közelítésben a detektor mérete és a hang terjedési sebességének hányadosa) szabja meg. (Meggjegyezzük, hogy nagyon alacsony hőmérsékleten, éppen a fononok bonyolult termalizációja következtében - lásd a következő fejezetben - a kaloriméterek leírására csak közelítőleg alkalmas az olyan fogalom, mint fajhő, hőmérséklet!)

Az abszorber hőmérsékletváltozását mérhetjük vele jó hőcsatolásban lévő, kis hőkapacitású, különálló hőmérővel (kompozit kaloriméter), bizonyos esetek-

ben (pl. félvezetőknel) maga az abszorber láthatja el ezt a feladatot is (monolit kaloriméter).

Elvben bármilyen kis fajhőjű anyagot (dielektrikumot, fémet, szupravezetőt stb.) alkalmazhatunk abszorbensként, a Δ_{stat} elvi feloldáskorlát ettől csak csekély mértékben fog függni, a primer energia \rightarrow termalizálódott fononokká való átalakulási folyamatának a kissé eltérő részletei miatt¹⁴.

Mint a legtöbb energiadisziperziv detektornál, így itt is a (fonon-) begyűjtési Δ_{coll} járuléka legbizonytalanabb. Míg ugyanis a félvezető detektoroknál a primer sugárzás 2/3-ad részben hővé alakul, és csak 1/3-ad részben "hasznos jellé", elektron-lyuk párrá, itt éppen azt szeretnénk, ha a teljes energia minél rövidebb idő alatt hővé alakulna. Ez azonban, különösen dielektrikumban, nem teljesül olyan magától értetődően.

Ha az amplitudó- (hőmérséklet-) mérő rendszert zajmentesnek tételezzük fel, akkor az alsó zajkorlátot az abszorbensben a T hőmérsékletéhez tartozó, egyensúlyban lévő fononok számának statisztikus ingadozása szabja meg, amely (eltekintve a konkrét jelfeldolgozás zajszűrési hatásától) nagyságrendben^{15,19}

$$\Delta_{\text{noise}} \approx (kT^2C)^{\frac{1}{2}} \sim (T^5M)^{\frac{1}{2}}.$$

A mérő rendszer zaját azonban nem feltétlenül hanyagolhatjuk el, ha figyelembe vesszük, milyen érzékenységet követelünk a hőmérséklet mérésétől. Példaképpen, legyen abszorbensünk anyaga szilícium, térfogata 1 mm³, hőmérséklete 100 mK, ebből adódóan hőkapacitása 6·10⁻¹³ J/K. Ezekből a MnK_U vonalra hozzávetőleges becsléssel $\Delta_{\text{stat}} \approx 0,5$ eV, illetve $\Delta_{\text{noise}} \approx 2$ eV adódik. Ahhoz viszont, hogy ezt a feloldóképességet realizálni tudjuk, a hőmérsékletváltozást is legalább 1 eV-nak megfelelő kb. 0,3 μ K/! pontossággal kell tudnunk megmérni. Az alábbiakban a különböző elven működő hőmérőket tekintjük át.

FÉLVEZETŐ TERMISZTOROS HŐMÉRŐ

Mivel megfelelően szennyezett félvezetők (Si,Ge) ellenállása alacsony hőmérsékleten a hőmérsékletnek meredeken változó függvénye²⁰ ($R \sim T^{-\alpha}$, ahol szilíciumra 100 mK esetén $\alpha \geq 5$), így a fejlett félvezető mikrotechnológia adta előnyöket figyelembe véve kézenfekvőnek látszik ilyen kis méretű termisztorokat használni külön hőmérőként kompozit kaloriméterekhez, vagy például monolit változatban magában az abszorberben ionimplantációval kialakítva.

A termisztorot áramgenerátorral táplálva, a vele sorba kötött munkaellenálláson eső feszültség optimális esetben elérheti az 1500 mV/K-t, amit kombinálva a fenti becsléssel kapott $\sim 10^{-7}$ K/eV érzékenységgel, nem látszik lehetetlennek az elméletileg jóslt felbontóképesség elérése - legalábbis ilyen kis méretű abszorber esetén. Nagyobb méretű detektornál a hőmérséklet csökkentésével, elvben, hasonlóan jó felbontóképesség lenne várható, a gyakorlatban azonban egyrészt a fajhő nem mindig követi a T³-függést, másrészt a termisztorok érzékenysége csökken, illetve válnak elfogadhatatlanul lassúvá az elektron-fonon szétcsatolódás miatt.

A legjobb eredményt eddig Moseley és munkatársai²¹ érték el: $4 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3$ / / térfogatu HgCdTe abszorberből és $0,04 \text{ mm}^3$ térfogatu szilíciumtermisztorból álló, együttesen $5 \cdot 10^{-14} \text{ J/K}$ hőkapacitású kompozit kaloriméterrel 80 mK-en $\Delta_{\text{noise}} = 13 \text{ eV}$ -ot, illetve a MnK_{α_1} vonalra $\Delta_{\text{tot}} = 17,5 \text{ eV}$ -ot. Ugyanakkor hasonló hőkapacitású monolit szilícium-kaloriméterrel²² $\Delta_{\text{noise}} = 11 \text{ eV}$, míg $\Delta_{\text{tot}} = 35 \text{ eV}$. A jelentős különbség oka a Δ_{coll} begyűjtési járulékokban (12, illetve 33 eV) keresendő: a kis térfogatu, kis tiltott sáv szélességű (60 meV) HgCdTe-ben kisebb a valószínűsége annak, hogy sugárzás által ionizációval keletkezett elektron-lyuk párok fononná való rekombinációjuk helyett csapdába essenek, mint a szilícium-kaloriméter esetében.

Ennek ellenére szilárd meggyőződésük, hogy megfelelő tisztaságu Si-ből, megfelelő mikrotechnológiával készíthető $\Delta_{\text{tot}} \approx 1 \text{ eV}$ felbontóképességű, $500 \cdot 500 \cdot 25 \text{ } \mu\text{m}^3$ méretű monolit kaloriméter²³.

SZUPRAVEZETŐ "ÁTMENETIÉL" HŐMÉRŐ

I. típusu szupravezetők ellenállása a T_c átmeneti hőmérséklet közvetlen közelében rendkívül meredeken változik ($R \sim T^\alpha$, ahol $\alpha \gtrsim 1000$), így a kalorimétert az átmenet közepének ("élének") megfelelő hőmérsékleten működtetve nagyon érzékeny hőmérsékletmérés válna lehetővé. A félvezető termisztorokkal ellentétben itt elhanyagolható lenne a Johnson-zaj, működési sebessége pedig több nagyságrenddel gyorsabb.

A jelentős erőfeszítések^{24,25} ellenére az eredmények nem érik el a termisztorokkal kapottakat, aminek egyik fő oka a megfelelő erősítőhöz való illesztés nehézségeiben rejlik.

DIELEKTROMOS HŐMÉRŐ²⁶

Részletes zajanalizissal kimutatható, hogy a termisztoroknak a működési elvükből elkerülhetetlenül jelentkező Johnson-zaja következtében az optimális jelformálási idő kellemetlenül hosszú (0,5 - 1 ms) lesz, ami jelentősen korlátozza az időegység alatt feldolgozható események számát.

Elkerülhető ez a kényelmetlenség, ha hőmérőként erősen hőmérsékletfüggő ϵ_d dielektromos állandóval rendelkező ferroelektromos anyagból, mint dielektrikumból készített, C_d kapacitású kondenzátort használunk, melynek $\Delta C_d = (C_d / \epsilon_d) (\partial \epsilon_d / \partial T) \Delta T$ kapacitásváltozását célszerűen egyenáramu csatolásban mérjük, hogy a dielektromos veszteség miatt váltóáramu csatolásban előálló önfűtés (termisztorok esetében is) káros hatását is elkerüljük.

Az igazán nagy ötlet az, hogy ezt a hőmérőt helyezzük el egy Si(Li) detektor helyébe, egy hűtött, töltésérzékeny előerősítő bemenő fokozatában. Így U_d "detektorfeszültséget" alkalmazva, az előerősítő bemenetére $\Delta Q = U_d \Delta C_d$ töltésjel fog jutni, amelyet a röntgenspektrometriában szokásos módon dolgozhatunk

fel, annál is inkább, mivel a zajanalízis azt mutatja, hogy az optimális felbontóképesség az ott megszokott 20 μ s körüli időállandóknál érhető el. Ennél is fontosabb azonban, hogy bár az alapérzékenységet jellemző $(1/\epsilon_d)(\partial\epsilon_d/\partial T)$ mennyiség egy tipikus ferroelektromos anyagban, a SrTiO_3 -ban, csak kb. $0,8 \text{ K}^{-1}$ 100 mK-en, termisztoroknál a megfelelő $(1/R)(\partial R/\partial T)$ érték kb. 50, elegendően nagy (néhány 100-1000 V) U_d feszültség alkalmazásával, a tényleges érzékenység U_d -szeresésére való növekedése révén, ilyen módon pontosabb hőmérsékletmérést lehet elérni!

A fenti elv alapján készített zafir/ SrTiO_3 kompozit kaloriméter működik, spektrumot azonban egyelőre még nem regisztráltak.

SPINHŐMÉRŐ²⁷

Egy nem mágneses mátrixba ágyazott, nem kölcsönható, két állapotú spinrendszer fajhője H mágneses térben a $C_2 \sim T^3$ Debye-törvénnyel leírható rácsfajhő, valamint a spinrendszer $\Delta E_H = 2 \mu_H$ energiafelhasadásából következő $C_S \sim H^2/T^2$ Schottky-törvénynek "engedelmeskedő" spinfajhő összege: $C_{\text{tot}} = C_2 + C_S$. A rendszerrel ΔE_{tot} energiát közölve $\Delta E_S = (C_S/C_{\text{tot}})\Delta E_{\text{tot}}$ rész fog jutni a spinekre, átbillentve $\Delta N = \Delta E_S/E_H$ számú spint, amely $\Delta M = 2 \mu_N \Delta N = \Delta E_S/H$ mágnesesmomentum-változást idéz elő. Ez a változás érzékeny érzékelővel, pl. un. DC-SQUID¹¹-del meghatározható. Kimutatható, hogy a hőmérők érzékenységét jellemző $\Delta M/\Delta E_{\text{tot}}$ mennyiség akkor lesz maximális, ha a H mágneses tér erősségét az adott T-hez úgy választjuk meg, hogy $C_2 = C_S$ legyen.

Bühler és Umlauf²⁷ kísérletében zafir abszorberből és 0,5% Er^{3+} paramágneses szennyezett Y/Er/Al gránáthőmérőből álló kompozit bolométert használt 450 mK-en, 30 mT mágneses térben. Spektrumot nem regisztráltak, ellenben közvetetten arra következtettek, hogy a 7,5 g össztömegű detektor fajlagos zajszintje $\Delta_{\text{noise}}/M \approx 9 \text{ keV/g}$, így több mint két nagyságrenddel jobb a Moseley és munkatársai által elért $13 \text{ eV}/10^{-5} \text{ g} = 1,3 \text{ MeV/g}$ értéknél.

BALLISZTIKUS VAGY AKUSZTIKUS FONONDETEKTOROK^{9, 28, 29}

A kaloriméterekkel kapcsolatosan az volt a feltevésünk, hogy velük a termalizálódott fononokat mérjük. Valójában a helyzet sokkal bonyolultabb: a detektálható sugárzás hatására direkt vagy másodlagos uton, az energetikus töltéshordozók által keltett, nagy frekvenciás, optikai és akusztikus fononok közül az előbbiek nagyon gyorsan ($\lesssim \text{ns}$) lecsengenek, míg az utóbbiak termalizációjá, miután ns nagyságrendű idő alatt kb. 10 K-re lehültek, jelentősen lelassul, mivel élettartamuk, a pillanatnyi E energiájuk függvényében, spontán bomlásra $\tau \sim E^{-5}$, míg szennyezőkön vagy izotóp atomokon való szórásra $\tau^* \sim E^{-4}$.

Ha a sugárzást $\lesssim 100 \text{ mK}$ hőmérsékletű, nagyon tökéletes, tiszta egykristályban abszorbeáltatjuk, akkor, mivel kevés a kristályban a termikus egyen-

sulyhoz tartozó fononok száma, a rajtuk lezajló fonon-fononszóródás is elhanyagolható: a kb. 10 K hőmérsékletű (kb. 1 meV energiájú) fononok kvázi-szabaddon, ún. "ballisztikusan" fognak mozogni, a kristályrács által meghatározott anizotróp módon, bizonyos kitüntetett irányokba fókuszálódva, a kristály határoló lapjai felé, majd onnan reflektálódni. Így a kristály felületét nagyszámu, érzékeny fononszenzorral lefedve nemcsak a detektált sugárzás energiája határozható meg, hanem a kölcsönhatás pontos helye is.

Ezen elv alapján lehetővé válna - ellentétben az egyelőre csak mikrométerekben reálisan elképzelhető kaloriméterekkel - egészen nagy tömegű ún. ballisztikus vagy akusztikus fonondetektorok készítése. Cabrera és munkatársai²⁸ például 1 kg tömegű (7,5 cm élhosszuságú) szilícium egykristály kockát modelleztek (amelyben az akusztikus fononok terjedési sebessége kb. 5000 m/s) Monte Carlo-számítással, és egyaránt kb. 1 keV-es küszöböt, illetve feloldóképességet becsültek.

Ténylegesen működő ballisztikus detektor létrehozása azonban nehéz feladatnak tűnik, nemcsak azért, mert a kísérleti eredmények²⁹ eltérést mutatnak az elmélettől, hanem mert többek között az sem világos, hogyan lehet kis veszteséggel összegyűjteni a ballisztikus fononokat, hiszen ezt a detektortípust, a kaloriméterekkel ellentétben, kifejezetten jó hőcsatolásba kell hozni a hűtővel!

A ballisztikus fononok detektálása egyébként történhetne külön kaloriméterekkel, amelyekben a velük kölcsönhatásba jutó ballisztikus fononok egy része termalizálódna, vagy még célszerűbben szupravezető detektorokkal, mivel azok a már termalizálódott ($E < 2 \Delta$) fononokra nem érzékenyek, csak a ballisztikusokra.

Szupravezető "átmenetiél hőmérőt" alkalmazva Neuhauser⁹ egyelőre még csak kb. 100 keV érzékenységi küszöböt ért el.

FESZÜLTÉGSTIMULÁLT IONIZÁCIÓS KALORIMÉTER³⁰

Az alapötlet a következő: alkalmazzunk a sugárzás detektálására a kaloriméter abszorbenseként félvezető ionizációs detektort, amelyben a tiltott sáv szélessége E_g , egy elektronlyuk pár keltéséhez szükséges energia ϵ , a detektor elektródjai közötti feszültségkülönbség U_d . Az elnyelt E energiájú sugárzás egyrészt átlagosan $N = E/\epsilon$ számú töltéshordozó párt hoz létre, másrészt $E' = E(\epsilon - E_g)/\epsilon$ energiahányad közvetlenül hővé alakul. A keltett töltéshordozók az elektromos térben, az U_d feszültség hatására, eU_d energiára tesznek szert, vagyis a töltésbegyűjtési folyamat végén a detektorban generált összes hő:

$$E_{\text{tot}} = E \frac{\epsilon - E_g}{\epsilon} + \frac{E}{\epsilon} eU_d. \quad (2)$$

Elegendően nagy U_d feszültséget alkalmazva az első tag, a "primer hő", elhanyagolhatóvá válik, azaz $E_{tot} \approx EeU_d/\epsilon$. Germániumdetektort ($\epsilon \approx 3$ eV) és $U_d = 3000$ V feszültséget feltételezve, amely 3000 eV-ra gyorsítja a töltéshordozókat, egy "normál" kaloriméterhez képest az eU_d/ϵ "hőerősítés" 1000-szeres lesz, azaz, mintha az E energiát 1000-szer kisebb tömegű kaloriméter abszorbeálta volna.

Ez azt jelenti, hogy - a kaloriméterekre érvényes $\Delta_{noise} \sim \sqrt{M}$ arányosság miatt - egy normál kaloriméternél $\sqrt{1000} \approx 32$ -ször kisebb zajküszöb, vagy 'normál' kaloriméterrel azonos zajküszöb 10^6 -szor nagyobb tömeggel is elérhető!

Ami viszont a Δ_{tot} felbontóképességet illeti, azt, a Δ_{noise} tagtól eltekintve, az adott félvezető anyagra jellemző Δ_{stat} , valamint az adott detektorról, az adott alacsony hőmérsékleten elérhető Δ_{coll} érték fogja megszabni ugyanugy, mint normál félvezető detektor esetében.

Tehát az egyetlen dolog, amit ilyen kombinált detektorral nyerhetünk a félvezető detektorokhoz képest, az a rendkívül alacsony zajküszöb. Például 1 cm³-es germániumdetektorral 100 mK hőmérsékleten és 3000 V detektorfeszültség esetén $\Delta_{noise} \approx 1$ eV, azaz már egyetlen elektron-lyuk pár is detektálható!

Luke³⁰ 1 cm³-es HP-Ge detektort használt 1,8 K-en, 600-1000 V közötti feszültségtartományban, α -részecskék detektálására. A kalorimetrikus spektrumok összhangban voltak a megfelelő, párhuzamosan regisztrált ionizációs spektrumokkal és a számolt "hőerősítéssel", a várt $\Delta_{noise} \approx 500$ eV helyett azonban csak 50 keV zajszintet sikerült elérnie.

ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK⁴

Az ismertetett detektorok közös tulajdonsága, hogy egész térfogatukban érzékenyek, a detektorok anyagára lényegesen kevesebb a megszorítás, mint az eddig ismert detektortípusokra, sőt kaloriméter céljára tetszőleges anyag használható. A jó felbontóképességnek egyelőre előfeltétele a kis (szubmilliméteres) méret, optimista jóslatok szerint, a skálázási törvények alapján azonban akár kilogrammos tömegekkel is elérhető lehet eV-os felbontóképesség és detektálási küszöb. Pesszimistább vélemények szerint nem biztos az, hogy az ehhez szükséges millikelvines hőmérséklettartományban a jelzett méretű, reális anyagok követik is a skálatörvényeket, valamint, hogy a felmerülő technikai követelmények a jelenlegi technológiai szinten kielégíthetők.

Az ismertetett detektorok többsége érzékeny nem ionizáló részecskékre is, sőt egyedülálló módon (a detektor anyagában) visszalökött magok detektálására is alkalmasak. Ezek a tulajdonságok különösen fontosak neutrínók, hipotetikus részecskék (mágneses monopólusok, WIMP-ek stb.) kutatásánál. Nem véletlen, hogy a kriogenikus detektorok fejlesztését elsősorban az aktuális asztro- és részecskefizikai kutatási irányok ösztönzik mind a mai napig, bár a lehetősé-

gek megcsillanásával egyre több tudományág mutat érdeklődést az egzotikus detektorok iránt.

A magfizikában nagy jelentőségük lenne a nagy felbontóképességű γ - és neutronspektroszkópiában, vagy a kettős β -bomlás vizsgálatában.

A pozícióérzékenység szempontjából is perspektivikus ballisztikus fonon-detektorok kiváló alkalmazási területe lehetne, többek között, a röntgen-diffraktometria, vagy ultrahideg neutronokkal végzett szilárdtestfizikai kutatások, vagy a biológia és gyógyászat, az iparról nem is beszélve, ahol máris alkalmazzák - egyelőre kísérleti jelleggel - a tulhevitett szupravezető szemcséket.

Ami a röntgenspektrometriát illeti, nem elképzelhetetlen, hogy ezek az ultrajó felbontóképességű, kriogenikus detektorok forradalmi változásokat fognak előidézni. Ugyanis a 17 eV felbontóképességű kaloriméter²¹ vagy a 37 eV-es szupravezető detektor¹³ nemcsak felbontás szempontjából vetekszik a kristálydiffrakciós spektrométerrel, hanem - kis méretük ellenére - geometriai hatásfok szempontjából is (amannál ugyanis a szükséges erős kollimálás jelent több nagyságrendnyi térszögcsökkenést), ugyanakkor szimultán elemanalízist tesznek lehetővé a kb. 30 eV - 10 keV energiatartományban.

Természetesen vannak még megoldatlan feladatok, mint például a hűtőberendezés miniatürizálása, nagy transzparenciájú, hőárnyékolást szolgáló hűtött ablak kidolgozása a detektor és a külső tér közé, nagyobb felületű és vastagságú detektorok készítése reprodukálható módon, nagyobb számlálási sebesség érdekében gyorsabb detektorok kidolgozása stb. Elképzelhető, hogy mindezek rövid időn belül megvalósulnak, a tisztán látás kedvéért meg kell azonban jegyezni, hogy a jelenlegi csúcseredmények hihetetlen erőfeszítés árán jöttek létre, különleges szellemi és műszaki háttér mellett, és semmiképpen nem tekinthetők rutinjellegűeknek. Az energiadisziperzív detektálás területén azonban a kriogenikus detektorok megjelenésével mindenképpen nagy változások várhatók.

IRODALOM

1. N.K. Sherman, Can. J. Phys. 40 (1962) 372
2. T.O. Ninikoski, F. Udo, CERN Preprint, NP Report 74-6 (1974)
3. A. Barone, S. De Stefano, K.E. Gray, Nucl. Instr. Meth. A235 (1985) 254
4. B. Sadoulet, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-35, No.1. (1988) 47
5. A. de Bellefon, D. Broskiewicz, R. Bruere-Dawson, P. Espigat, B. Mettout, N. Perrin, D. Limagne, L.C. Yuan, G. Waysand, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-35, No.1. (1988) 73
6. M. Tinkham, Introduction to Superconductivity, McGraw Hill, New York, 1975
7. D.E. Spiel, R.W. Boom, E.C. Crittenden Jr., Appl. Phys. Lett. 7 (1965) 292
8. E.C. Crittenden Jr., D.E. Spill, J. Appl. Phys. 42 (1971) 3182
9. B. Neuhauser, D. Cabrera, C.J. Martoff, B.A. Young, A.T. Lee, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-35, No.1. (1988) 65

10. D. Twerenbold, Nucl. Instr. Meth. A273 (1988) 575
11. A. Barone, G. Paterno, Physics and Applications of the Josephson Effect, Wiley, New York, 1982
12. D. Twerenbold, Europhys. Lett. 1 (1986) 209
13. A. Zehnder, Cryogenic Detectors, SIN PR-87-08 (1987)
14. H.H. Andersen, Nucl. Instr. Meth. B15 (1986) 722
15. S.H. Moseley, J.C. Mather, D. McCammon, J. Appl. Phys. 56 (1984) 1257
16. P. Curie, A. Laborde, Comp. Rend. Acad. Sci. 136 (1903) 673
17. C.D. Ellis, A. Wooster, Proc. Roy. Soc. A117 (1927) 109
18. S. Simon, Nature 135 (1935) 763
19. J.C. Mather, Appl. Opt. 21 (1982) 1125; 23 (1984) 584
20. P.M. Downey, Ph. D. Thesis, MIT, 1980
21. S.H. Moseley, R. Kelley, R.J. Schoelkopf, A.E. Szymkowiak, D. McCammon, Z. Zhang, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-35, No.1. (1988) 59
22. D. McCammon, M. Juda, J. Zhang, R. Kelley, S.H. Moseley, A.E. Szymkowiak, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-33, No.1. (1986) 236
23. D. McCammon, M. Juda, D.D. Reeder, R.L. Kelley, S.H. Moseley, A.E. Szymkowiak, Neutrino Mass and Low Energy Weak Interactions, Telemark 1984, eds. V. Barger, D. Cleine, World Scientific, 1985, 329
24. B. Cabrera, L.M. Krauss, F. Wilczek, Phys. Rev. Lett. 55 (1985) 25
25. H. Kraus, Th. Peterreins, F. Pröbst, F. von Feilitzsch, R.L. Mössbauer, V. Zacek, E. Umlauf, Europhys. Lett. 1 (1986) 161
26. E.H. Silver, S.E. Labov, F. Goulding, N. Madden, D. Landis, J. Beeman, Nucl. Instr. Meth. A277 (1989) 657
27. M. Bühler, E. Umlauf, Europhys. Lett. 5 (1988) 297
28. B. Cabrera, J. Martoff, B. Neuhauser, Nucl. Instr. Meth. A275 (1989) 97
29. F. Pröbst, H. Kraus, Th. Peterreins, F. von Feilitzsch, Nucl. Instr. Meth. A280 (1989) 251
30. P.N. Luke, J. Appl. Phys. 64 (1988) 6858

*

Áttekintést adunk új, rendkívül alacsony hőmérsékleten működő, ún. kriogenikus detektorok működési elveiről, a fejlesztésükkel kapcsolatos eredményekről és lehetséges alkalmazásairól. Az áttekintés kiterjed a szupravezető detektorokra, a kaloriméterekre, a ballisztikus fonon-, valamint a kalorimetrikus ionizációs detektorokra.

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ФОТОНОВ И ЧАСТИЦ: КРИОГЕННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
Калинка, Г.

Рассматриваются принципы работы, достижения разработок и возможности применения т.н. криогенных детекторов, работающих при очень низких температурах. Обзор включает в себе сверхпроводящие детекторы, calorimetry, ballistic fonon and ionization-calorimetric detectors.

NEW PRINCIPLES AND METHODS OF PHOTON AND PARTICLE DETECTION: CRYOGENIC
DETECTORS

Kalinka, G.

A review of theory, current status of development and potential applications of so-called cryogenic detectors, operating at very low temperatures, including superconductive detectors, calorimeters, ballistic phonon and calorimetric ionization detectors is given.

KIS RENDSZÁMU FŐ KOMPONENSEKET TARTALMAZÓ MINTÁK IZOTÓPGERJESZTÉSES RÖNTGENFLUORESZCENCIÁS VIZSGÁLATA

Méray László

Veszprémi Vegyipari Egyetem, Radiokémiai és Fizikai Intézet, Veszprém; 8200

BEVEZETÉS

Kis rendszámu főkomponenseket tartalmazó minták röntgenfluoreszcenciás spektrumának kiértékelését megnehezíti a mintában nagy valószínűséggel és így nagy számban lejátszódó Compton-szórás.

A következő nehézségekkel kell számolnunk.

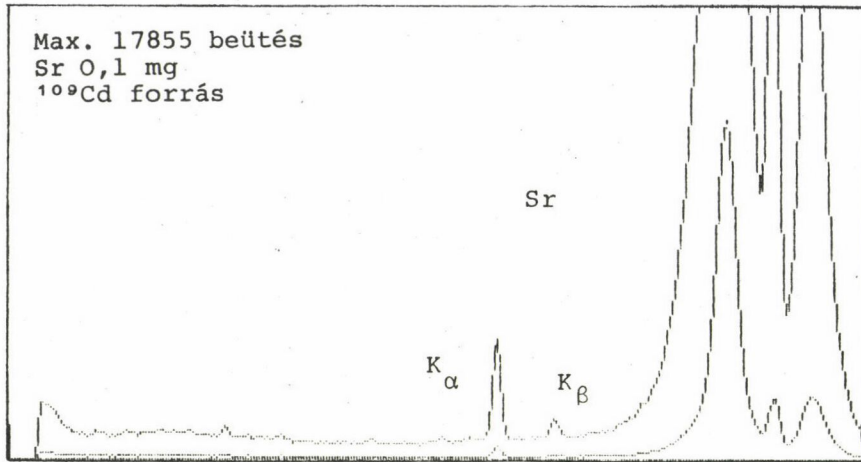
1. A mintából a detektorba szóródó fotonok a mérőrendszer (elsősorban a detektor) nagy terhelésével járnak, a holtidő szerepe nem hanyagolható el.
2. A mintában többszörös szórás is nagy valószínűséggel játszódik le, így a spektrumban az egyszeres szórásokkal magyarázható Compton-csúcson kívül egy nagy, folytonos háttér is megjelenik.
3. Különösen kis energiáknál a karakterisztikus csúcsok alakja is torzul, mivel a karakterisztikus fotonok is szóródhatnak detektálás előtt.
4. A nagyszámu szórt foton is hozzájárul az ionizációhoz, ezzel megnövelve a karakterisztikus intenzitásokat.

E hatások korrekcióba vétele céljából kísérleti vizsgálatokat és elméleti, szimulációs számításokat végeztünk.

KISÉRLETI VIZSGÁLATOK

A spektrumokat kétféle mérőrendszerrel vettük fel: a 2-25 keV energiatarományban Canberra 7300 típusu Si(Li) detektort, Canberra 1713 spektroszkópiai erősítőt, Canberra 1764 pile-up rejectort és ICA 70 típusu, KFKI gyártmányu analizátort használtunk. A 25 keV feletti energiájú spektrumrészleteket Ortec gyártmányu Ge(Li) detektorral, Ortec 120 előerősítővel, Ortec 472 spektroszkópiai erősítővel és ICA 70 analizátorral mértük. Az analizátor által összegyűjtött spektrumot C-64 számítógép olvasta ki, és dolgozta fel.

A spektrum kiértékelésénél a detektor holtidejét is figyelembe vettük: mérésére elektronikus áramkör készült. Az 1. és 2. ábrán két példát mutatunk be.

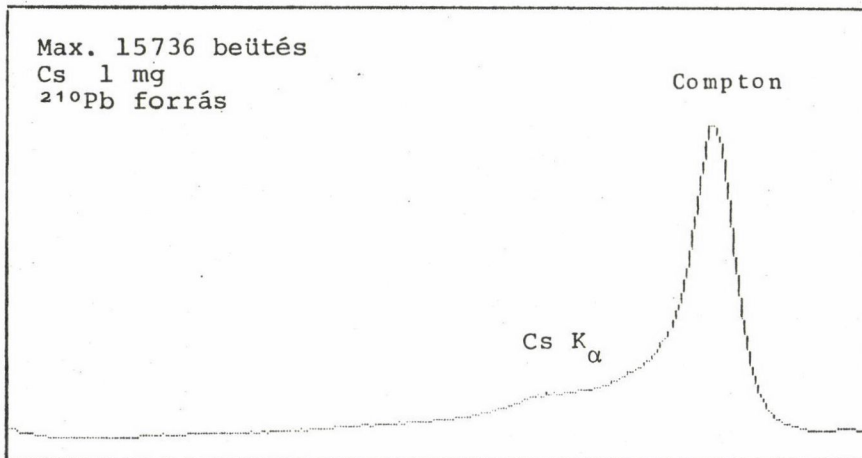


1. ábra

Stronciumtartalmu grafitminta spektruma

Спектр пробы графита, содержащего стронций

Spectrum of strontium containing graphite sample



4. ábra

Céziumentartalmu grafitminta spektruma

Спектр пробы графита, содержащего цезий

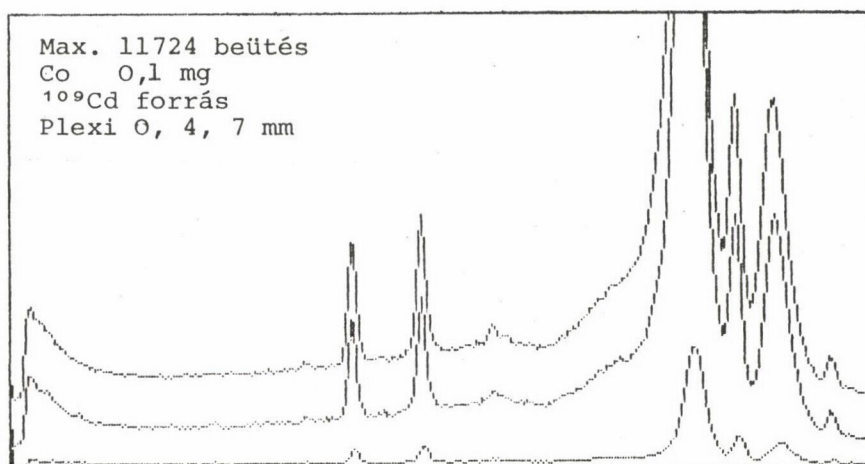
Spectrum of a caesium containing graphite sample

Különösen a Cs K_{α} vonalára nézve kis felbontású (1,7 keV) Ge(Li) detektorral kapott spektrumában szembeűnő a Compton-csucs átlagolása a karakterisztikus csucsokkal. A háttérét itt a szokásos módszerekkel - egyenes, illetve polimer illesztésével megfelelő pontossággal már nem lehet levonni. A szétválasztást iterációval végeztük; erről egy előző cikkben számoltunk be².

ELMÉLETI VIZSGÁLATOK

A mintában lejátszódó sokszoros szórás kísérleti uton közvetlenül nem vizsgálható. A bevezetésben leírt 4. hatás a vizsgált elemet a szóró közeg felületén tartalmazó mintáknál kísérletileg mérhető, de a 2. hatás miatt a mérés hibája nagy. A 3. hatás mérését a detektor véges felbontása teszi pontatlanná. A spektrumok dekomponálásához a szórt fotonok energiaeloszlását kell ismernünk. Ezek a problémák Monte Carlo-szimulációval megoldhatók.

Az általunk alkalmazott szimulációs program³ nemcsak intenzitást, hanem teljes spektrumot is szolgáltatott; ilyen, szimulált spektrumot mutatunk be például a 3. ábrán.



3. ábra

Szimulált spektrum

Симулированный спектр

Simulated spectrum

A szimulációt akkor fogadtuk el, ha a szimulált és a detektorválasz-függvénnyel konvolvált spektrum a mért spektrummal megegyezett.

A szimuláció során a mintát rétegekre osztottuk, és külön gyűjtöttük azokat a spektrumokat, melyek kialakulásánál csak bizonyos mélységig eljutó fotonok játszottak szerepet. Így lehetőség nyílt különböző geometriákhoz tartozó spektrumok egyidejű szimulálására

EREDMÉNYEK

A bevezetőben leírt 4. hatás homogén eloszlású mintánál kísérletileg nem tanulmányozható. Az intenzitásnövekedés mérhető viszont akkor, ha a vizsgált elem a szóró közeg felületén helyezkedik el. Számos ilyen mérést elvégeztünk, modellelemként Ca, Co, Sr, Cd és Cs felületi bevonatot alkalmazva. A szóró közeg grafit, illetve plexi volt, különféle vastagságban helyezve a felületi réteg mögé. Az 1. táblázatban a stronciumra kapott eredményeket mutatjuk be.

1. táblázat

Grafit, illetve plexi szóró közegre felvitt stronciumbevonat intenzitást (a K_{α} + K_{β} csúcsterületét) növelő hatása

Повышение интенсивности (поверхности пиков K_{α} + K_{β}) покрытием стронция, нанесенного на среду рассеяния из Графита и Плекси

Increase of intensity (area of K_{α} + K_{β} peaks) by a strontium coating on graphite and plexi scattering medium

Grafit vastagság	Sr tömeg	10 μ g	100 μ g	1 mg	
mm	Mérési idő	1000 s	1000 s	1000 s	
0		0,641 \pm 0,052	6,27 \pm 0,12	62,12 \pm 0,45	
2		0,697 \pm 0,038	6,76 \pm 0,19	65,31 \pm 0,61	
4		0,684 \pm 0,045	6,80 \pm 0,15	66,53 \pm 0,51	
12		0,712 \pm 0,059	6,93 \pm 0,18	70,49 \pm 0,68	
Plexi vastagság	Sr tömeg	1 μ g	10 μ g	100 μ g	1 mg
mm	Mérési idő	18000 s	1000 s	1000 s	1000 s
0		0,071 \pm 0,02	0,641 \pm 0,052	6,27 \pm 0,12	62,12 \pm 0,45
2		-	0,640 \pm 0,047	6,29 \pm 0,16	64,11 \pm 0,55
4		-	0,657 \pm 0,061	6,40 \pm 0,16	65,09 \pm 0,56
5		-	0,690 \pm 0,050	6,63 \pm 0,18	65,57 \pm 0,84
12		-	0,714 \pm 0,072	6,83 \pm 0,15	68,84 \pm 0,81

2. táblázat

Szimulált csúcsterületek

Поверхность симулированных пиков

Simulated peak areas

Karakterisztikus intenzitás, K_{α} + β				
Összes		Szórásból származó		
Sr	Cd	Sr	Cd	mm
322	427	32	46	1
171	353	30	81	2
138	267	40	78	3
91	190	35	62	4
79	165	40	71	5
69	152	35	76	6
52	102	20	52	7
56	98	30	52	3
38	78	20	45	9
28	62	19	42	10

A szórt fotonok intenzitásnövelő hatását a Monte Carlo szimulációval jóval pontosabban meghatározhatjuk. A 2. táblázatban külön láthatjuk azoknak a karakterisztikus fotonoknak a számát, melyek grafitmintában homogén eloszlásban jelen lévő stroncium esetén a szórást követő ionizációból származnak. Látható, hogy a vastagság növekedésével a szórást intenzitásnövelő szerepe egyre jelentősebb.

A 3. táblázatban szimulált, a kalcium K_{α} és K_{β} csúcst tartalmazó spektrumrészletet mutatunk be. Jól látszik, hogy a karakterisztikus csúcst egy része a kisebb energiákhoz tartozó csatornába kerül. Ez azzal magyarázható, hogy az ionizációt követően létrejövő fotonok közül néhány egyszeres Compton-szórást követően kerül a detektorba.

3. táblázat

Szimulált spektrumrészlet

Часть симулированного спектра

Part of a simulated spectrum

Energia keV	Detektált spektrum										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	mm
0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3,5	144	10	1	3	2	1	2	0	1	0	
3,75	20	4	0	0	0	0	0	0	0	1	
4	26	3	1	0	0	0	1	0	0	0	
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6,25	1	3	4	0	0	0	0	0	0	0	
6,5	20	44	34	18	11	5	7	2	2	0	
6,75	368	226	117	78	56	23	20	9	7	5	
7	2	2	4	5	1	2	1	0	0	0	
7,25	13	23	21	9	8	7	6	4	1	2	
7,5	123	71	37	33	13	16	6	10	2	2	
7,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

A szimulált spektrumok felhasználhatók a dekomponálásnál is, hiszen ott mind a Compton-csucs, mind a karakterisztikus csucsek pontos alakját ismernünk kell.

Az intenzitásnövekedés ismerete a mennyiségi kiértékelés pontosságát növelheti.

IRODALOM

1. J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters, 108 (1987) 357
2. J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters, 119 (1987) 397
3. J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters, 126 (1988) 323
4. Acta Phys. Hung. 63 (1988) 171

Monte Carlo szimulációval az alábbi problémákat oldottuk meg: 1. a nagyon intenzív Compton-szórás miatt a detektor holtidejét nem lehet elhanyagolni; 2. a csúcsok nagy háttérre szuperponálódnak, néha igen közel a Compton-csúcshoz; 3. a karakterisztikus csúcsok alakját a rugalmatlan szórás befolyásolja; 4. a karakterisztikus vonalak intenzitását a szórt fotonok növelik.

АНАЛИЗА ПРОБ, СОДЕРЖАЩИХ ГЛАВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ НИЗКОГО АТОМНОГО НОМЕРА С ПОМОЩЬЮ ВОЗБУЖДЕННОЙ ИЗОТОПОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНЦИИ
Мераи, Л.

Из-за очень интенсивного комптоновского рассеяния нельзя пренебрегать мертвым временем детектора. Пики накладываются на высокий фон, иногда очень близко к комптоновскому пику. Неупругое рассеяние фотонов влияет на форму характеристических пиков и интенсивность характеристических линий повышается рассеянными фотонами. Для решения вышеуказанных проблем симуляция Монте Карло была применена.

ANALYSIS OF SAMPLES WITH LIGHT MAJOR COMPONENTS USING ISOTOPE INDUCED EDXRF
Méray, L.

Owing to a very intensive Compton scattering the deadtime for the detector cannot be neglected. The peaks are superimposed on a high background, some times very near to the Compton-peak. The shapes of the characteristic peaks are affected by inelastic scatterings. The characteristic lines are enhanced by scattered photon. To solve these problems Monte Carlo simulation was applied.

RÖNTGENCSÖVES GERJESZTÉS ED RÖNTGENSPEKTROMÉTEREKBEN. EREDMÉNYEK ÉS LEHETŐSÉGEK

Kis-Varga Miklós

MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen, Pf. 51, 4001

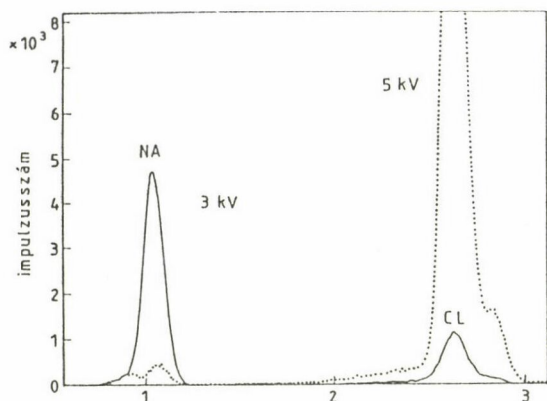
BEVEZETÉS

Az energiadiszperzív röntgenspektrométerek a 70-es években terjedtek el analitikai célokra, és ma már néhány ezerre tehető az e célt szolgáló készülékek száma - nem tekintve a scanning elektronmikroszkópokra szerelt spektrométereket. Kezdetben túlnyomó többségében radioizotópokat használtak gerjesztésre, főleg egyszerűségük és viszonylag alacsony áruk miatt. Sajnos kevés alkalmas izotópot bocsátott rendelkezésünkre a természet, s időközben az árak és az analitikai igények is nőttek. Így aztán már korán elkezdték alkalmazni ED készülékekben a hullámhosszdiszperzív, illetve diffrakciós célra kifejlesztett, nagy teljesítményű röntgensöveket is.

Jelentős fejlődést figyelhetünk meg a kis (100 W-nál kisebb) teljesítményű röntgensövek gyártási technológiájában. A fejlődést motiváló analitikai igények a következők: a kis rendszámú elemek érzékenyebb analízise, igen kis anyagmennyiség detektálása, kis méretű minták vizsgálata, illetve a felület letapogatása jó térbeli felbontással, gyors analízis, valamint a kis méretű, esetleg hordozható készülék iránti igény. Mindezek eredményeként a fejlődés irányai: vékony kilépő ablak, kis csőfeszültség nagy csőfeszültség és anódáram; miniatürizálás; háttér-csökkentő gerjesztési elrendezések: pulzált gerjesztés, polarizált nyaláb, totálreflexió; mikronyalábok előállítása.

KIS RENDSZÁMÚ ELEMOK GERJESZTÉSE

A kis rendszámú elemek gerjesztése igen nehéz, mivel fluoreszcenciahozamuk kicsi, másrészt nehéz előállítani abszorpciós élükhöz közel eső energiájú röntgensugárzást. A kis energiájú gerjesztő röntgensugárzást két okból is nehéz előállítani: egyrészt a kilépő berilliumablak erősen elnyeli a kis energiájú spektrumot, másrészt a röntgensöveknek e tartományban optimális 5 keV alatti működtetése nehézségekbe ütközik. Márpedig pl. a nátrium és magnézium analízise szempontjából a 3 keV-vel végzett üzemeltetés előnyösebb, mint az 5 keV-es csőfeszültség. A mintákban ugyanis rendszerint más elemek is találhatóak 2 és 5 keV között, amelyeket az 5 keV-es cső igen erősen gerjeszt. Másrészt 5 keV-es gerjesztés esetén lényegesen erősebb a szórás, ami növeli a spektrum háttérét, továbbá jelentős többletterhelést jelent a jelfeldolgozó elektronika számára. Példaként¹ bemutatjuk a NaCl 3 és 5 keV-es csővel gerjesztett spektrumát



1. ábra

A NaCl. spektruma 3 és 5 kV-os csővel gerjesztve¹

Спектры NaCl возбужденные трубками на 3 и 5 кВ¹

The X-ray spectra of NaCl excited by 3 and 5 kV tubes, respectively¹

és kiég. Az új konstrukció korlátozza a fűtőáramot, és lehetővé tesz 3 keV-en folyó működtetést is. Ennek az az ára, hogy a megengedett maximális anódáram értéke 3,3 mA-ról 1,3-1,6 mA-ra csökken.

A kis rendszámú elemek röntgenanalízisében természetesen nemcsak a gerjesztéssel kapcsolatos problémákat kell megoldani. Igen fontos kérdés a kriosztát belépő ablakának, valamint a detektor holtrétegének vastagsága, továbbá a detektor válaszfüggvényének az alakja, amelynek ismerete a számítógépes kvantitatív kiértékeléshez elengedhetetlen, ugyanakkor fontos információkat hordoz a félvezető detektorban lejátszódó folyamatokról. Nem egyszerűek az elektronikus jelfeldolgozókkal szembeni követelmények sem a kis energiájú tartományban. Ezen kérdések alaposabb tárgyalása azonban nem tárgya jelen áttekintésnek.

NAGY INTENZITÁSÚ RÖNTGENCSÖVEK

Sok röntgenanalitikai probléma megoldható néhány watt teljesítményű röntgencsővel, amikor is az anódáram nem haladja meg a néhány száz μA -t. A kis tömegű, illetve méretű minták analíziséhez, a primer nyaláb erős szűréséhez (háttercsökkentés, monokromatizálás) vagy a szekunder targetes gerjesztési megoldásokhoz azonban már lényegesen nagyobb intenzitású csövekre van szükség. A hagyományos, néhány kilowatt teljesítményű röntgencsővek természetesen felhasználhatók ilyen célra. Erős törekvés nyilvánult meg azonban a kevésbé robusztus, kisebb méretű és teljesítményű, így szerényebb hűtési igényű csövek kifejlesztése iránt is. Az elektronagyuk gyártási technológiájában, valamint a tápegységek konstrukciójában bekövetkezett fejlesztés eredményeként ma már kaphatók 60, sőt 80 kV, 5 mA áramú csövek, amelyek zömében a KEVEX cég termékei².

Újszerű a Philips cég kettős anódú röntgencsőve³, amely lehetővé teszi a kis és nagy rendszámú elemek analízisét anélkül, hogy anódot kellene váltani,

(1. ábra). Az 5 keV-es, vastag ($127 \mu\text{m}$) ablaku csővel gerjesztett spektrumban a klór vonala igen intenzív, és jelentős escape-járulékot ad a gyenge nátriumvonálnál közvetlen közelében. Ezzel szemben a vékony ($51 \mu\text{m}$) ablaku, 3 keV-es cső igen erős nátrium- és gyenge klórvonalakat produkál, a Cl-escape csúcs pedig elhanyagolható.

A vékony ablaku és kis csőfeszültséggel üzemeltethető röntgencsővek kifejlesztésében jelentős eredményeket ért el a KEVEX cég¹. Az ilyen feszültségen üzemelő csöveknél az a nehézség, hogy az izókatódos csövek izzószála nem elegendő kivonó feszültség esetén túlmelegszik,

illetve el kellene téríteni az elektronnyalábot, amint az a korábbi kettős anódu röntgensövekben szokásos volt. A konstrukció alapötlete az, hogy egy nagy rendszámú anyagból készült anód felületére vékony könnyüelem-réteget visznek fel, s a csőfeszültség változtatásával érik el a kívánt gerjesztő spektrumot: kis rendszámú elemek gerjesztésekor, kis feszültségen üzemelve, az energia a külső rétegben nyelődik el, míg nehéz elemek esetén nagy feszültséget alkalmaznak, így az elektronok, áthatolva a felületi rétegen, a nagy rendszámú anódanyaggal lépnek kölcsönhatásba. Ugyanakkor, az elektronvisszaszórást a vékony külső réteg jelentősen lecsökkenti, ezért nincs szükség vastag kilépő ablakra, ami kis rendszámú elemek gerjesztésekor egyébként hátrányos. Négy anódkombinációt javasolnak: Cr-Ag, Cr-Au, Sc-Mo és Sc-W. A kis rendszámú tartományban 40 kV, nehezebb elemeknél (a króm után) 100 kV az üzemi feszültség.

PULZÁLT RÖNTGENSÖVEK

A pulzált röntgensöves gerjesztés ED spektrométerekben való alkalmazásáról az első közlemények a 70-es évek közepén jelentek meg⁴⁻⁵. A Lawrence Berkeley Laboratóriumban kidolgozott megoldás igen sokat ígért, s hamarosan megjelent az első kereskedelmi példány is⁶. E rendszerek működésének az a lényege, hogy a katód és az anód közé elhelyezett vezérlő elektród (rács) segítségével a jelfeldolgozás idejére letiltják az anódáramot, ezáltal csökken a rendszer felesleges terhelése, és kiküszöbölhető a pile-up. Ezzel a megoldással 25-50 000 cps jelsűrűséget értek el, kis háttér, azaz igen jó analitikai érzékenység mellett.

Minden előnyös tulajdonságuk ellenére a pulzált rendszerek mégsem terjedtek el igazán. Ennek valószínűleg két fő oka van. Az egyik az, hogy a rácsvezérlő áramkörök bonyolultak és drágák. Továbbá, az igen népszerű földelt anódu röntgensöveket elég nehéz felszerelni olyan vezérlő elektróddal, amelyet nagy feszültségen kell kapcsolgatni. Mindez persze nem lehetetlen, születtek is optikai csatolású megoldások⁵. A KEVEX cég pedig földelt katódu konstrukciót kínál, amelyben a rács vezérlését maximum 25 V feszültséggel oldják meg. A másik tényező, ami a pulzált röntgenső népszerűségét csökkenti, az, hogy elég bonyolult a holtidő-korrekción, és nehéz közben tartani a tényleges anódáramot.

MINIATÜRIZÁLÁS

Elsősorban a hordozható rendszerek előállítása, másrészt a kompakt geometriák (a forrás, a minta és a detektor közti kis távolságok) iránti igény motíválta a kis méretű röntgensövek és tápegységek kifejlesztését, lehetőleg a hagyományos, nagy méretű csöveket megközelítő teljesítménnyel. Napjainkban már többféle ilyen cső kapható, elsősorban a KEVEX cég termékei.

További technológiai lépés az integrált cső-generátor rendszer, amelynél a két egység egy kis méretű dobozban helyezkedik el. Ilyen a KEVEX PXS - Por-

table X-ray Source², amely 50 kV, 1 mA áramu, és 12 V vagy 28 V egyenárammal is táplálható, össztömege pedig 3,5 kg.

A hordozható ED XRF készülékek terén igen fontos lépést tett a KEVEX: 1989 tavaszi katalógusában megjelent az első kommerciális, Peltier-hűtésű Si(Li) detektor, a P*Si*, amelynek feloldását 180 - 250 eV-re garantálják². Az ipari folyamatellenőrzésre, a terepen végzendő vizsgálatra ezáltal szinte egyedülálló lehetőség adódik. Ezt nyilván azonnal igyekszik is kihasználni a KEVEX, hiszen "Sigma On-line System" néven máris kínálja a P*Si*, P*X*S és egy IBM PC kombinációjával felépített rendszerét. Ennek a megoldásnak óriási előnye a kis méret, a nem kötött orientáció, és nem utolsósorban a folyékony nitrogén hiánya. Az ATOMKI-ban saját erőből kezdtünk építeni gerjesztő rendszereket. Először Vatai és Andó⁷ épített egy integrált, a P*X*S-hez hasonló gerjesztő forrást, a szovjet gyártmányú BH-5 típusú csőre alapozva. Proporciónális számlálóval és szűrőkkel egybeépítve, néhány elem gyors meghatározására alkalmas, hordozható készüléket fejlesztettek ki.

Később, a többoldalú használhatóság irányában haladva, kifejlesztettük a kis méretű, NZ-851 nagyfeszültségű tápegységet, amely 50 kV, 200 μ A áramu. Ehhez illesztettük a változtatható anódu BH-5 röntgensövet, majd építettünk egy vákuumozható, szűrőkkel és kollimátorokkal felszerelt mérőkamrát⁸. A röntgenső-generátor rendszer tervezésénél arra törekedtünk, hogy a nagy fűtőteljesítményt ne kelljen nagyfeszültségű kábelen továbbítanunk. Ez sajnos azt eredményezte, hogy a fűtőtranszformátort a csővel egy tokba kellett elhelyeznünk, ami megnövelte annak méretét. Jelenleg azon dolgozunk, hogy különböző anódu (Be, Ti, Cu és Mo), kisebb méretű csöveket illesszünk az NZ-851-hez úgy, hogy a tokozás egy viszonylag kis átmérőjű, kompakt geometriát biztosító hengerben végződjön, ami vákuumtérbe is bedugható.

HÁTTÉRCSÖKKENTÉS POLARIZÁLT RÖNTGENSUGÁRZÁSSAL

A detektálási küszöb csökkentése irányában igen fontos lépés a mintán szórt primer sugárzás által okozott háttér csökkentése. Egyik ilyen lehetőség a polarizált nyaláb használata gerjesztésre. A legintenzivebb polarizált nyalábforrás a szinkrotronsugárzás: nagy fotonfluxust ad, igen jó fényerővel, az elektronpálya síkjában tökéletes a polarizáció, valamint hangolható az energia. A detektálási küszöb a pikogramm tartományba esik.

Az anomális átmenet vagy Borrmann-effektus tökéletes egykristályokban szintén lineárisan polarizált nyalábot eredményez. A spektrum monoenergetikus, a nyalábinszintenzitás elég gyenge.

A polarizálás klasszikus módja az amorf vagy polikristályos, kis rendszámú targeten történő 90°-os szórás (Barkla-szórás), amelynek eredménye lineárisan polarizált, polikromatikus, viszonylag kis intenzitású sugárzás. Kb. 4 nagyságrenddel nagyobb intenzitás és monokromatikus nyaláb nyerhető oly módon,

ha Barkla elrendezésében a polikristályos targetet megfelelő egykristállyal helyettesítjük, s Bragg-reflexió jön létre. A továbbiakban az utóbbi két polarizációs módszerrel foglalkozunk részletesebben.

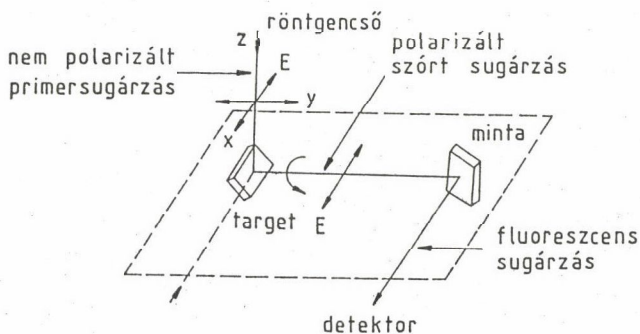
A Compton-szórás intenzitása már egyszerű 90° -os gerjesztési geometriával is mérhető. A szórás hatáskeresztmetszete ugyanis nemrelativisztikus esetben

$$d\sigma = \frac{1}{2} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right) (1 + \cos^2\theta) d\Omega,$$

ahol θ a szórás szöge. További, lényegesen erősebb szórásnövekedés érhető el polarizált primer nyalábbal. Ha ugyanis a polarizáció és a megfigyelés iránya által bezárt szög φ , a nemrelativisztikus Compton-szórás hatáskeresztmetszete

$$d\sigma = \left(\frac{e^2}{mc^2} \right) \sin^2\varphi d\Omega.$$

A detektálást $\varphi = 0$ -nál végezve nem észlelünk szórt sugárzást, csak fluoreszcens csúcsokat. (Ez természetesen erősen idealizált eset, a többszörös szórás miatt ugyanis bizonyos szórás fellép.) A szükséges polarizált primer nyalábot előállíthatjuk Barkla klasszikus módszerével: a polarizálatlan gerjesztő sugárzást valamilyen kis rendszámú (Be, B vagy C) targeten 90° -kal szórattuk⁹. Ennek megvalósításához ún. háromtengelyű geometriát kell kialakítani.



2. ábra

A polarizált gerjesztés sémája három tengelyű geometriában

Схема возбуждения поляризованным рентгеновским излучением в трёхосной геометрии

Sketch of the three-axis geometry of polarized tube excitation

Ezt szemlélteti a 2. ábra.

A röntgenszóból jövő polarizálatlan sugárzás 90° -os szórás után az X - Z síkban polarizálttá válik, s ez lép kölcsönhatásba (szórás, gerjesztés révén) az analizálandó mintával. A szórás folyamata anizotróp (a klasszikus elektrodinamika szerint az elektromos dipól nem emittál sugárzást a rezgés tengelye irányában), a mintában keltett fluoreszcens sugárzás viszont izotróp eloszlású. Ezért, ha a detektort a polarizáció irányába (ábránkon az X-tengelyen) helyezük el, kiküszöbölhetjük a szórt sugárzást, vagyis a háttérrel csaknem elnyomva, a fluoreszcens vonalak lényegesen kiemelhetők.

Mint azt fentebb említettük, a Bragg-reflexióval végzett polarizálás lényegesen intenzívebb, s ugyanakkor monoenergetikus sugárzást eredményez¹⁰⁻¹². A polarizátorkristállyal szemben támaszott követelmények:

- a rácsállandó eleget kell, hogy tegyen a Bragg-feltételnek:

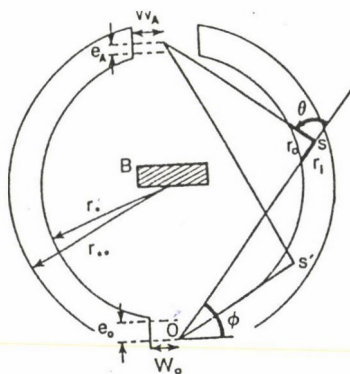
$$d_{\lambda_{K\alpha}} = \frac{\lambda_{K\alpha}}{2 \sin 45^\circ} = 0,707 \lambda_{K\alpha}$$

ahol $\lambda_{K\alpha}$ a röntgenső anódvonalának hullámhossza (mindebből következik, hogy elég kevés lehetőség van a kristályok kiválasztására, hiszen rácsállandójuk adott);

- nagy integrális reflektivitása legyen;
- a karakterisztikus vonalainak a vizsgálandó tartományon kívülre kell esnie;
- elfogadható ára legyen.

Több polarizációs kristályt javasol különféle anódokhoz Wobruschek és Aiginger¹¹. Ezek közül reflektivitásával különösen kiemelkedik a (611) Mo egykristály, valamint az un. HOP C (high order pyrolytic graphite)¹². Molibdén anódu csőből és molibdén reflektorból álló rendszerükkel igen alacsony detektálási küszöböt értek el: vizes oldatban (ami egyébként igen intenzív szórt háttérrel ad) Br, Rb és Sr 1 ppm-et 1000 s alatt, míg az abszolút kimutatási küszöb 1 μ l folyadékseppből 1,5 - 1,9 ng (HOP C-vel Sr-ra 1,1 ng).

A polarizált sugárzás intenzitásának fokozására un. Johann- illetve Johansson-típusu, görbitett fókuszáló kristályt javasolt¹³. A Johansson-típusu egy pontba fókuszálja a reflektált polarizált sugárzást, míg a Johann-típusu fókuszpontja elmosódottabb. Mivel a görbült rácssíkok miatt a Bragg-feltétel nemcsak egy beesési szögnél teljesül, e megoldások lényegesen intenzívebb polarizált nyalábot eredményeznek.



3. ábra

Polarizált gerjesztés hengerfelületen való szórással¹⁴

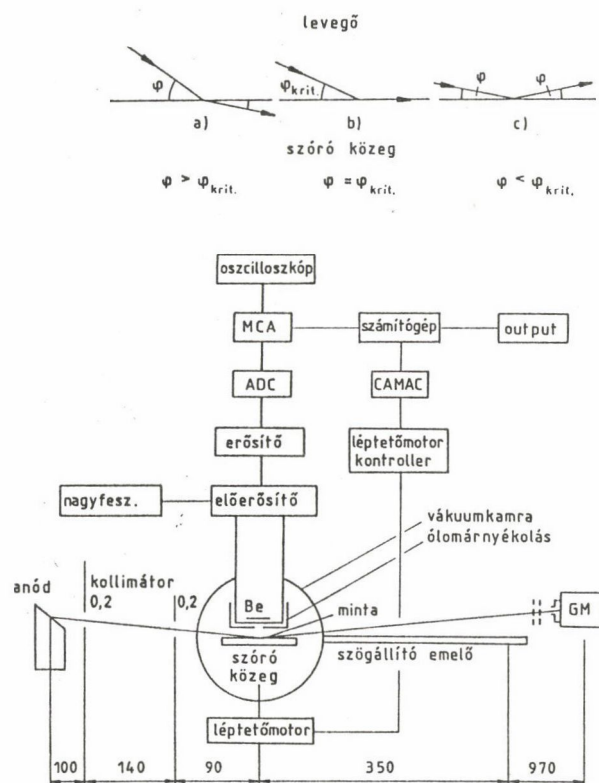
Схема возбуждения поляризованным рентгеновским излучением, рассеянным на цилиндрической поверхности¹⁴

Excitation by polarized X-rays scattered by a cylindrical surface¹⁴

A polarizált sugárzás előállításánál egymásnak ellentmondó követelmény a nagy polarizáltsági fok és a nagy intenzitás. A kettő együtt nem megy. Amennyiben a nagy intenzitás a fő szempont, a hajlított kristályok által elérhető intenzitás tovább fokozható a Zahrt és Ryon^{14,15} által tervezett B₄C henger belső falán való szórással. A 3. ábrán a forrás a O pontban, a minta az A pontban van elhelyezve úgy, hogy a detektor tengelye az A pontban az ábra síkjára merőleges. A geometria törvényeiből következik, hogy a szórás szöge a henger minden pontján 90°.

Az ATOMKI-ban jelenleg tervezés alatt van egy több célú gerjesztő elrendezés. A tervezés főbb szempontjai: mérési lehetőség vákuumban vagy héliumatmoszférában, vízszintes mintapozíció, a minta felülete a kamra felső lapjának síkjával azonos helyzetű (ami lehetővé teszi nagy méretű

tárgyak elemzését is), direkt, polarizált és szekunder targetes gerjesztési mód röntgensővel (ez utóbbi kettő a bemutatott háromtengelyű geometriában), szűrők és kollimátorok cserélhetősége, a rendelkezésre álló, illetve készülő röntgensőveken kívül más típusu, nagy teljesítményű csövek illeszthetősége a kamrához, lehetőség izotópos gerjesztésre, vékony berilliumablak.



4. ábra

A totálreflexiós XRF analízis mérési elrendezése¹⁶

Схема РФА в геометрии полного отражения¹⁶

Scheme of the total reflection XRF geometry¹⁶

HÁTTÉRCSÖKKENTÉS TOTÁLREFLEXIÓVAL

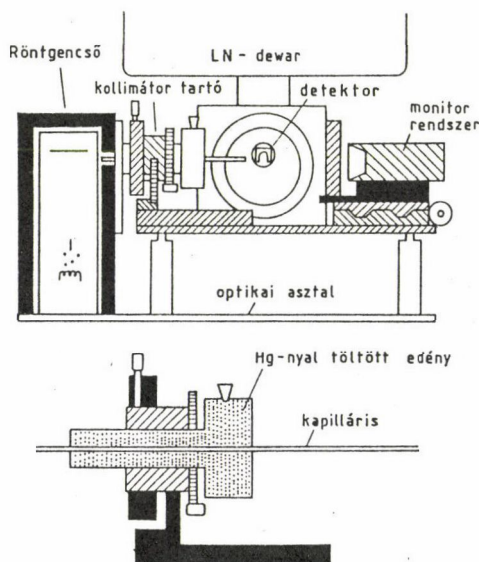
Egy másik módszer a háttér redukálására a röntgensugárzás totálreflexiója tökéletesen sík, polírozott felületen. A jelenség analitikai felhasználásához speciális gerjesztő - reflektor - detektorgeometria szükséges (lásd 4. ábra)¹⁶. A módszer elsősorban folyadékok, illetve a reflektáló felületre feldörzsölhető, vékony réteget alkotó anyagok vizsgálatára alkalmas. A felvitt vékony rétegnek ugyanis a reflexiót nem nagyon szabad befolyásolnia. A hordozó anyag lehet amorf vagy kristályos, legyen nagy tisztaságú, kemény és kémiaailag ellenálló, mechanikailag megmunkálható és jól polírozható, karakterisztikus vonalai essenek a vizsgálandó tartományon kívülre, $\lambda/10$ -től $\lambda/20$ értéken belül síknak kell lennie, a felületi érdesség nem lehet $1 \mu\text{m}$ -nél nagyobb, s mindezekben túl az elfogadható ár sem utolsó szempont. Ha még számításba vesszük azt is, hogy a kritikus szög pl. $\text{Mo}_{K\alpha}$ esetén kb. 2

mrád, a mechanikai, optikai megvalósítás nem egyszerű dolog. A kis anvaqmenyviség és a fényerőveszteség miatt csak nagy teljesítményű csövekkel valósítható meg. A viszonylag költséges berendezés azonban kiváló analitikai érzékenységet kínál: a legkisebb kimutatható anvaqmenyviség 10-20 pg, ami vizes oldatokban kb. 0,1-0,2 ppb koncentrációnak felel meg¹⁷.

ANALÍZIS RÖNTGENMIKRONYALÁBBAL

A röntgenoptika az utolsó évtizedben sokat fejlődött, és különösen nagy energiát fordítottak az intenzív röntgenmikronyalábok kifejlesztésére. Az alapvető nehézséget a divergens röntgennyaláb fókuszálása jelenti. A látható tartomány analógiájára a röntgensugárzásra is definiálhatunk törésmutatót, és elvileg fókuszáló lencsék is elképzelhetők. A nehézséget azonban az jelenti, hogy a törésmutató 1 körüli érték, másrészt a röntgensugárzás gyengülése a közegben igen erős, vagyis az ilyen optikai rendszerből a sugárzás nem lép ki. Mindebből következik, hogy a röntgentartományban a fókuszálást tükroptikával kell megoldani. A tükrokkal viszont az a nehézség, hogy a röntgensugárzás reflektivitása kicsi, csak a totálreflexió ad kielégítő eredményt. A nagyon kis kritikus szögek miatt azonban röntgensugarat fókuszáló rendszert nehéz konstruálni. Egykristályokból és többrétegű szerkezetekből készítenek nagy reflektivitású tükroket, de ezek csak szűk energiasávban használhatók. 20 μm körüli mikronyalábot értek így el, de csupán a szinkrotronsugárzás képes megfelelő intenzitást biztosítani.

Viszonylag nagy hatásfokot kaptak, ha vékony kapillárist használtak röntgenoptikai fókuszálásra^{18,19}. Ezekben a röntgensugárzás, az optikai fény-



5. ábra

Mikronyalábot előállító röntgenspektrométer vázlata¹⁸

Схема спектрометра с возбуждением микропучка рентгеновского излучения¹⁸

Schematic drawing of an X-ray microbeam spectrometer setup¹⁸

vezető üvegszálakhoz hasonlóan, sorozatos totálreflexiót szenvedve halad. Nagyon kritikus azonban a belépő röntgennyaláb és a kapilláris kölcsönös helyzete, illetve beállítása, ezért az egész rendszert az 5. ábrán látható precíziós optikai asztalra helyezték el. A kapilláris higanyal töltött rozsdamentes acéledény belsejében helyezkedik el. A higany szerepe a sugárvédelem. A berendezéssel 200 μm átmérőjű kapillárist használva pl. egyetlen hajszál elemzése során kb. 1 ppm, illetve abszolút tömegben kb. 1 pg kimutatási küszöböt értek el.

Kis sűrűségű üvegből készített röntgennyaláb-vezetőt, illetve 5,7 μm átmérőjű nyalábbal üzemelő spektrométert Yamamoto és Hosokawa²⁰. Az 500 mm hosszú kapilláris belső felülete parabolikus profil, divergenciája $8,7 \cdot 10^{-5}$ rad. A nyaláb pozíciójának monitorozására lézersugarat használnak, a fluoreszcens sugárzást 200 mm² területű

Si(Li) detektorral mérik. A készüléket többek között ULSI lapkák mikrotartományai igen kis mennyiségű szennyezőinek meghatározására használták (pl. volfram monoréteg már detektálható).

IRODALOM

1. R. Vane, B. Skillicorn, Adv. X-Ray Anal. 27 (1984) 415
2. KEVEX Instruments XRF News, Spring 1989
3. J.N. Kikkert, J.J. de Koning, Adv. X-Ray Anal. 28 (1985) 107
4. J.M. Jaklevic et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-19, No.3. (1972) 392
5. J.M. Jaklevic et al., Adv. X-Ray Anal. 19 (1976) 253
6. J.E. Stewart et al., Adv. X-Ray Anal. 19 (1976) 153
7. E. Vatai, L. Andó, X-Ray Spectrometry 15 (1986) 23
8. M. Kis-Varga, Isotopenpraxis 24 (1988) 435
9. T.G. Dzubay, B.V. Jarrett, J.M. Jaklevic, Nucl. Instr. Meth. 115 (1974) 297
10. H. Aiginger, P. Wobrauschek, C. Brauner, Nucl. Instr. Meth. 120 (1974) 541
11. P. Wobrauschek, H. Aiginger, X-Ray Spectrometry 9 (1980) 57
12. P. Wobrauschek, H. Aiginger, Adv. X-Ray Anal. 28 (1985) 69
13. P. Wobrauschek, H. Aiginger, X-Ray Spectrometry 12 (1983) 72
14. J.D. Zahrt, R. Ryon, Adv. X-Ray Anal. 27 (1984) 505
15. J.D. Zahrt, Adv. X-Ray Anal. 27 (1984) 513
16. H. Aiginger, P. Wobrauschek, Adv. X-Ray Anal. 28 (1985) 1
17. W. Michaelis et al., Adv. X-Ray Anal. 28 (1985) 75
18. P. Engström et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B36 (1989) 222
19. A. Rindby et al., X-Ray Spectrometry 18 (1989) 109
20. N. Yamamoto, Y. Hosokawa, Japan. J. Appl. Phys. 27 (1988) L 2203

*

Bemutatjuk a csövek műszaki fejlesztésével, illetve a különféle háttér csökkentő eljárások (pulzált és polarizált nyaláb, totálreflexió), valamint mikronyalábok alkalmazásával elért analitikai eredményeket.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ЭНЕРГОДИСПЕРСИВНЫХ СПЕКТРОМЕТРАХ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ВОЗМОЖНОСТИ (ОБЗОР)
Кис-Варга М.

Суммируются результаты, достигнутые улучшением технических параметров рентгеновских трубок и использованием методов для уменьшения фона (возбуждение отрывистым и поляризованным пучком и в геометрии полного отражения) и для возбуждения микропучками.

TUBE EXCITATION IN ENERGY DISPERSIVE X-RAY SPECTROMETERS: RESULTS AND POSSIBILITIES (REVIEW)
Kis-Varga M.

The analytical results achieved by the technical improvements of tube parameters by using background reduction techniques (pulsed and polarized beam, total reflection), as well as X-ray microbeams are described.

Si(Li) DETEKTOROK HŰTÉSI LEHETŐSÉGE JOULE-THOMSON-EFFEKTUS FELHASZNÁLÁSÁVAL

Máthé György

Az MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen, Pf. 51, 4001

A röntgenfluoreszcenciás mérőberendezéseknél a jó spektroszkópiai feloldás érdekében a Si(Li) detektort legalább -100°C -ra kell hűteni, ezt folyékony nitrogénnel szokták biztosítani.

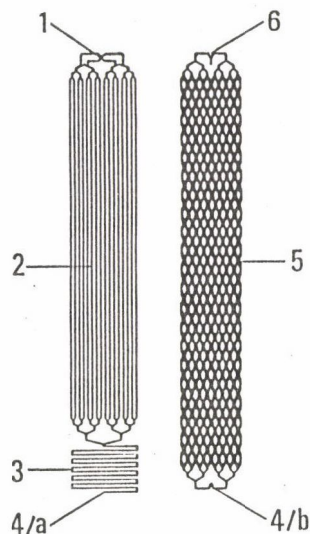
A cseppfolyós nitrogén használata sok esetben lehetetlen az utánpótlás nehézségei miatt. Ilyenek a sivatagi, óceáni vagy világűrben folyó mérések. Sok gondot okoznak a folyékony nitrogén tartálya által okozott geometriai megkötöttségek, valamint annak terjedelmes volta.

A problémák megoldására két irányba indult el a fejlesztő munka. Az egyik Peltier elemes, a másik a gázexpanziós elven működő hűtés. A szakvélemények az első megoldást sokáig elvetették, mondván, hogy még kaszkádba kapcsolt Peltier elemekkel sem lehet -60°C -nál alacsonyabb hőmérsékletet elérni, az erős áram jelenléte pedig súlyos zajproblémákhoz vezet. 1989 tavaszán a KEVEX cég mindezek cáfolatára bejelentette első ilyen produktumát, igaz, a gyártmányismerető nem bővelkedik műszaki részletekben.

A Joule-Thomson-effektust felhasználva könnyen el lehet érni -160 , -190°C hőmérsékletet, ami messzemenően meghaladja a megkívánt értéket. Ilyen hűtési módszert alkalmazva a LABEN cég már évek óta forgalmaz röntgenfluoreszcenciás anyagvizsgáló berendezést. Az általuk felhasznált hűtő szintén kereskedelmi forgalomból származik, erősen miniatürizált, fémből készült, értékesítési területe rendkívül korlátozott, mivel haditechnikai célú felhasználási területei is vannak.

Az irodalomban W.A. Little (Rev. Sci. Instr. 55 /5/ May 1984 p. 661) számolt be egy üveg alapanyagú, fotolitográfiai eljárással sorozatban is készíthető miniatűr hűtőről. Mivel az, Si(Li) detektorok hűtésére alkalmasnak kínálkozott, az ATOMKI-ban realizáltuk ezt a rendszert, és vizsgálatokat folytattunk alkalmazhatóságáról.

A Joule-Thomson hűtési elv lényege, hogy bizonyos gázok expanzió alkalmával lehűlnek. Ha az így lehűlt gázzal előhűtjük a bejövő gázt, akkor a folyamat regeneratív válik, és a hűtés addig folytatódik, amíg a hőmérséklet csökkenésével valami el nem tömi az expanziós nyílást. Ez jó esetben maga a cseppfolyósodott gáz. A hűtőrendszer így lényegében egy hőcserélő és egy expanziós ventil. A hőcserélő bemenő vezetéke nagy nyomáson van - tipikusan $10 - 20$ MPa-on, a visszatérő ellenáramú rész kis nyomáson, tipikusan $0,1 - 1$ MPa-on. A nyomásesés az expanziós ventilen következik be.



1. ábra

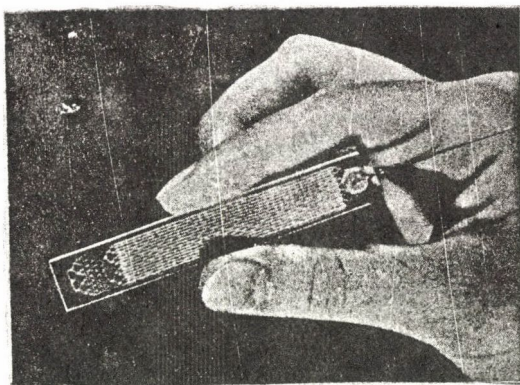
A hűtő tipikus csatornarendszere

1. A nagy nyomású gáz belépésének helye, 2. a hőcserélő nagy nyomású vezetékéi, 3. kapilláris, 4. expanziós nyílás (4/a-ból áramlik a gáz egy közbelső üveggel van összeragasztva), 5. a hőcserélő kis nyomású vezetékéi, 6. a kis nyomású gáz kilépésének helye

Типичная система каналов холодильника
1. Вход газа высокого давления, 2. каналы теплоотдачи высокого давления, 3. капилляр, 4. зазор расширения (газ теплет из 4/a до 4/b через сверлённый зазор в промежуточной стеклянной пластинке), 5. канал низкого давления теплоотдачи, 6. выход газа низкого давления

Typical channel system of the refrigerator

1. High pressure gas input, 2. high pressure channels of the heat exchanger, 3. capillary 4. expansion vent (the gas flows from 4/a to 4/b via the drilled vent in an intermediate glass plate) 5. channel low pressure of the heat exchanger, 6. exhaust of the low pressure gas



2. ábra

A miniatűr hűtő

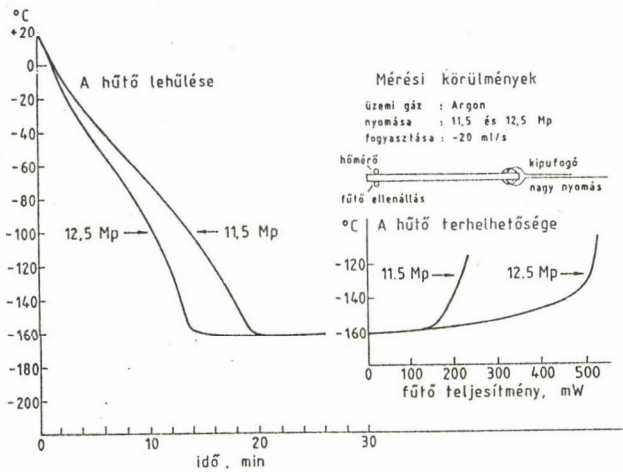
Миниатюрный холодильник

The miniature refrigerator

A megvalósított miniatűr hűtő mikroszkóptárgylemezből készül. A hosszában kettévágott tárgylemez egyik felében maratással alakítottuk ki a hőcserélő nagy nyomású csatornarendszerét, és annak végében az expanziós ventilt, egy kapilláris labirintus formájában. Az üveg másik felén szintén maratással készül egy nagy keresztmetszetű, kis nyomású csatorna. A két tárgylemez közbülső, harmadik üveggel van összeragasztva. A ragasztás révén válnak a csatornák csövekké. Mind a nagy nyomású lemez bemenő végén, mind a kis nyomású lemez kilépő végén furat van a gáz be-, illetve kivezetésére. Furat van továbbá az összekötő üveglemez kapilláris felőli végén, ahol a gáz át tud lépni az expanziós ventilből a kis nyomású térélfelbe. A gázt acélcsöveken (injekciós tűn) keresztül vezetjük be és ki.

A hűtő számos tulajdonsága a 3. ábráról leolvasható. Üzemeltetéséhez kereskedelmi, száraz argon vagy nitrogén használható. A gáz nyomásának 10 MPa felett célszerű lenni, jóllehet a már egyszer lehűlt rendszer még 6 MPa-on is tartja a hőmérsékletet. A gázt zeolit (4 A) típusu szűrővel tisztítani kell. Ez olyan tisztaságot biztosít, hogy napi 8 órás folyamatos üzemeltetés lehetséges. A minimális hőmérsékletet az alkalmazott gáz és a hűtő geometriai tulajdonságai határozzák meg. Nem függ a hőmérséklet a gáz nyomásától! A gáz nyomásának a hűtő terhelhetőségére, ezen keresztül a lehülési időre van hatása. A terhelhetőség a gáz nyomásának negyedik hatványával változik. Tekintettel arra, hogy a röntgenfluoreszcenciás detektoroknál egyedül a térvezérlésű tranzisztor jelent mintegy 25 mW-os terhelést, ezért az expanziós hűtő terhelhetősége bőven elegendő céljainkra.

Eddigi vizsgálataink folyamán egy rossz (400 eV) feloldású detektort próbáltunk ki. A lehülés folyamán a detektor zajviszonyai fokozatosan javultak, és a hűtő mikrofonias



3. ábra

A miniatűr hűtő tulajdonságai

Свойства миниатюрного холодильника

The properties of the miniature refrigerator

szempontból zajmentesnek bizonyul, A minimális hőmérsékleten, amikor a gáz cseppfolyósodni kezd, 5 keV ekvivalens nagyságú zajimpulzusok jelennek meg. A zaj megjelenésével egyidejűleg a hűtő gázfogyasztása ugrásszerűen mintegy háromszorosára nő, és intenzíven fluktuál. Ezek a jelenségek a folyékony fázis megjelenésével magyarázhatók. A jelenség felszámolására kívánatos a minimális hőmérséklet felett dolgozni. Ezt elérhetjük a hűtéssel egyidejű fűtéssel, vagy olyan gázadagoló rendszer kifejlesztésével, mely a minimális hőmérséklet felett tartja a hűtő hőmérsékletét. Szerencsés körülmény, hogy a gázfogyasztás mindkét esetben csökken. Jelenlegi hűtőinkkel 10 és 30 ml/s-os gázfogyasztással kell számolni, ami a szokványos gázpalackok esetén néhányszor tíz órás folyamatos üzemeltetést tesz lehetővé. A felhasznált gáz visszanyerését, illetve komprimálását a jelenlegi műszaki felkészültség mellett még nem látjuk reálisnak.

Nyitott kérdés még, hogy a detektorok hogyan fogják bírni az ismételt hűtést, majd visszamelegítést. Amennyiben igaz az, hogy a ciklikus hőmérsékletváltoztatásnál a detektor életében a vákuumrendszerből kicsapódó szennyeződések, mindenekelőtt a víz játssza a fő szerepet, akkor a detektor előfűtésével ez a probléma megoldható.

*

Egy gázexpanziós miniatűr hűtő használhatóságát vizsgáltuk meg Si(Li) detektoroknál. A hűtő üvegből készült, fotolitográfiai eljárással. Az eredmények ígéretesek.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ Si(Li) ДЕТЕКТОРОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА Мате, Г

Применимость газорасширяющего миниатюрного холодильника была исследована для Si(Li) детектора. Холодильник был изготовлен из стекла с методом фотолитографии. Результаты надёжные.

THE COOLING POSSIBILITIES OF Si(Li) DETECTORS BY MEANS OF JOULE-THOMSON EFFECT Máthé, Gy.

The properties of a miniature gas refrigerator was tested, how it can be used for Si(Li) detector cooling. The refrigerator was manufactured in glass substrates with photolithographic fabrication process. The results are promising.

IZOTÓPGERJESZTÉSŐ, SZEKUNDER TARGETES FORRÁS TERVEZÉSE FÉLVEZETŐ DETEKTOROS RÖNTGENSPEKTROMÉTEREKHEZ

Kalinka Gábor

MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen, Pf. 51, 4001

BEVEZETÉS

Bár a röntgenfluoreszcencia-analízisben, magas és egyre növekvő árak ellenére, mindinkább a nagyon sokoldalúan alkalmazható röntgensöveket használják gerjesztésre, egyszerűségük és viszonylag alacsony árak miatt nem szorultak még ki a használatból a radioaktív izotópok. Sajnos a gyakorlati célra általánosan és leggyakrabban alkalmazott izotópok felezési ideje általában meglehetősen rövid (^{125}I :60 nap, ^{57}Co :270 nap, ^{137}Cs :1,27 év, ^{55}Fe :2,7 év, kivétel az ^{241}Am :433 év). Ezt figyelembe véve az izotópok alkalmazása már nem is tűnik olyan gazdaságosnak.

Az ^{241}Am alkalmazhatósága viszont meglehetősen limitált (főleg a ritka-földfémek analízise): elsősorban a 15-45 keV közötti energiatartományba eső vonalak gerjesztésére használható, de csak abban az esetben, ha megfelelő abszorbenssel az ide eső Np L és gyengébb γ -vonalakat (lásd 1. táblázat) kiszűrjük a gerjesztő spektrumból. Ennek oka az, hogy a gerjesztésre használt 59,5 keV-es γ -vonalnak a *mintán* való Compton-szórása a 45-60 keV tartományban, míg a detektorba jutó, kb. 45-60 keV energiájú fotonok, a *detektorban* Compton-szórással meglökött elektronok révén a 0-15 keV tartományban olyan magas háttérrel okoznak (főleg könnyű, tehát erősen szóró minták esetén), amely kis koncentráció meghatározását lehetetlenné teszi.

Az alsó (0-15 keV) energiatartományban, ahol az 59,5 keV-es vonal gerjesztési határfoka egyébként is csekély, jobb érzékenységet érhetünk el, ha a Np L vonalakat nem szűrjük ki, azok hatásosabban gerjesztenek. Sajnos ilyen módon is főleg csak fő komponensek, például fémötvözetek összetételének meghatározására alkalmas az ^{241}Am .

Ugyanakkor - legalábbis elvben - az ^{241}Am izotópot, főleg az 59,5 keV-es vonalra alapozva, kedvezően lehetne alkalmazni szekunder target gerjesztésére. Tiszta elemeket vagy a megfelelő elemeknek könnyű atomokkal képzett vegyületeit (oxidok, nitrátok stb.) használva erre a célra, finom lépésekben változtatható energiájú, hosszú élettartamu, "univerzális" gerjesztő forráshoz juthatunk. Ha ugyanis sikerül az éppen vizsgálandó energiatartományba eső ^{241}Am -vonalakat kiszűrni, az 59,5 keV-es vonal szóródását és az elrendezés szerkezeti anyagaiból származó fluoreszcens vonalakat minimalizálni, akkor a szekunder spektrum elsősorban a targetatom $K_{\alpha, \beta}$ vonalait fogja tartalmazni (az L és M vonalak gerjeszthetősége lényegesen kisebb).

1. táblázat

Az ^{241}Am fontosabb röntgen- és γ -vonalai (*átlagolt értékek)Самые важные рентгеновские и гамма линии изотопа ^{241}Am
(*средние величины)The most important X- and γ -ray lines of ^{241}Am (*average values)

Vonal	Energia (keV)	100 bomlásra eső fotonok száma	Irodalom
Np M	3,4*	5,73	1
Np L_{ℓ}	11,871	0,81	2
Np L_{α}	13,93*	13,0	"
Np L_{η}	15,861	0,33	"
Np L_{β}	17,61*	20,2	"
Np L_{γ}	20,99*	5,2	"
γ	20,3445	2,4	"
"	33,1920	0,12	"
"	43,415	0,073	"
"	55,528	0,020	"
"	59,5364	35,7	"
"	69,760	0,024	"
"	98,94	0,020	"
"	102,95	0,0195	"
"	122,99	0,0010	"
"	125,288	0,0040	"
"	208,008	0,00079	"
"	322,54	0,000152	"
"	332,361	0,00015	"
"	335,401	0,000495	"
"	368,59	0,000231	"
"	376,58	0,000138	"
"	662,426	0,00036	"
"	722,70	0,00013	"

A várható K_{α} intenzitás végtelen vastagnak tekinthető (pl. Cd esetén $\geq 0,5$ mm) sík, tiszta elemből álló target esetén az alábbi kifejezés alapján becsülhető⁴:

$$I_S = I_P E_S^{K_{\alpha}} \frac{\mu_{S,P}}{\frac{\mu_{S,P}}{\sin \psi_P} + \frac{\mu_{S,S}}{\sin \psi_S}} \cdot \frac{1}{\sin \psi_S} A_P \quad (1)$$

ahol I_S és I_P a gerjesztett, szekunder K_{α} , illetve a gerjesztő primer sugárzás intenzitásai, $E_S^{K_{\alpha}}$ a target elem K_{α} vonalának gerjeszthetőségi faktora⁵, $\mu_{S,P}$ és $\mu_{S,S}$ a targetnek a primer, illetve szekunder sugárzásra vonatkozó tömegabszorpciós együtthatói⁶, ψ_P és ψ_S a primer illetve szekunder sugárzásnak a target felületéhez viszonyított beesési, illetve kilépési szöge, A_P pedig a pri-

mer sugárzás intenzitásának azon hányada, amely a szekunder targetet éri.

Erősen idealizált esetet feltételezve, ahol $\varphi_p = \varphi_s = 90^\circ$, valamint $A_p = 1$ (a target "felfekszik" a primer forrásra), néhány target esetén a 2. táblázat szerinti I_s/I_p intenzitásarányok várhatók.

2. táblázat

A szekunder és primer intenzitás elvileg mérhető, maximális aránya 59,5 keV gerjesztésnél

Достижимые в принципе максимальные отношения интенсивностей вторичная/первичная при возбуждении 59,5 кэВ

Theoretically attainable maximum values of secondary/primary intensity ratios with 59,5 keV excitation

Target	Ti	Zn	Mo	Ag	Sn	Dy
Z	22	30	42	47	50	66
$\frac{I_s}{I_p}$	0,0011	0,0136	0,105	0,174	0,215	0,438

Látható, hogy pl. Sn targetnél minden ötödik 59,5 keV-es foton eredményez egy SnK_α fotont. Kérdés, hogy a valóságban milyen arány realizálható, ugyanis Woldseth⁶ 1:400 intenzitásarányra hivatkozva nem sok értelmét látja ilyen elrendezés gyakorlati célra történő alkalmazásának.

TERVEZÉS, KIVITELEZÉS

Egyedi fejlesztésű, ^{241}Am gerjesztésű, szekunder targetes elrendezéseket már régóta alkalmaznak a röntgenfluoreszcenciában, sőt már kereskedelmi forgalomban is vásárolhatók (például a New England Nuclear cég NER-sorozata, vagy az Isotope Product Laboratories ANT-sorozata), azonban a szerző által ismert, ilyen elrendezéseket említő közlemények⁷⁻¹³ közül mindössze az utolsó az, amely kifejezetten konstrukciós részleteket és a teljesítőképességre vonatkozó mérési adatokat is közöl. Ez az elrendezés azonban a szokásos gyűrű alakú ^{241}Am forrás helyett szimmetrikusan elhelyezett, 3 vagy 4, korong alakú forrással dolgozik.

A hiányos információk ellenére célunk olyan gerjesztő forrás létrehozása volt, amely a legáltalánosabban elterjedt és elfogadott ^{109}Cd izotópéhoz hasonló minőségű spektrumot ad: intenzív karakterisztikus K vonalakat és csak gyenge, nagyobb energiájú γ -vonal(ak)at (^{109}Cd esetén konkrétan: 100 Ag K, illetve 3,6 88 keV-es γ -foton 100 bomlásra²). Vagyis a forrás legyen alkalmas nyomelem-analitikai célokra is, kevésbé igényes feladatokra ugyanis az ^{241}Am közvetlenül is használható, ráadásul jóval nagyobb intenzitást biztosít.

Ez a célkitűzés az alábbi feltételek teljesítését követeli:

- a) A Np M, Np L röntgen-, valamint a 26,4 keV-es γ -vonal kiszűrése a primer spektrumból ($Z \leq 35$ rendszámú target esetén elegendő a Np M vonalat kiszűrni, ekkor ugyanis a targetet hatásosabban gerjesztik a Np L vonalak, mint az 59,5 keV-es γ);
- b) a gerjesztett szekunder sugárzás intenzitásának maximalizálása;
- c) az 59,5 keV γ -tól származó visszaszórta (koherens + inkohereus) sugárzás, valamint a szerkezeti anyagok gerjesztéséből származó fluoreszcens "szennyezés" minimalizálása;
- d) kellő sugárvédelem, különös tekintettel a nagyobb energiájú γ -sugárzásra (l. táblázat).

A feladat úgy is megfogalmazható, hogy optimálisan megválasztott szerkezeti anyagokat kell optimális geometriában elrendezni. Amíg azonban az nyilvánvaló, hogy sugárvédelem és visszaszórás szempontjából nagy rendszámú anyagok (W, Ta, Pb stb.) alkalmazása az előnyös, a szerkezeti anyagok fluoreszcenciájának csökkentéséhez pedig kis rendszámú anyagok (Al, műanyagok stb.) beépítésére van szükség, addig a megfelelő geometria kialakítása sokkal nyitottabb kérdésnek tűnik.

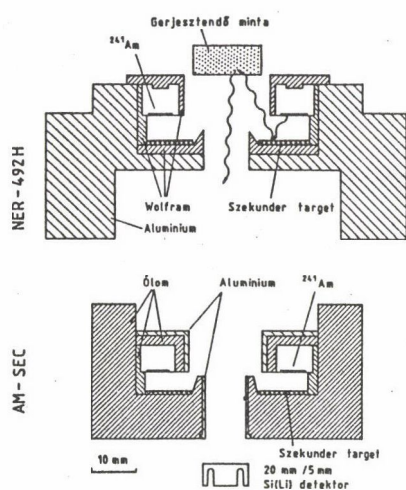
A jelen konstrukció létrehozásánál az abszolút értelemben vett optimális geometriai elrendezés helyett néhány, gyakorlati szempontból célszerű megkövetés - mint egyszerűség, olcsóság, kompatibilitás - mellett igyekeztünk, ha nem is optimális, de kielégítő geometriát találni. A megkövetések konkrétan a következők voltak:

- Az Amersham cég AMC sorozatbeli (10-5000 mCi, azaz 370 MBq-185 GBq aktivitású), vagy más gyártók hasonló méretű, gyűrű alakú ^{241}Am forrásainak alkalmazása (mivel azonos méretben készülnek ^{55}Fe , ^{109}Cd , stb. izotópok is, azokat is el lehessen helyezni a tartóban direkt vagy szekunder gerjesztésű elrendezésben);

- sík, gyűrű alakú szekunder target alkalmazása (nemfémes elemekből vagy rideg fémekből egyéb forma kialakítása nehézségeket jelentene);

- ólom alkalmazása fő szerkezeti anyagként (nagyobb mechanikai szilárdságot biztosító speciális W-ötvezetek beszerzése, megmunkálása nehézkes, áruk magas).

Az első és második követelmény a geometria szempontjából már lényeges megszorítást jelent, azonban a még szabadon változtatható, optimalizálandó méretek száma így is jelentős. Amint az várható volt, bizonyos méretek, pl. a forrás belső oldali árnyékolása, a kollimátor "gallér" alakja, a kollimátor belső bélelése stb. a milliméter tört részén belül kritikus viselkedést mutattak. Így, kellő modellezési gyakorlat híján, megbízhatóbbnak látszott az elméleti optimalizálás helyett az empirikus. Célirányosan megtervezett, viszonylag kis számú, cserélhető betéttel széles geometriai tartomány valósítható meg. Ezen kísérletek elvégzése után az 1. ábrán látható, AM-SEC fantázianévvel felruhá-



1. ábra

A New England Nuclear cég NER-492H, valamint a jelen munkában ismertett AM-SEC szekunder targetes elrendezés vázlatja

Схемы двухступенчатых источников NER-492H фирмы Нью Энгланд Нуклеар и AM-SEC описанный в данной работе

Sketch of secondary target arrangements NER-492H from New England Nuclear and AM-SEC described in the present work

zott elrendezés bizonyult a fenti követelményeknek legmegfelelőbbnek. Egyáltalán nem bizonyos persze, hogy ez az igazi optimum, mindenesetre a kitűzött célt eléri.

A forrás belső oldali árnyékolásának, illetve a kollimátor bélésének vékonyításával az intenzitás növelhető, de a spektrum egyre több, nagy energiás visszaszórásból származó háttérrel, illetve fluoreszcens szennyezést fog tartalmazni, amely így csak kevésbé igényes mérésre lesz alkalmas. A legjobb minőségű, legtisztább spektrum többrétegű (szendvics) béléssel érhető el, ennek ára viszont az intenzitás csökkenése. Tulságosan kis intenzitásoknál viszont a kb. 10 mm Pb árnyékoláson is áthatoló többszáz keV-es γ -vonalaktól származó, detektorbeli Compton-effektus révén előálló háttér válhat az analitikai érzékenységet limitáló tényezővé.

A SZEKUNDER TARGETES FORRÁS MINŐSÍTÉSE

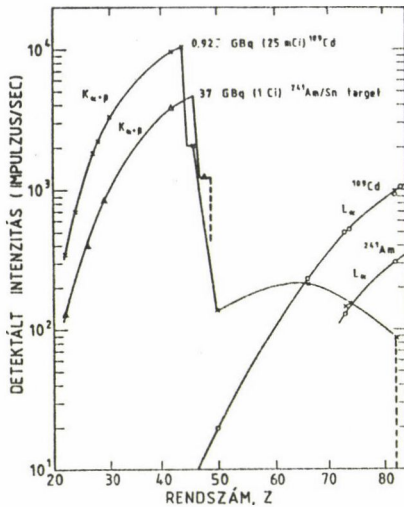
Nyomelem-analitikai szempontból rendkívül fontos a kb. 30-100 keV tartományba eső, direkt vagy szórt fotonok részaránya, mivel

ezek a Si(Li) spektrométerek által leginkább használt 0-30 keV energiatartományban okoznak háttérrel detektorbeli Compton-szórás révén, amely különösen jelentős Si(Li) detektorban¹⁴ a Si kis rendszáma miatt.

A detektorba kerülő szórt fotonok hatása könnyű minták esetén jelentős, ezért ebből a célból 12 mm átmérőjű, 5 mm vastag plexi korongról visszaszórt spektrumot mértünk 50 mm felületű és 4 mm vastag Si(Li) detektorral, három esetben:

- AM-SEC tartó/ ^{109}Cd forrás (a tartót a betétek átfordításával direkt gerjesztésre alkalmas formába hoztuk);
- AM-SEC tartó/ $^{241}\text{Am}/\text{Cd}$ target;
- NER 49H tartó/ $^{241}\text{Am}/\text{Cd}$ target (a tartó vázlatja az 1. ábrán látható, a New England Nuclear cég gyártmánya).

A plexi mintáról visszaszórt (koherens + inkoherens) $\text{Ag } K_{\alpha,\beta}/88 \text{ keV } \gamma$ aránya az első esetben 32:1, míg a $\text{Cd } K_{\alpha,\beta}/60 \text{ keV } \gamma$ aránya a két utóbbi esetben 37:1 illetve 1,2:1.



2. ábra

50 mm²/4mm(Si Li) detektorral mért, vastag, tiszta elemmintákból származó intenzitás 0,925 GBq ¹⁰⁹Cd, illetve AM-SEC/37 GBq ²⁴¹Am/Sn targetes gerjesztése esetén

Измеренные 50 мм² Si(Li)детектором интенсивности образцов толстых, чистых элементов, возбужденных источниками 0,925 ГБК ¹⁰⁹Cd и AM-SEC/37 ГБК ²⁴¹Am/Sn мишень

Intensities obtained from thick pure element samples, excited by 0,925 GBq ¹⁰⁹Cd and AM-SEC/37 GBq ²⁴¹Am/Sn target sources and detected with 50 mm²/4 mm Si(Li) detector

gyűjtőhatója is rohamosan csökken¹⁵, sugárvédelmi szempontból nem szabad megfelelni a viszonylag gyenge, néhány 100 keV-es γ -vonalakról. Ugyanis 10 mm ólom csillapítása $10^{-34}/60$ keV, $10^{-24}/100$ keV, $2 \cdot 10^{-5}/200$ keV, $3 \cdot 10^{-2}/300$ keV, és $3 \cdot 10^{-1}/700$ keV. Ez az 1. táblázat adataival azt jelenti, hogy (a felfelé mutató irányt leszámítva, amely szükség esetén szintén leárnyékolható) az adott elrendezésből a 0-200 keV tartományban gyakorlatilag nem jön ki sugárzás, míg a 200-800 keV tartományban - 37 GBq (1 Ci) aktivitású, önmagában árnyékolatlan forrást feltételezve - kb. $6 \cdot 10^4$ másodpercenkénti fotonfluxussal kell számolni.

IRODALOM

1. D.D. Cohen, X-Ray Spectr. 16 (1987) 237
2. E. Browne, R.B. Firestone /Ed. V.S. Shirley/: Table of Radioactive Isotopes, Wiley, New York, 1986
3. Móricz I., Kalinka G., Kis-Varga M., Kovács P., Atomki Közl. 24 Supplement 3 (1982) 35

A 2. ábrán vastag, tiszta elemmintákból nyert intenzitások láthatók AM-SEC tartóban elhelyezett, 925 MBq (25 mCi), direkt ¹⁰⁹Cd, illetve 37 GBq (1 Ci) ²⁴¹Am/Sn szekunder target gerjesztése esetére. Ebből látható, hogy az utóbbi forrás kb. 370 MBq (10 mCi) aktivitású ¹⁰⁹Cd-mal egyenértékű, azaz az "aktivitásredukció" 1:100, ami lényegesen jobb a Woldseth⁷ által idézett 1:400, vagy a Rubio¹³ közleményéből kiolvasható kb. 1:160-tól. Ugyanakkor jelentősen rosszabb a NER 492H elrendezésben általunk mért kb. 1:40-től. Ez utóbbinak azonban a fentebb említett, intenzív 60 keV γ -visszaszórás az "ára". Ilyen minőségromlást megengedve, az AM-SEC összeállításából nyerhető intenzitást is háromszorosára tudjuk növelni. Itt ismételten megjegyezzük, hogy az 1. táblázat szerint Sn target esetén az (elérhetetlen) elvi határ 1:5.

Ami az AM-SEC elrendezés sugárvédelmét illeti, az gyakorlatilag ekvivalens az amer-shami ²⁴¹Am források gyári csomagolásával: alul és oldalt 10 mm ólom. Mivel a fotonenergia növelésével az ólom tömegabszorpciós együtthatója is rohamosan csökken¹⁵, sugárvédelmi szempontból nem szabad megfelelni a viszonylag gyenge, néhány 100 keV-es γ -vonalakról. Ugyanis 10 mm ólom csillapítása $10^{-34}/60$ keV, $10^{-24}/100$ keV, $2 \cdot 10^{-5}/200$ keV, $3 \cdot 10^{-2}/300$ keV, és $3 \cdot 10^{-1}/700$ keV. Ez az 1. táblázat adataival azt jelenti, hogy (a felfelé mutató irányt leszámítva, amely szükség esetén szintén leárnyékolható) az adott elrendezésből a 0-200 keV tartományban gyakorlatilag nem jön ki sugárzás, míg a 200-800 keV tartományban - 37 GBq (1 Ci) aktivitású, önmagában árnyékolatlan forrást feltételezve - kb. $6 \cdot 10^4$ másodpercenkénti fotonfluxussal kell számolni.

4. R. Tertian, F. Claisse, Principles of Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis, Heyden, London, 1982
5. N. Broll, X-Ray Spectr. 15 (1986) 271
6. J. Leroux, T.P. Thinh, Revised Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients, Claisse Scientific Corporation, Québec, Canada G15 4N8(1977)
7. R. Woldseth, X-Ray Energy Spectrometry, KEVEX, Burlingame, 1973
8. R.D. Giaque, Anal. Chem. 40 (1968) 2075
9. C. Shenberg, S. Amiel, Anal. Chem. 43 (1971) 1025
10. C. Shenberg, M. Boazi, J. Radioanal. Chem. 27 (1975) 457
11. J.W. Rowson, S.A. Hontzeas, Can. J. Spectroscopy 22 (1977) 24
12. J.M. Doster, R.P. Gardner, Adv. X-Ray Anal. 24 (1981) 413
13. Д. Рыбуо, ОИЯИ Препринт 18-81-506 (1981)
14. M. Singh, B.C. Clark, A.J. Dabrowski, J.S. Iwanczyk, D.E. Leyden, A.K. Baird, Adv. X-Ray Anal. 24 (1981) 337
15. W.H. McMaster, N. Kerr Del Grande, J.H. Mallett, J.H. Hubbel, Compilation of X-Ray Cross Section, Report UCRL-50174, Sec. II. Rev. 1., 1969

*

Szekunder targetes gerjesztő forrást készítettünk Si(Li) detektoros röntgenfluoreszcencia-analízis céljára, gyűrű alakú ^{241}Am izotóp felhasználásával. A másodlagos spektrum minősége nem rosszabb mint a ^{109}Cd izotópé, így alkalmas nyomelemek analízisére is. Közepes rendszámú tiszta elemeket (Mo-Dy) alkalmazva targetként, primer forrásként pedig 37 GBq (1 Ci) aktivitású ^{241}Am izotópot, az elérhető ekvivalens aktivitás 370 MBq (10 mCi).

РАЗРАБОТКА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОМЕТРОВ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ
Калинка, Г.

Описан двухступенчатый источник возбуждения на основе кольцевого источника ^{241}Am для рентгенофлуоресцентного анализа с применением Si(Li) детектора. Качество вторичного спектра сравнимое с первичным спектром ^{109}Cd , позволяющее анализ не только макро-но и микрокомпонентов. Достижимая эквивалентная активность 370 МБк /10 мКи/ с использованием 37 ГБк /1 Ки/ ^{241}Am первичного источника и чистых элементных мишеней среднего атомного номера Mo-Dy.

DEVELOPMENT OF A SECONDARY TARGET SOURCE FOR ENERGY DISPERSIVE X-RAY SPECTROMETERS
Kalinka, G.

A secondary target excitation source for X-ray fluorescence analysis has been developed using annular ^{241}Am isotope. The quality of secondary spectrum compares that of ^{109}Cd , enabling it for use in trace element analysis, too. An equivalent of 370 MBq (10 mCi) activity can be achieved with medium atomic number pure element (Mo-Dy) targets and 37 GBq (1 Ci) ^{241}Am primary source.

PIXE-INDUKÁLT RÖNTGENFLUORESZCENCIA ÉS ALKALMAZÁSAI

Szőkefalvi-Nagy Zoltán, Demeter István, Le Huong Quynh
 MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, Biofizikai Munkacsoport,
 Budapest, Pf. 49, 1525

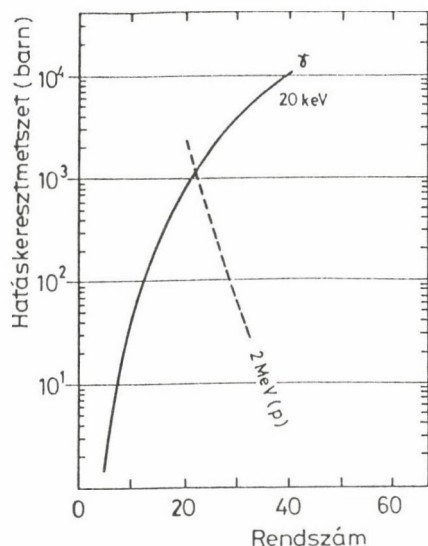
BEVEZETÉS

Bár a röntgenfluoreszcencia (XRF) analízis¹ a karakterisztikus röntgensugarak emisszióján alapuló, legelterjedtebb analitikai módszer, léteznek más, hasonló elveken működő "rokon" eljárások is. Ezek közül az egyik legfontosabb a részecskék keltette karakterisztikus röntgensugárzás (nemzetközileg elfogadott angol rövidítéssel PIXE) módszere². Ennél röntgensugarak helyett néhány MeV energiájú részecskék (leggyakrabban protonok) ionizálják nagy hatékonysággal a céltárgyatomok legbelső elektronhéjait. A folyamat második szakasza már mindkét módszernél azonos: az elektronszerkezet visszarendeződése során karakterisztikus röntgensugárzás is keletkezik. A sugárzás energiája szigorúan jellemző az öt kibocsájtó atom kémiai rendszámára, míg a sugárzás intenzitása szoros kapcsolatban van a szóban forgó elem mennyiségével. A PIXE-spektroszkópia (a többi röntgenspektroszkópiai eljáráshoz hasonlóan) sokelemes, roncsolásmentes analitikai módszer, mellyel a gyakorlatban a foszfortól az uránig minden elem mérhető egy nagyságrenden belül állandó, a ppm tartományba eső érzékenységgel. Különleges előnye, hogy rendkívül kis mintamennyiség, oldatok esetén például néhány mikroliter anyag is elegendő az analízishez. Éppen ezért különösen jól alkalmazható biológiai, biokémiai, orvosi mintáknál, ahol gyakran csak nagyon kevés minta áll rendelkezésre³. A PIXE- és az XRF-módszerek általában nem versengenek, hanem inkább jól kiegészítik egymást, bizonyos esetekben pedig éppen a kombinálásuk vezet az analitikai probléma megoldásához.

A PIXE-módszernek az a fontos tulajdonsága, hogy a röntgensugárkeltési hatáskeresztmetszet a céltárgyatomok rendszámának sima függvénye (ami azt jelenti, hogy két közeli elemre a módszer érzékenysége hasonló), a nyomelem-analízis esetén kimondottan előnyös. A módszer hatékonyságát viszont rontja, hogy a nehezebb elemekre a hatáskeresztmetszet (és így az érzékenység) egyre csökken (lásd az 1. ábrát!). Ezt a csökkenést a protonok energiájának és (vagy) a protonáramnak a megnövelésével csak kis mértékben lehet kompenzálni. De könnyen roncsolódó mintáknál, vagy olyan elemek mérésénél, melyek könnyen elpárologhatnak a bombázás hatására (pl. Se mérésénél szárított vérmintában) még ez az ut sem járható. Ugyanakkor vannak olyan analitikai problémák is, ahol ez az egyenletes érzékenység kifejezetten hátrányos.

Ilyen esettel állunk szemben akkor, amikor a minta valamelyik fő összetevőjéhez rendszámában közeli, de csak nyomnyi mennyiségben jelenlévő elemet kellene mérni. A közeli azonos röntgenkeltési hatáskeresztmetszetek miatt azzal a nehézséggel kerülünk szembe, hogy egy óriási csucs tövében kellene egy 4-5

nagyságrenddel kisebb csucs intenzitását pontosan megmérni. Ilyen probléma adódhat például akkor, ha kevés krómot akarunk vasban, vagy nyomnyi vasat rézben meghatározni. De olyan esetek is lehetnek, amikor a fő komponenstől eredő egyik csucs a detektor felbontóképességén belül energiában egybeesik a mérni kívánt kis csucssal (pl. a 8,50 keV-es Au L_1 vonal a 8,63 keV energiájú Zn K_α vonallal, ha aranyban kell cinkszennyezést mérni, vagy a Cu K_α csucshoz tartozó 6,31 keV energiájú kiszökési csucs és a 6,40 keV energiájú Fe K_α csucs, ha nyomnyi vasat akarunk rézben kimutatni). Ezekben az esetekben az lenne a jó,



1. ábra

A karakterisztikus röntgensugárzás keltési hatáskeresztmetszetének függése a minta atomjainak rendszámától 2 MeV energiájú γ -sugarak esetében.

Зависимость характерного рентгеновского сечения от атомного номера образца при энергии протонов 2 МэВ и γ -излучения 20 кэВ.

X-ray production cross section vs. atomic number of the sample atoms obtained by 2 MeV proton bombardment and 20 keV γ -ray irradiation.

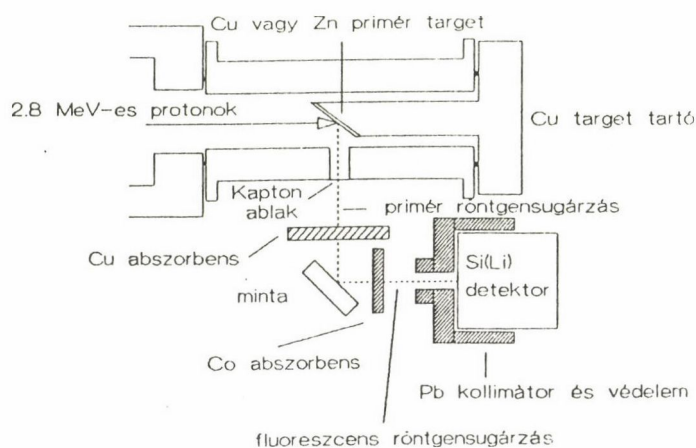
ha olyan módszerünk lenne, mely szelektív gerjesztésre képes. Az XRF-spektroszkópia rendelkezik ezzel a tulajdonsággal, mivel ennél a módszernél a minta atomjait röntgen- vagy γ -sugárzás (primér sugárzás) ionizálja. Ennek a folyamatnak a hatáskeresztmetszete egészen másképp függ a céltárgyatomok rendszámától. A különbség jól látható az 1. ábrán. XRF esetében az ionizáció és így a karakterisztikus röntgensugárzás keltésének valószínűsége annál nagyobb, minél közelebb van a gerjesztéshez használt elektromágneses sugárzás energiája a kérdéses atom abszorpciós éléhez, azaz az ionizálandó elektronhéj kötési energiájához. A gerjesztő sugárzás energiája természetesen mindig nagyobb kell, hogy legyen, mint ez az abszorpciós él, ellenkező esetben az ionizáció nem következik be. Látszik tehát, hogy alkalmas gerjesztő energia megválasztásával elvileg elérhető, hogy a nehezebb elemek (pl. a Se) karakterisztikus röntgensugárzása erősebb legyen, de az is, hogy akár két szomszédos elem közül csak a kisebb rendszámú ionizálódjon.

A gyakorlati megvalósítás már nem ilyen egyszerű. A leggyakrabban használt röntgensöves technikánál általában nincs mód a primér röntgenenergia változtatására, a másik fő módszert jelentő radioizotópos gerjesztés esetében pedig csak néhány, a gyakorlatban jól használható forrás áll rendelkezésre meghatározott energiákkal (^{55}Fe (5,9 keV), ^{109}Cd (22,1 keV), ^{241}Am (59,6 keV) stb.). A legkorszerűbb röntgenforrás, a szinkrotron-sugárforrás finoman hangolható, de ez a berendezés rendkívül drága, és csak a világ néhány laboratóriumában elérhető. Egy PIXE-mérőberendezésben azonban a céltárgy könnyen változtatható, adódott tehát a gondolat: a

a röntgenfluoreszcenciát előidéző primér röntgensugárzást alkalmas céltárgy protonokkal való bombázásával állítsuk elő³⁻⁶! A mérési eljárásra az irodalomban különböző rövidítésekkel hivatkoznak, ebben a dolgozatban az általunk javasolt PIXRF elnevezést használjuk.

KÍSÉRLETI RÉSZ

A kísérleti megvalósítás egyszerű, az általunk használt mérési elrendezés vázlatos rajza a 2. ábrán látható. A szokásos PIXE mérőkamránk² hátlapját lezáró "nyalábstopper" helyére egy tiszta alumíniumból készült toldalékot szereltünk.



2. ábra

A kísérleti elrendezés vázlatos rajza

Схематический рисунок экспериментальной установки

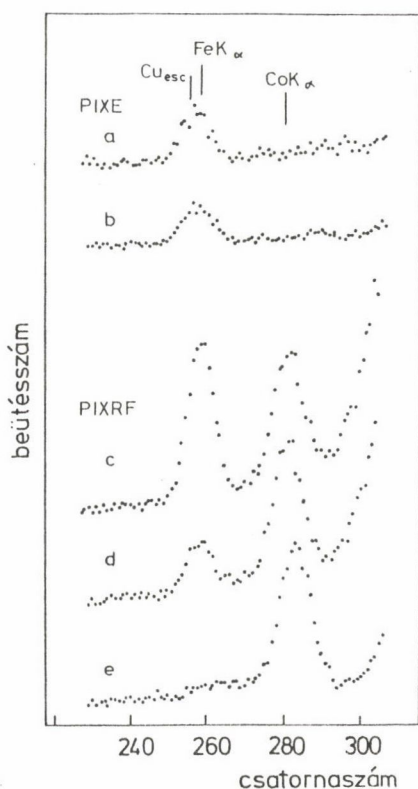
Scheme of the experimental setup

A toldalék lényegében egy henger alakú cső, melynek 10 mm vastag falába közepén, a hengerpálcára merőlegesen, 5 mm átmérőjű lyukat furtunk. A lyukat 7,5 μm vastag Kaptón fóliával fedtük be vákuumbiztos kétkomponensű ragasztóval. A hengert vörösrézről készült dugó zárta le, a dugóba becsavart (és így cserélhető) vörösréz rud 45°-os szögben elmetsett felületére erősítettük a primér céltárgyat. A kb. 3 mm átmérőjű protonnyaláb méretét és helyzetét egy 2 mm átmérőjű tantállal borított vas-kollimátor határozta meg. A keletkezett karakterisztikus röntgensugárzás a Kaptón ablakon keresztül, vízszintes irányban jutott ki a kamrából. A mintákat plexiből készült mintatartóra (az ábrán nincs feltüntetve) helyeztük úgy, hogy azok szintén 45°-os szögben zárjanak be a primér sugárzás irányával. A plexi mintatartó egyben a geometriát is rögzítette. A protonnyaláb és a minta távolsága 45 mm, a minta és a detektor távolsága pedig 50 mm volt. A mintában keltett szekunder sugárzást függőleges geometriájú, Canberra (USA) gyártmányú Si(Li) detektorral mértük. (Az ábra a rajzi egyszerűsítés miatt mutat csak vízszintes detektort.) A detektort 5 mm vastag ólomból készült "sapkával" védtük meg azoktól az esetlegesen keletkező zavaró röntgensugaraktól, melyek a nyaláb-kollimátortól vagy a kamra falától származhatnak. A detektor homokfelületén kialakított, 5 mm furatu kollimátor azt is biztosította, hogy a detektor lényegében csak a primér sugárzás által "megvilágított" mintafelületet "lássa". (A mérésekhez 2,8 MeV energiájú és 1,5 μA áramerősségű protonnyalábot használtunk. A vörösréz targettartó hőkapacitása elegendő nagy bizonyult ahhoz, hogy a céltárgy minden külön hűtés nélkül se melegedjen túl.)

A toldalék lényegében egy henger alakú cső, melynek 10 mm vastag falába közepén, a hengerpálcára merőlegesen, 5 mm átmérőjű lyukat furtunk. A lyukat 7,5 μm vastag Kaptón fóliával fedtük be vákuumbiztos kétkomponensű ragasztóval. A hengert vörösrézről készült dugó zárta le, a dugóba becsavart (és így cserélhető) vörösréz rud 45°-os szögben elmetsett felületére erősítettük a primér céltárgyat. A kb. 3 mm átmérőjű protonnyaláb méretét és helyzetét egy 2 mm átmérőjű tantállal borított vas-kollimátor határozta meg. A ke-

MÉRÉSEK ÉS EREDMÉNYEK

A PIXE-gerjesztéses XRF módszert és magát a mérőrendszerünket a már korábban említett Cu-Fe probléma esetére próbáltuk ki. A mintákat, melyeket a KFKI SZFKI munkatársaitól kaptuk, 99,999 at% tisztaságu rézből és 99,99 at% tisztaságu vasból indukciós kemencében olvasztották össze. Az alapötvetből fokozatos higitással állították elő az öt, különféle vastartalmu mintát. A minták végső formájukat (5 x 20 mm² területű és kb. 20 μm vastag fóliák) hengerléssel kapták. A minták vastartalmát lángfotometriával és atomabszorpciós



3. ábra

114, illetve 545 ppm Fe tartalmu minta közvetlen PIXE-spektruma (a és b görbe): az 545 és 114 ppm Fe tartalmu, illetve spektroszkópiailag tisztaságu Cu minták PIXRF spektruma Cu elsődleges target és egy Co abszorbens esetében (c, d és e görbe).

(a,b) Непосредственный спектр PIXE, снятый для образцов, содержащих соответственно 114 ppm и 545 ppm Fe; (c-e) спектр PIXRF для образцов, содержащих 545 ppm и 114 ppm Fe, и образца спектроскопической чистоты при использовании первоначального таргета Cu с одним абсорбером Co толщиной 5 мкм, расположенным перед детектором

(a,b) Direct PIXE spectra of samples containing 114 ppm and 545 ppm Fe, respectively; (c-e) PIXRF spectra of samples containing 545 ppm and 114 ppm Fe, and a sample of spectroscopic purity, using Cu primary target with one Co absorber of 5 μm thickness in front of the detector

spektrometriával mérték, és az 1-től 5-ig számozott minták vastartalmára rendre 114, 200, 273, 455 és 545 at ppm értéket kaptak. A koncentráció relatív hibáját 15% nagyságúra becsülték⁷.

A szokásos PIXE-mérés nehézségei jól láthatók a 3. ábra két felső görbéjén, melyek a 114 ppm vastartalmu 1. számú minta (a görbe) és az 545 ppm vastartalmu 5. minta (b görbe) közvetlen protonbombázásával kapott röntgenspektrumok kinagyított részleteit mutatják. Mindkét spektrumban lényegében azonos nagyságu csucs található a 260. csatorna környékén. Az energiakalibráció szerint a Fe K_α csucsának körülbelül ezen a helyen kell lennie, de mivel a detektorunk felbontóképessége nem elegendő ahhoz, hogy az esetleges Fe K_α kiszökési csucsától szétválassza, a szóban forgó kis csucs ennek a kiszökési csucsnak és a Fe K_α csucsnak az összege kell, hogy legyen. A két spektrum összehasonlításából azonnal látszik, hogy e csucskok döntő összetevője a kiszökési csucs, hiszen intenzitásuk egyáltalán nem tükrözi a vastartalom közötti kb. ötszörös eltérést. Ez az eredmény egyáltalán nem meglepő, ha figyelembe vesszük, hogy a kiszökés valószínűsége kb. 0,2%¹, míg a vaskoncentráció még az 5. minta esetében is csak 0,055%. Világos, hogy a Fe csucs mérésére csak akkor van remény, ha a "szülő" csucstól, és azzal együtt a kiszökési csucstól is, meg tudunk szabadulni.

Szelektív XRF-gerjesztést olyan röntgensugarak okozhatnak, melyek E_R energiája eleget tesz a $7,112 \text{ keV} < E_R < 8,979 \text{ keV}$ feltételnek, azaz energiája nagyobb, mint a Fe, de kisebb, mint a Cu abszorpciós éle. A Ni és Cu K sugárzása és a Zn K_α sugárzása megfelel ennek a feltételnek. A röntgenfluoreszcencia-spektrumban azonban mindig megjelenik a rugalmasan, illetve rugalmatlanul visszaszórt primér sugárzás, mely nyomelem-analizisnél rendszerint a legintenzívebb csucst produkálja. Méréseinket éppen ezért csak Cu és Zn elsődleges targetekkel végeztük.

A Cu targettel végzett mérésekben $5 \mu\text{m}$ vastag Co fóliából egy vagy két réteget helyeztünk a Si(Li) detektorra, hogy a szórt Cu-sugárzás intenzitását minél jobban lecsökkentsük. Zn target használata esetén a Zn K_α sugárzás ugyan nem, de a Zn K_β vonal már képes a Cu gerjesztésére, ezért ezekben a mérésekben a Kapton ablakra még egy $7 \mu\text{m}$ vastag Cu abszorbenst is elhelyeztünk, mely a Zn K_β sugárzást szelektíven nyelte el. A 3. ábra \underline{c} , \underline{d} , és \underline{e} görbéje rendre az 5. (545 ppm Fe), az 1. (114 ppm Fe) és egy "spektroszkópiai tisztaságúnak" nevezett, az RMKI Plazmafizikai Osztályától kapott Cu minta PIXRF spektrumának számunkra legérdekesebb részletét mutatja Cu elsődleges target és egy Co abszorbens esetében. A \underline{c} és \underline{d} spektrum összehasonlítása világosan mutatja a PIXRF módszer használhatóságát, a Fe csucrok intenzitása és a minták vastartalma láthatóan arányos egymással.

E kvalitatív demonstráláson tulmenően a módszer érzékenységének meghatározásához mennyiségi mérésorozatot végeztünk az elsődleges céltárgy és az abszorbens különböző kombinációival, mind az öt mintán. Az egyes spektrumokból meghatározott csucsterületek és a hozzájuk tartozó háttérértékek összehasonlításával meghatároztuk a minimálisan kimutatható vasmennyiségeket (MDL). Az öt mintára átlagolt értékeket az 1. táblázat foglalja össze. A kimutathatósági

1. táblázat

A különféle kísérleti körülmények között detektálható, legkisebb Fe koncentráció (MDL) (Az 1. abszorbens a Kapton ablak mögötti, a 2. abszorbens pedig a detektor előtti külső abszorbenseket jelenti.)

Минимальный предел обнаружения (MDL) железа в ppm при различных экспериментальных условиях. Абс. 1 является абсорбером, помещенным за окном Каптона, Абс. 2 помещен перед детектором.

The minimum detection limits (MDL) of Fe in ppm in different experimental conditions. (Absz. 1 is the absorber behind the Kapton-foil and Absz. 2 is that in front of the detector.)

Primér target	Absz.1	Absz.2	MDL (ppm)
Cu	nincs	1 Co	11,3 \pm 1,5
Cu	nincs	2 Co	11,8 \pm 1,7
Zn	Cu	1 Co	13,5 \pm 3,1
Zn	Cu	2 Co	15,5 \pm 4,3

határok a megadott hibákon belül tulajdonképpen nem különböznek egymástól, az mindenesetre megállapítható, hogy a legjobb értéket (kb. 11 ppm) a Cu elsődleges target és egy Co abszorbens kombinációja adta. Az így meghatározott, legkisebb kimutatható mennyiség összhangban van a "spektroszkópiai tisztaságúnak" nevezett Cu mintán végzett mérés 8 ± 7 ppm Fe eredményével. Tekintettel arra, hogy a tisztasági fok megnevezésen túl számszerű adatokat nem kaptunk erről a mintáról, azt nem tudtuk eldönteni, hogy vajon ez a mérési hibájával lényegében megegyező mennyiségű vas valóban a mintától származik, vagy pedig a mérőrendszerből származó "háttér". Mivel mérőrendszerünk megépítésénél nem

törekedtünk arra, hogy a gerjesztési-detektálási geometriát erre az adott problémára optimalizáljuk, szorosabb geometriával és hosszabb (vagy intenzívebb) besugárzással ez a kimutathatósági határ minden bizonnyal csökkenthető. De már ezzel az érzékenységgel is a PIXRF módszer nagyon előnyös módszernek bizonyulhat, ha roncsolásmentesen és gyorsan (< 10 perc) kell rézben 10-100 ppm vaskoncentrációt meghatározni.

E kezdeti eredmények tapasztalatainak felhasználásával a jövőben továbbfejlesztjük a mérőberendezés geometriáját, és Zr elsődleges target segítségével metallofehérjék, emberi vér és más testnedves Se-tartalmának mérésére teszünk kísérletet.

A munka részben az 1017. számú OTKA II. szerződés anyagi támogatásával készült.

IRODALOM

1. R. Woldseth, X-ray Energy Spectrometry, Kevex, Burlingame, 1973
2. Keszthelyi L., Varga L., Demeter I., Hollós-Nagy K., Szőkefalvi-Nagy Z. *Anal. Biochem.* 139 (1984) 418
3. L.S. Birks et al., *Appl. Phys.* 35 (1963) 2578
4. T.L. Lin, *Nucl. Instr. Meth.* 151 (1978) 439
5. M. Peisach, *J. Rad. Nucl. Chem.* 110 (1987) 461
6. Le Huen Quynh, Demeter I., Szőkefalvi-Nagy Z., *Nucl. Instr. Meth. B* (nyomdában)
7. Tompa K., Lovas A., Zámbo L., *Phys. Stat. Sol. (b)* 54 (1972) K17

*

Ismertetjük a PIXE-indukált XRF-módszer elvét és főbb tulajdonságait a kísérleti mérőberendezés részleteivel együtt. Beszámolunk tiszta réz mátrixban lévő nyomnyi mennyiségű Fe méréséről. A jelenlegi mérési körülmények között a legkisebb kimutatható Fe koncentráció értékére kb. 10 ppm értéket kaptunk.

МЕТОД РЕНТГЕНОВСКОЙ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ, ИНДУЦИРОВАННОЙ PIXE, И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
Сёкефалви-Надь, З., Деметер, И., Ле Хуонг Квинх

Работа знакомит с принципами и основными экспериментальными деталями метода рентгеновской флюоресценции, индуцированной PIXE. Даны результаты измерения следов железа в чистой матричной системе меди. Минимальный предел обнаружения для железа в наших экспериментальных условиях составляет 10 ppm.

PIXE INDUCED XRF AND ITS APPLICATIONS
Szőkefalvi-Nagy Z., Demeter I., Le Huong Quynh

The principle of the PIXE induced XRF method and its main features are described. Details of the experimental setup is also given. Measurements of trace amounts of Fe in pure Cu matrix are reported. The minimum detection limit for Fe was found to be about 10 ppm in our experimental conditions.

ENERGIADISZPERZÍV RÖNTGENEMISSZIÓS ANALITIKA ALKALMAZÁSA BIOLÓGIAI ÉS GEOLÓGIAI MINTÁK ELEMÖSSZETÉTELÉNEK A MEGHATÁROZÁSÁRA

Uzonyi Imre

Az MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen, Bem tér 18/c., 4001

BEVEZETÉS

Az energiadisziperzív röntgenemissziós analitika (ED. REA) napjainkban egyike a legszélesebb körben alkalmazott roncsolásmentes elemanalitikai eljárásoknak. Jól ismert előnyös tulajdonságai miatt (sokelemes jelleg, alacsony detektálási határérték, egyszerű mintaelőkészítés stb.) biológiai és geológiai minták vizsgálatára is egyre elterjedtebben használják¹⁻⁶. Metodikai szempontból a biológiai és a geológiai minták analízise számos hasonlóságot mutat. Mindkét esetben kis rendszámú elemekből (Z<11) felépülő mátrixban kell a biológiai és geológiai szempontból érdekes, közepes és nagyobb rendszámú - a spektrométer analitikai tartományába eső - elemeket meghatározni. További hasonlóság, hogy a néhány közepes rendszámú és százalék körüli koncentrációban jelen lévő fő alkotó (P, S, Cl, K, Ca biológiai minta, Al, Si, Ca, Fe talajminta) mellett igen nagy számban található ppm vagy az alatti szinten is nyomelemek, és legtöbbször éppen ezeknek a kvantitatív mérésére van igény^{1,5}.

A jelen cikkben arra a kérdésre keressük a választ, hogy az ED. REA milyen lehetőségeket nyújt, illetve milyen korlátokat szab a biológiai és a geológiai minták elemanalitikai vizsgálatában, pontosítva, milyen detektálási határértékek (LOD, Limit of Detection) érhetőek el a rendszám függvényében, röntgensugárzással való gerjesztés esetében. A releváns spektrumkiértékelési és koncentrációmeghatározási módszerekkel kapcsolatban a bőségesen rendelkezésre álló szakirodalomra utalunk⁷⁻¹⁰.

A detektálási határértékeket - optimalizált mérési elrendezés mellett - döntő mértékben a gerjesztő röntgensugárzás spektrális eloszlása és annak intenzitása befolyásolja. Mind az érzékenység növelése, mind a mérési idő csökkentése nagy intenzitású, a vizsgálandó elemek gerjesztéséhez optimális spektrális eloszlású röntgensugárforrásokat igényel, mely követelményeket a röntgensugárzó berendezések elégítik ki a legjobban. Sajnos, ezek még nem terjedtek el hazánkban magas áruk miatt, így a legtöbb laboratóriumban (a miénkben is) a "kereskedelmi forgalomban" beszerezhető néhány radioizotóp forrás (⁵⁵Fe, ⁵⁷Co, ¹⁰⁹Cd, ¹²⁵I, ²⁴¹Am stb.)¹¹ használatára vagyunk utalva. A nyomelem-analitikai célra alkalmazható izotópforrások száma azonban még a beszerezhető körétől is kisebb. A primer sugárzástól származó Compton- és Rayleigh-csúcsoknak ugyanis elegendően távol kell lenniük a kis intenzitású karakterisztikus csúcsoktól, hogy ne okozzanak számottevő háttérnövekedést az utóbbi-

ak alatt, illetve ne fedjék el azokat (például, az ^{241}Am L-szériája, többek között az As, Se, Br, Mo K-, valamint az Au, Hg, Pb L-vonalainak kimutatását megnehezíti). A fentiek miatt a detektálási határértékek vizsgálatát a laboratóriumunkban meglévő és közel monoenergetikus spektrumu ^{55}Fe , ^{109}Cd és ^{125}I források körére szűkítettük.

MÉRÉSI ELRENDEZÉS

A mérőrendszer egy ATOMKI gyártmányu, a Mn K_{α} (5,9 keV) vonalánál FWHM = 165 eV (FWHM: Full Width at Half Maximum) felbontó képességű, SiLi röntgenspektrométerből és ehhez kapcsolódó, szintén ATOMKI fejlesztésű, NZ-870 analóg jelfeldolgozóból állt. A spektrométer berilliumablakának vastagsága 25 μm . A röntgenspektrumokat Canberra S 35 PLUS sokcsatornás analizátorral gyűjtöttük, kiértékelésükre, valamint a további numerikus számításra az analizátorral online kapcsolatban lévő, IBM AT kompatibilis személyi számítógépet használtunk.

A detektálási határértékek meghatározására az ismert összetételű H-8 (standard állati veseszövet) és SOIL-7 talajstandardot alkalmaztuk. Méréshez a mintákból $\varnothing 10$ mm és 200 mg tömegű tablettákat préseltünk, kb. 500 MPa nyomáson, hidraulikus préssel. A mintákat gyűrű alakú ^{55}Fe (1,2 GBq), ^{109}Cd (80 MBq) és ^{125}I (53 MBq) radioizotóp forrásokkal gerjesztettük. ^{55}Fe -gerjesztés esetében a mérést vákuumban (kb. 100 Pa) végeztük. A ^{125}I izotópot speciálisan kiképzett, alumíniummal borított vasból, a ^{109}Cd -t ólomból készült forrástartóba helyeztük, melyek nagy tisztaságu, $\varnothing 8$ mm-es Al-kollimátorral voltak ellátva. A mérési időt a statisztikus hibák csökkentése végett kellően nagyra választottuk. A ^{55}Fe forrás esetében 3600 s-ot, a ^{109}Cd és ^{125}I alkalmazásakor a H-8 biológiai mintára 25 000 s-ot, a SOIL-7 talajstandardra 20 000 s-ot mértünk (1. ábra).

A DETEKTÁLÁSI HATÁRÉRTÉKEK

A detektálási határértékeket - a 95%-os statisztikai biztonsággal mérhető elemkoncentrációt - az ismert összefüggés^{8,9} alapján határoztuk meg.

$$\text{LOD} = 3N_b^{1/2} / S \quad (1)$$

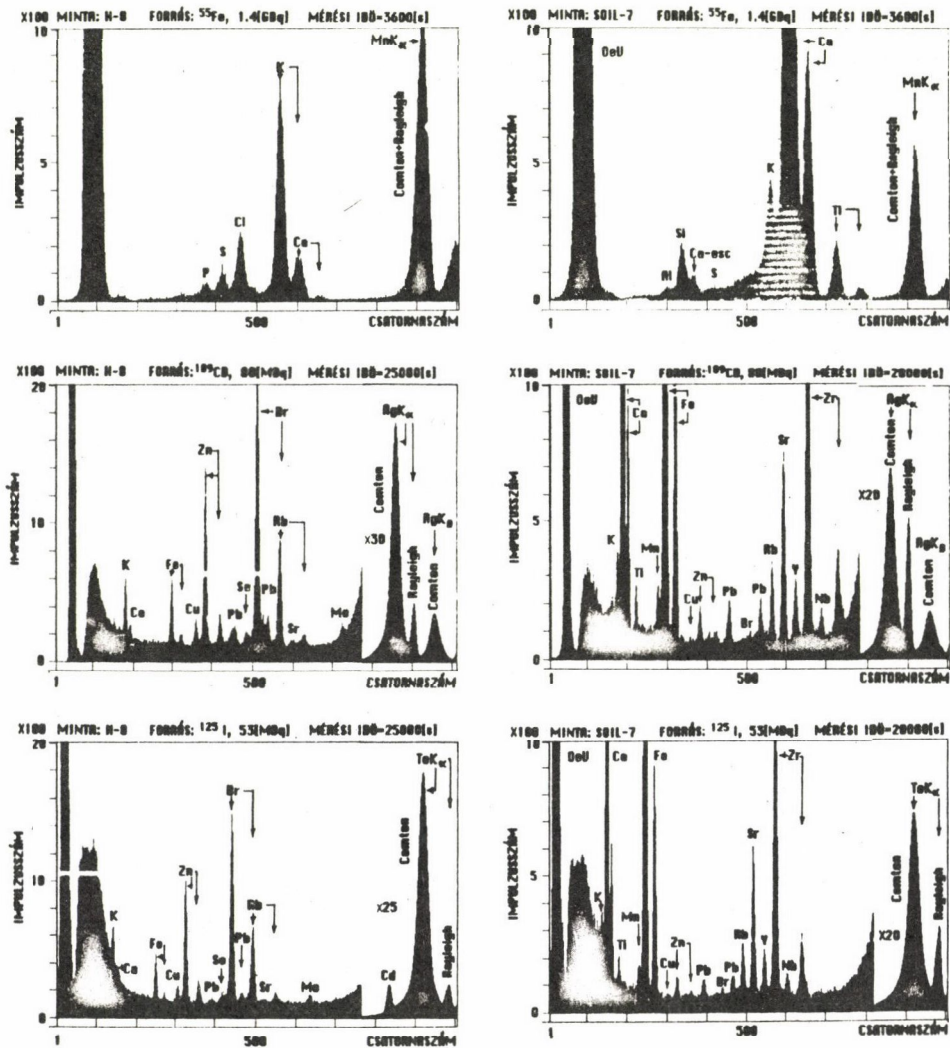
ahol N_b az analitikai vonal alatti háttér, S az adott mérési körülmények melletti érzékenységet jelöli. Az utóbbi egyenlő a karakterisztikus csucs alatti terület és az elem koncentrációjának hányadosával. Mind az érzékenység, mind az analitikai vonal alatti háttér értéke (igy a LOD is) általánosan igen sok tényező függvénye: függ a mérendő elem rendszámától, a detektálandó analitikai vonal típusától (melyik sorozat melyik vonala), a mátrix összetételétől, a primer sugárzás energiájától, a mérési feltételektől, a minta tömegétől, továbbá a mérési idő (T) és az izotópforrás aktivitásának (A) a szorza-

tától is. Amint az könnyen belátható,

$$\text{LOD} \sim 1 / (\text{AT})^{\frac{1}{2}}$$

(2)

mivel mind $N_b \sim \text{AT}$, mind $S \sim \text{AT}$. Ebből következően azonos AT értékek mellett a különböző izotópforrásokkal mért LOD értékek összehasonlíthatókká válnak, kiválasztható, hogy melyik a legalkalmasabb közülük egy-egy elem vagy elemcsoport gerjesztésére, figyelembe véve a rendelkezésre álló mérési időt és a források aktivitását.



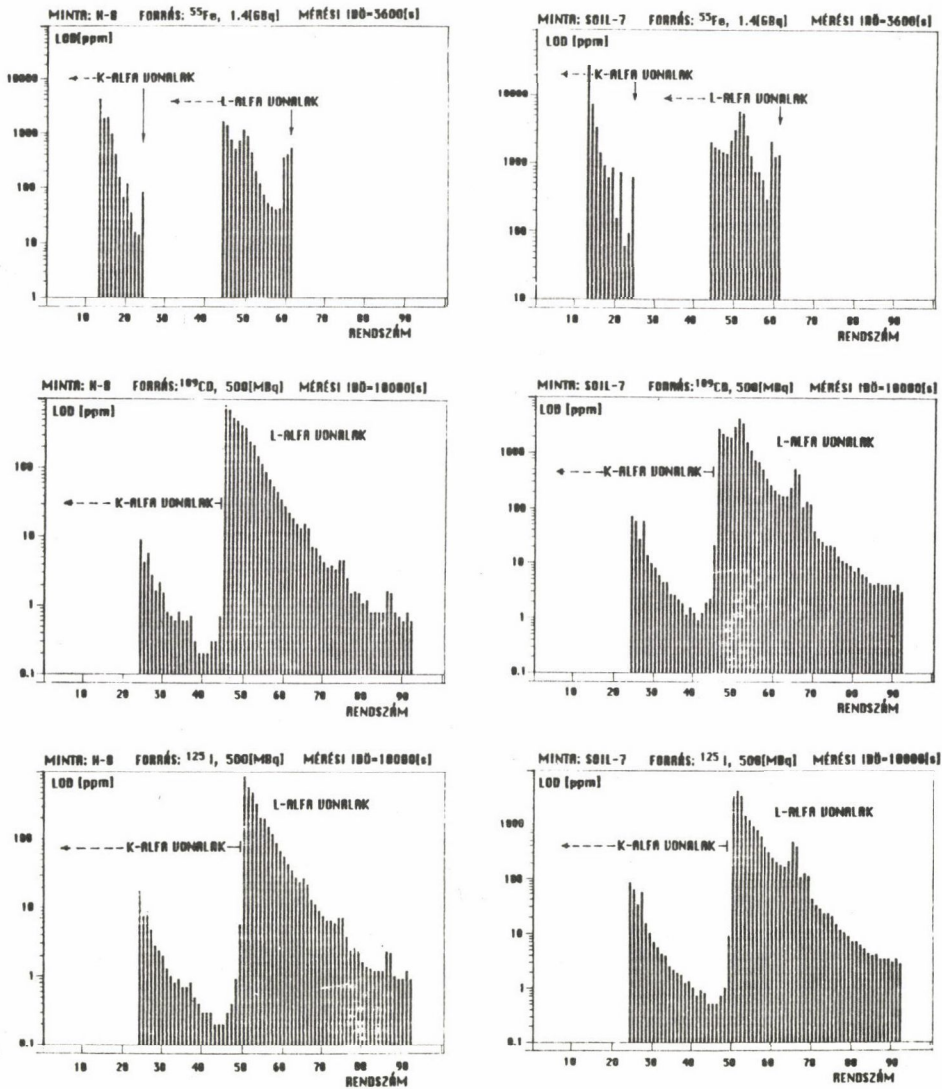
1. ábra

A H-8 standard állati veseszövet és a SOIL-7 talajstandard röntgenspektruma

Рентгеноспектры стандартной животинской почечной ткани H-8 и почвенного стандарта SOIL-7

X-ray spectra of the H-8 animal kidney and the SOIL-7 soil standards

Az LOD elemi összetételétől való függése miatt csak reprezentatívnak tekinthető értékek meghatározására van lehetőség, amivel az említett H-8 és SOIL-7 standardokat választottuk. Felmerül azonban még egy további probléma: a tömegtől való függés is. Mivel a telítési mintavastagság erősen függ a mérendő karakterisztikus vonal energiájától, emiatt elemenként és vonalanként különböző mintavastagság lenne az optimális. Figyelembe kell venni, hogy növekvő mintavastagsággal nő a mintáról visszaszórt primer sugárzás intenzitása, míg a kis energiás vonalaké gyorsan telítésbe jut, ami az LOD növekedéséhez vezet, ezeknél az elemeknél. A mintavastagság sem csökkenthető azonban tet-



2. ábra

A H-8 standard állati veseszövetre és a SOIL-7 talajstandardra vonatkozó detektálási határértékek a rendszám függvényében

Граничные значения детектирования почвенного стандарта SOIL-7 и стандартных животинских тканей H-8 в зависимости от атомного номера

Limit of detection (LOD) values as a function of the atomic number for the H-8 animal kidney and the SOIL-7 soil standards

szőlegesen, részben, mivel a mérendő tablettá mechanikai szilárdsága romlik (a tablettá törékennyé válhat), részben, mivel a nagyobb energiájú vonalak intenzitása is lecsökken, ami ezeknél az elemeknél növeli az LOD-t.

A SOIL-7 és a H-8 mintákra vonatkozó detektálási határértékeket a 2. ábrán tüntettük fel, az analitikai célra leggyakrabban használt K_{α} , illetve a nagyobb rendszámú elemek esetében, ahol a K-széria nem gerjeszthető az alkalmazott izotópokkal, L_{α} vonalakra. A közvetlen mérési eredményeket (2) alapján, az összehasonlíthatóság érdekében, úgy normáltuk, hogy az AT szorzatok megegyezzenek. A háttér értékét a karakterisztikus csúcs sulyvonalára szimmetrikusan felvett kb. 1,8 FWHM szélességű energiaablakban mértük¹². Azon elemekre, amelyek a mintában nem voltak jelen, vagy a vonalintenzitásuk nem volt mérhető, az érzékenységet valamelyik szomszédos vonal alapján számítottuk ki, a mátrixeffektusnak az alapvető paraméterek módszerével végzett figyelembe vételével^{8,12}.

MEGVITATÁS

A 2. ábra alapján látható, hogy a detektálási határértékek a rendszám függvényében mind a három izotópforrás esetében nagyságrendeket változnak. Tendenciájában a rendszám növekedésével az LOD csökken, a legkisebb értéket a K_{α} vonalakra éri el, a H-8 minta esetében néhány tized ppm SOIL-7 esetén 1 ppm körüli szinten. A monoton csökkenést megtörő kiugrások részben csúcsátfedésnek a következményei (pl. a H-8 minta esetében a Ca K_{α} vonal az intenzív K K_{β} vonalon ül), részben az érzékenység csökkenésének tulajdoníthatók. Az érzékenység ugrásszerű csökkenése azon elemeknél következik be, amelyek K-, illetve L-héját a primer röntgensugárzás K_{α} -vonalai már nem tudják gerjeszteni, csak a K_{β} -vonalai. Ez figyelhető meg a ^{55}Fe izotóppal való gerjesztésnél a Cr K_{α} , valamint a Pr L_{α} esetében, ahol a K_{α} vonalak alapján Cr-ig, az L_{α} alapján Pm-ig detektálhatók az elemek. A ^{109}Cd és a ^{125}I forrásokkal minden elemnek vagy a K-, vagy az L-szériáját gerjeszthetjük. A kisebb rendszámú elemek felé haladva (S, P, Si, ...) a detektálási határértékek több, egy irányba ható tényező hatása miatt növekednek. Rohamosan csökken ugyanis a detektor hatásfoka, főleg a berilliumablak kisebb energiák irányában megnövekvő abszorpciója miatt, csökken továbbá mind a fluoreszcencia-hatásfok, mind a K-héj ionizációjának valószínűsége, a mátrixabszorpció pedig nő. A talaj és a biológiai minta detektálási határértékeiben mutatkozó 4-6-szoros eltérés is a mátrixabszorpció jelentős hatását mutatja. A ^{109}Cd és a ^{125}I források vonatkozásában a ^{109}Cd a rendszámtól függően 5-40%-os relatív javulást eredményez (a kisebb rendszámú elemeknél nagyobbat). Meg kell említeni azonban, hogy a ^{109}Cd nagy áthatoló képességű, 88 keV-es vonalának a leárnyékolására alkalmazott ólom forrástartó a spektrumban intenzív Pb L-vonalakat hoz létre (1. ábra), ami az ólom ppm szintű mérését megnehezíti.

A detektálási küszöbök a 2. ábrán felüntetett értékek és a (2) összefüg-

gés alapján tetszőleges aktivitású forrásra és mérési időtartamra meghatározhatók. A mérésekre rendelkezésre álló idő korlátozott volta miatt azonban lényegesen jobb LOD értékek gyakorlatilag nem érhetők el az említett mérés technikai feltételek mellett. Az esetek nagy részében ez problémát nem okoz, de emlithetők olyan feladatok is, amelyeknél lényegesen kisebb koncentráció mérésére lenne szükség. Például biológiai minták esetében a Na, Mg, As, Se, Hg kvantitatív analiziséhez egy-két nagyságrendnyi javulás is kívánatos lenne.

Az előzőek alapján a detektálási határértékek számottevő csökkenését a radioizotóp-források helyett intenzív (a visszaszórt primer sugárzás intenzitásának csökkentése végett polarizált) nyalábu, röntgensöves gerjesztéstől várhatjuk. A kis rendszámú elemek detektálására további lehetőség is megnyílt a "kvantumablak" kifejlesztésével¹³, ahol eddig a berilliumablak nagymértékű abszorpciója akadályozta, illetve lehetetlenné tette a mérést. Alkalmazásától nagyságrendnyi javulás várható a detektálási határértékekben, az 1 keV körüli energiáknál (Na, Mg, Al) és a spektrométer analitikai tartománya egészen a szénig kiterjeszthető.

IRODALOM

1. G.V. Iyengar, W.E. Kollmer, H.J.M. Bowen, The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids, Verlag, Chemie, Weinheim, 1978
2. Bacsó J., Lusztig G., Pál A., Uzonyi I., Exp. Pathol. 29 (1986) 119
3. Bacsó J. Uzonyi I., Dezső B., Appl. Radiat. Isot. 39 (1988) 323
4. M. Lankovs, D. Wegrzynek, M. Rybinska-Gracek, A. Marcumut, Appl. Radiat. Isot. 37 (1986) 1205
5. P.G. Burkhalter, Anal. Chem. 43 (1971) 10
6. Z.H. Kalman, L. Heller, Anal. Chem. 34 (1962) 947
7. E.P. Bertin, Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, Plenum Press, New York, 1975
8. R. Tertian, F. Claisse, Principles of Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis, Heyden, London, 1982
9. R. Jenkins, R.W. Gould, D. Gedcke, Quantitative X-Ray Spectrometry, Marcel Dekker, New York, 1981
10. A Markowicz, R.E. Van Grieken, Anal. Chem. 60 (1988) 28R
11. F.P. Sowby, Radionuclide Transformations, ICRP Publications 38, Pergamon Press, Oxford, 1983
12. Uzonyi I., Egyetemi doktori értekezés, Debrecen, 1986
13. G. Aden, D. Isaacs, Research & Development 29 (1987) 85

Detektálási határértékeket közlünk a periódusos rendszer elemeire. Gerjesztésre ^{55}Fe , ^{109}Cd és ^{125}I gyűrii alakú radioizotóp forrásokat alkalmaztunk. Kvalitatíve értelmezzük az eredményeket, és vázoljuk a detektálási határértékek javításának néhány lehetőségét.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭНЕРГО-ДИСПЕРСИВНОГО РЕНТГЕНОЭМИССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОГО СОСТАВА БИОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ
Узони, И.

Определялись границы детектирования элементов. Для возбуждения характеристического излучения элементов использовались источники ^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{125}I . Результаты оцениваются качественно и очерчиваются некоторые возможности улучшения детектирования.

ENERGY-DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS FOR THE MEASUREMENT OF ELEMENTAL COMPOSITION OF BIOLOGICAL AND GEOLOGICAL SAMPLES
Uzonyi, I.

Limit of detection values are reported for the elements of the periodic table. The samples were excited by ^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{125}I annual radioisotope sources. The results are interpreted qualitatively and the possibilities available for the improvement of the limit of detection values are outlined.

KATALIZÁTOROK RITKAFÖLDFÉM-TARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Csikósné Hartyáni Zsuzsanna*, Mándy Tamás**

*Veszprémi Vegyipari Egyetem, Ásványtani Tanszék, Veszprém

**Szénhidrogénipari Kutató-Fejlesztő Intézet, Százhalombatta

BEVEZETÉS

A ritkaföldfémek a fluidizációs krakkoló katalizátorok fontos komponensei. Hagyományosan amorf alumínium-szilikát katalizátorokat alkalmaztak, később azonban, 1964-ben, felfedezték, hogy ha zeolitokat építenek be a hagyományos amorf mátrixba, az jelentősen megnöveli a katalizátorok teljesítőképességét. A ritkaföldfémek szerepe - amelyeket ioncsere formájában visznek be a zeolitfázisba - közvetett. Önmagukban nincs katalitikus szerepük, viszont növelik a zeolitrács hidrotermikus és termikus stabilitását, mechanikus tulajdonságokat kölcsönöznek a katalizátornak, növelik katalizátormérgekkel szembeni ellenállóképességét, és a krakkolás során kevesebb kokszt és gázt keletkeztet.

A katalizátorok leggyakrabban 40-80 μm átmérőjű golyócskák, amelybe 10-30%-ban 1-5 μm szemcseméretű, többnyire fayaluzit típusú, ioncserélt zeolitot ágyaznak be.

A ritkaföldfém fajtájának nincs elsődleges szerepe. Az ioncserét rendszerint olcsó, monozitból vagy bastnezitből nyert ritkaföldfémoldattal végzik, és ebből az következik, hogy az egyedi ritkaföldfém-meghatározások adataiból következtetni lehet az ásványi forrásra. A gyakorlatban azonban ioncsere előtt a cériumot részben kivonják a rendszerből. Ennek oka az, hogy bár a katalizátorok aktivitása és szelektivitása nem függ a lantanidák egymáshoz viszonyított arányától, stabilitásuk viszont egyenesen arányos a La- és Nd-tartalommal, és fordítottan a Ce-tartalommal.

KÍSÉRLETI RÉSZ

MINTAKÉSZÍTÉS, STANDARDIZÁLÁS

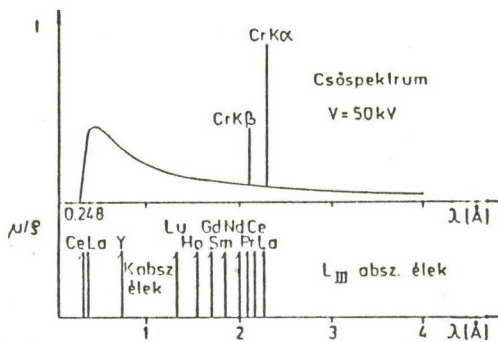
A minőségi és mennyiségi meghatározásokat préselt porpasztillákkal végeztük. A vizsgálandó mintákon kívül olyan, sok komponensű nyomelemstandardot készítettünk tiszta A zeolit felhasználásával, amely a vizsgálandó ritkaföldfémeket 1%-ban, illetve abból higitva 5000 és 1000 ppm koncentrációban tartalmazták.

Megfelelő stabilitású preparátum készítése céljából a 10 μm szemcseméret alá őrölt standardokhoz kötőanyagként 20% bórsavat kevertünk alkoholos homoge-

nizálást alkalmazva, majd 120 mPa nyomással megfelelő szilárdságu, 30 mm átmérőjű, 2 g súlyu pasztillát nyertünk. Ugyanígy jártunk el a krakkoló katalizátorok készítésekor is.

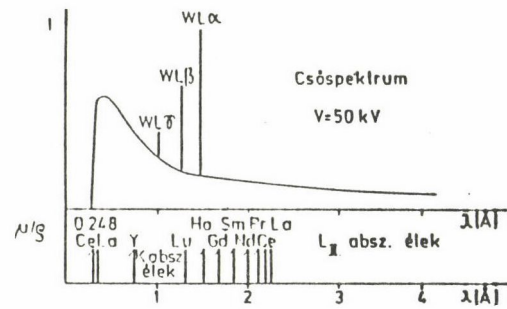
GERJESZTÉS

A méréseket egy Philips PW 1410/20 típusu röntgenscsővel gerjesztett röntgenfluoreszcens spektrométerrel végeztük. Mint ismeretes, a röntgenfotonokkal végzett gerjesztés feltétele az, hogy a sugárforrás nagyobb energiájú röntgenfotonokat tartalmazzon, mint a meghatározandó elem un. abszorpciós éle által meghatározott energia. Az 1. ábrán egy 50 kV-tal gerjesztett, Cr-anódu cső spektrumát és a cső által kibocsátott λ -tartományban a vizsgálandó ritkaföld-fémek néhány (K,L) abszorpciós élét figyelhetjük meg. A 2. ábrán egy W-anódu cső ugyancsak 50 kV-tal gerjesztett spektruma és a rá vonatkozó abszorpciós élek láthatók.



1. ábra

Gerjesztés krómanódu csővel
 Возбуждение трубки с анодом из хрома
 Excitation by a chrome anode tube



2. ábra

Gerjesztés volframanódu csővel
 Возбуждение трубки с анодом из вольфрама
 Excitation by a tungsten anode tube

A Cr K_{β} vonala ($\lambda_{CrK_{\beta}} = 2,085 \text{ \AA}$) a La ($\lambda_{L IIIabs} = 2,273 \text{ \AA}$) és a Ce ($\lambda_{L III} = 2,178 \text{ \AA}$) abszorpciós élének rövid hullámhosszúságu oldalán helyezkedik el, ezen elemek szelektív gerjesztését biztosítva. A folytonos fehér sugárzással eltérő hatásfokkal gerjeszthető a többi elem.

A W cső spektrális vonalai ugyan kedvező helyzetben vannak az L vonalak gerjesztése szempontjából, az anód nagy rendszáma következtében várható magas háttér és a csővonalak interferenciája miatt azonban a Cr anódu cső alkalmazása látszott megfelelőnek.

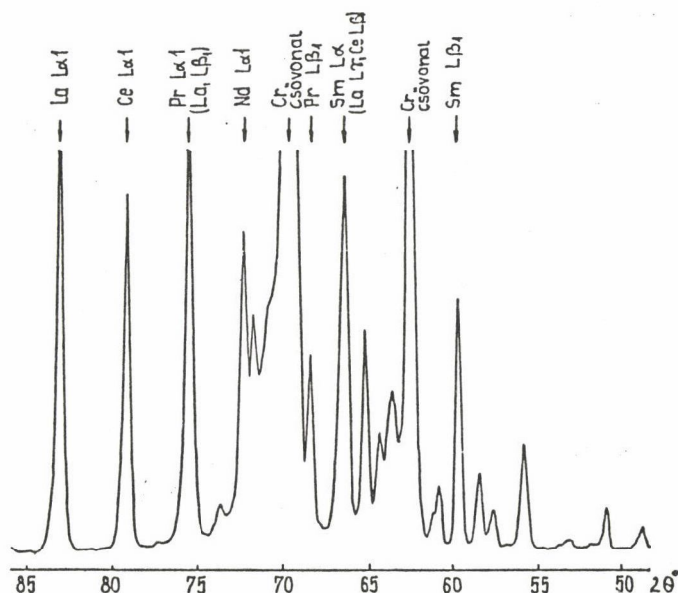
SPEKTRUMFELBONTÁS

A hullámhosszdiszperziv spektrometriában az emittált vonalakat jól definiált sikhálótávolsággal rendelkező, optikai rácsként viselkedő egykristállyal bontjuk összetevőire. A minőségi meghatározás során a vonalas szinkép LiF/200/analizáló kristállyal bontható fel. Az azonos spektrumsorozathoz tartozó hul-

lámhosszak közötti különbség igen csekély, a Bragg-szögben ($2\theta^\circ$) észlelt eltérés viszont az alkalmazott, viszonylag kis síkhálótávolságu ($2d = 4,028 \text{ \AA}$) analizáló kristály jó vonalfelbontása miatt jelentős.

Valamennyi felvételt a levegő abszorpciójának kiküszöbölése céljából vákuumban készítettük, gázáramlásos és szcintillációs számláló együttes alkalmazásával.

A 3. ábrán olyan standardról készített spektrumrészlet látható, amely 1-1%-ban tartalmaz La-t, Ce-t, Pr-t, Nd-t és Sm-t. Ebben a tartományban a szórt csővonalak zavaró vonalként jelennek meg.



3. ábra

Ritkaföldfém standard spektrumrészlete

Часть стандартного спектра редкоземельных металлов

Part of a standard rear earths spectrum

MENNYISÉGI MEGHATÁROZÁS

A katalitikus krakkoló katalizátorokról készített minőségi röntgenspektrumokat kiértékelve megállapítottuk, hogy a mintákban La, Ce, Pr, Nd és Sm fordul elő. Némely esetben Ho-ra és Dy-ra utaló gyenge vonalakat is észleltünk, rendkívül kis becsült koncentrációjuk ($< 0,05\%$) miatt ez azonban az összes ritkaföldfém-tartalmat nem befolyásolja.

A zeolittartalmu katalizátorok fő komponenseinek ismeretében meghatározhatóvá válnak az egyes elemek által emittált vonalak λ -ján a minták abszorpciós viszonyai. A fő komponensek röntgen-mikroanalitikai módszerrel végzett kémiai elemzésének eredményei már a ritkaföldfém-meghatározások előtt rendelkezésünkre álltak. Ilymódon számíthatóvá vált a minták mérendő elemeinek hullámhosszára vonatkozó tömegabszorpciós tényező. A standard és a minta intenzitása csak akkor egyenesen arányos ezek koncentrációjával, ha azonos a mátrix.

Amennyiben nem, úgy az alábbi összefüggést alkalmazva a K arányossági tényező a standard és a minta tömegabszorpciós tényezőjének (μ/ρ) hányadosaként definiálható:

$$\frac{I_{\text{minta},\lambda_i}}{I_{\text{stand.},\lambda_i}} = K \frac{C_{\text{minta}}}{C_{\text{stand.}}} \quad K = \frac{\mu/\rho_{\text{minta},\lambda_i}}{\mu/\rho_{\text{stand.},\lambda_i}}$$

$$\mu/\rho_{\text{átlag},\lambda_{ij}} = \sum_{i=1}^n W_j \frac{\mu}{\rho}_{ij}$$

A j -edik elem tömegabszorpciós tényezője számításának képletében W_j az egyes komponensek tömeghányadát jelenti.

A ritkaföldfémek elemző vonalait és a mérési paramétereket az 1. táblázatban foglaltuk össze, azon vonalakat is feltüntetve, amelyek interferálnak az elemző vonalakkal. Az interferenciát intenzitáskorrekciós faktorok számításával küszöböltük ki.

1. táblázat

Ritkaföldfémek mennyiségi meghatározása során mért vonalak

Линии, измеренные при количественном определении редкоземельных металлов

Lines obtained by quantitative determination of rare earths

Mért vonal	Analiz. kristály.	Számláló	Bragg-szög ($2\theta^\circ$)	Háttér ($2\theta^\circ$)	Interferáló vonal
La L_{α_1}	LiF/200/	szcintillációs + gázáramlásos	82,94	81,0	Rb K_{β}
Ce L_{α_1}	LiF/200/	"	79,06	81,00	
Pr L_{α_1}	LiF/200/	"	75,39	76,30	La L_{β}
Nd L_{α_1}	LiF/200/	"	65,14	66,00	
Sm L_{β_1}	LiF/200/	"	59,54	60,30	

KIMUTATHATÓSÁGI HATÁR

A ritkaföldfémek kimutathatósági határát (LLD) az alábbi képlettel számítottuk:

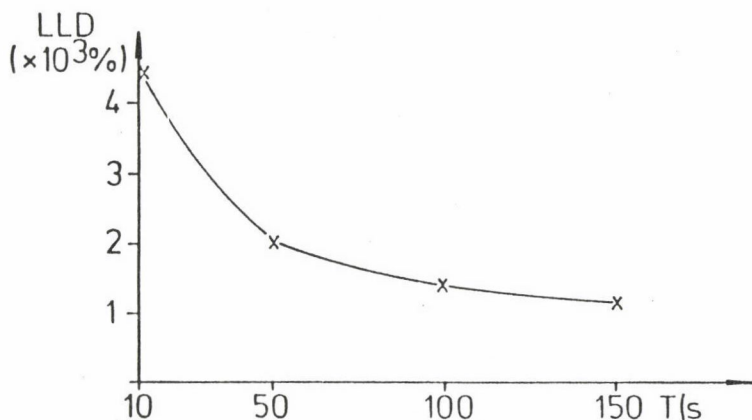
$$LLD = \frac{2 \cdot 2^{\frac{1}{2}}}{m} \left(\frac{I_h}{T} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ahol m a kalibrálógörbe meredeksége (imp/s/ppm), I_h a háttérsugárzás intenzitása (imp/s), T a mérési idő (s).

A kimutathatósági határ a La L_{α} vonalán 100 s mérési idővel az alábbiak szerint számítható:

$$LLD = \frac{2 \cdot 2^{\frac{1}{2}}}{3520} \frac{320}{100} = 0,43 \cdot 10^{-3} \%$$

A kimutathatósági határ adott mátrixnál tehát csupán a mérési idő függvénye. A La kimutathatósági határának mérési időtől való függését a 4. ábrán mutatjuk be. A függvény a zeolit mátrixra vonatkozik.



4. ábra

Lantán kimutathatósági határának változása az idővel

Измерение предели обнаружимости лантана в зависимости от времени

Change of the limit of detection of lanthane as a function of time

van szorítva a La-hoz és Nd-hoz képest. Ez utóbbiak a minta mechanikai stabilitását és élettartamát növelik. Ezen elemzési adatok a katalizátorvásárláshoz szolgáltatnak információt. Felhasználásukkal közvetve eldönthető, hogy az alkalmazandó katalizátor olyan legyen, amely a benzin oktánszámát növeli, vagy olyan, amely a benzinhozamot.

2. táblázat

Krakkoló katalizátorok ritkaföldfém-tartalma

Содержание редких земель в крекинг-катализаторах

Rear earth content of cracking catalysts

Minta	La	Ce	Pr	Nd	Sm	ERFF
1.	0,79	0,62	0,15	0,63	0,07	2,34
2.	1,53	0,92	0,23	1,22	0,12	4,11
3.	0,64	0,16	0,08	0,26	0,01	1,16
4.	0,83	0,20	0,10	0,32	0,01	1,42
5.	0,47	0,80	0,07	0,25	0,004	1,64
6.	1,01	0,60	0,07	0,44	0,0015	2,96

litikai módszer, a fő komponensek meghatározására irányuló röntgenmikroanalitikai módszer pontosságának függvénye.

IRODALOM

1. Pantó Gy., Ritkaföldfémek geokémiája és néhány alkalmazási területe, Doktori értekezés, 1980
2. R. Jenkins, An Introduction to X-ray Spectrometry, Wiley, New York, 1986

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A 2. táblázatban néhány konkrét katalitikus krakkoló katalizátorra vonatkozó konkrét eredmény látható.

A korábbi nézetekkel ellentétben ezen eredményekből nehéz a ritkaföldfém-forrásra visszakövetkeztetni. A 2. táblázat eredményeiből a Ce-tartalom mesterségesen vissza

A ritkaföldfémek mennyiségi meghatározásának pontossága, a standardok reprodukálhatóságát is figyelembe véve, 2-5 relatív %. Az adatok pontosságáról és reprodukálhatóságáról azért nem közlünk adatokat, mert az alkalmazott mátrixhatás-korrektíós módszer egy másik ana-

3. *E.P. Bertin*, Principles and Practice of X-ray Spectrometric Analysis, Plenum Press, New York, 1975
4. *R. Jenkins, R.W. Gould, D. Gedcke*, Quantitative X-ray Spectrometry, Dekker, New York, 1981

*

Katalizátorok ritkaföldfém tartalma meghatározható röntgenfluoreszcens spektrometriás módszerrel. A gerjesztésre, spektrumfelbontásra és detektálásra vonatkozó megfontolásokat ismertetjük. A kalibrációs görbék 0,1%-1% koncentrációban ritkaföldfém-oxidok felhasználásával A zeolitban készültek. A mátrixhatás kiküszöbölése a fő komponensek ismeretében a tömegabszorpciós tényezők számítására épült. A fő komponensek meghatározása röntgenmikropróbas módszerrel történt. Az analízis pontossága 2-5 rel.%.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В КАТАЛИЗАТОРАХ

Чикос Хартяни, Ж., Манди, Т.

Редкоземельные металлы могут быть определены в катализаторах рентгенофлуоресцентной спектроскопией. Обсуждаются условия возбуждения, рассеяния и детектирования. Кривые калибровки были сняты с помощью цеолитовой матрицы А и чистых окислов редкоземельных металлов в диапазоне 0,1-1%. Эффект матрицы был устранен вычислением коэффициентов абсорбции масс в стандартах и в пробах. Метод опирается на измерение главных компонентов методом рентгеномикропроб. Точность анализа - около 2-5 отн. %.

DETERMINATION OF REAR EARTH CONTENT OF CATALYSTS

Csikós Hartyáni, Zs., Mándy, T.

Rear earth elements in catalysts can be determined by wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry. Excitation, dispersion and detection conditions are evaluated. Calibration standards were prepared by using A zeolite matrix and pure rear earth oxides in the concentration range of 0.1 - 1%. The interelement effects were corrected by calculating the mass absorption coefficients in the standards and samples. The method is founded on measuring the main components of the sample with the X-ray microprobe method. The accuracy of the analysis is about 2-5 rel. percents.

ELEKTRON-MIKROSZONDÁS MENNYISÉGI ELEMZÉS: MÓDSZEREK ÉS ALKALMAZÁSOK A GEOKÉMIAI KUTATÓLABORATÓRIUMBAN

Nagy Géza

MTA Geokémiai Kutatólaboratóriuma, Budapest, Budaörsi ut 45, 1112

BEVEZETÉS

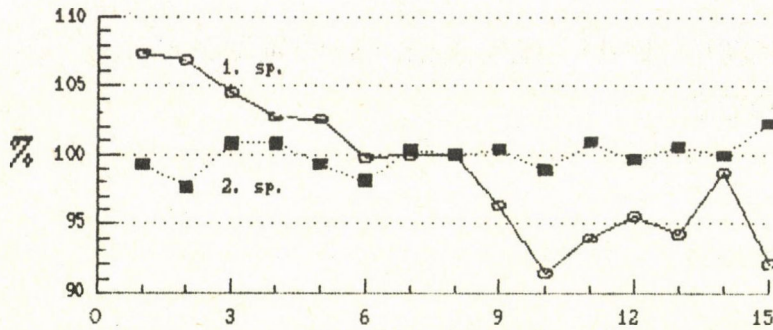
A mikroszkópikus méretek elemzésére szolgáló elektron-mikroszondáról (EMPA) magyarul is több közlemény jelent meg^{1,2}. Itt a mennyiségi elemzésnek a Geokémiai Kutatólaboratóriumban alkalmazott megoldásairól és néhány, földtani, illetve a modern technológiákkal kapcsolatos alkalmazásáról kívánok beszámolni. Mint ismeretes, az EMPA a B-nál (F-nál) nehezebb "fő" összetevők (> 0,1%) meghatározására, pontonkénti teljes elemzésre alkalmas.

A GKL-ban 10 éve működő JCXA-733 (Superprobe) JEOL gyártmányu berendezés eredeti konfigurációja: 3 hullámhosszfelbontó spektrométer (WDS), precíziós mintaasztal, kicsi vezérlő-kiértékelő számítógép (PDP 11/04) speciális programnyelvvvel (JASCAL) és felhasználói programokkal, továbbá kvalitatív elemzésre alkalmas, EDAX gyártmányu energiafelbontó spektrométerrel (EDS). A számítógép a mintamozgatást és a WDS-eket képes vezérelni. Mind a ZAF, mind a Bence-Albee mátrixkorrekcióra kaptunk kész programokat.

A SZOKÁSOS ELEMZÉSI ELJÁRÁS

A JEOL által szállított mérő programok filozófiája a következő. A WDS-eken egymás után valamennyi mérendő elem megfelelő vonalát beállítják (csucskeresés), mérik a csucst és a háttérét a standardokon, majd ugyanezt megismételve mindegyik mérendő ponton. Ez nagyon sok (mechanikus) spektrométer-mozgatást jelent, és jó reprodukálóképességű WDS-eket igényel. Tapasztalatunk szerint nálunk működő JCXA spektrométerek reprodukálóképessége nem rossz - a könnyű elemek mérésére szolgáló 1. spektrum kivételével (1. ábra), de pontosabb eredményeket lehet elérni a következő eljárással.

Csak a standardokon keresünk csucst, majd valamennyi mérendő pont csucsintenzitását változatlan beállítással mérjük. Ezután mérjük a háttérét, majd a megfelelő standardon újabb csucskeresés következik és így tovább. Így a spektrométer reprodukáló képessége kevésbé kritikus, viszont a mérendő pontok ismételt beállítása nagyobb gondosságot igényel. Mérő programjainkat ezen gondolatmenet alapján átírtam³; ezeket használjuk a GKL-ben készült elemzések túlnyomó többségében. Különösen alkalmas homogenitás-inhomogenitás kimutatására, több mérési pont elemzésére, közeli összetételű csoportok elkülönítésére. Más módszer bizonyult alkalmasnak ritkaföldfém-ásványok elemzésére⁴; ezt helyhiány miatt itt nem tárgyalom.



1. ábra

Si relatív intenzitásváltozása WDS-eken, ismételt csúskeresés esetén, a 8. mérésre vonatkoztatva

○ 1. spektrométer: TAP kristály, gázáramlásos számláló

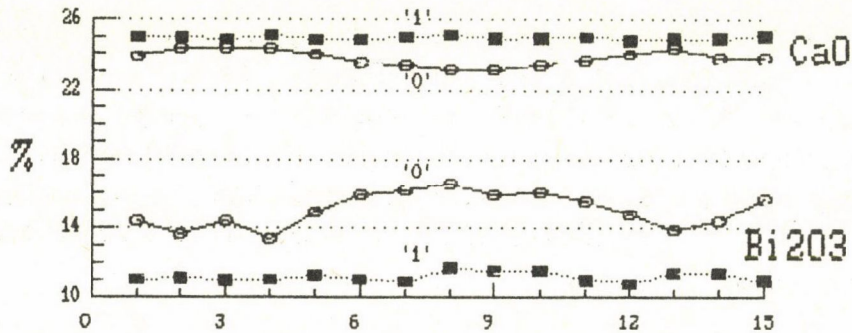
■ 2. spektrométer: PET kristály, Xe töltésű (zárt) számláló

Относительные изменения интенсивностей в ходе вторичных исследований пика

Change of Si intensities measured by WDS-s in the course of repeated peak search, related to the measurement No. 8.

○: 1st spectrometer, TAP crystal, gas flow counter

■: 2nd spectrometer, PET crystal, Xe-filled counter



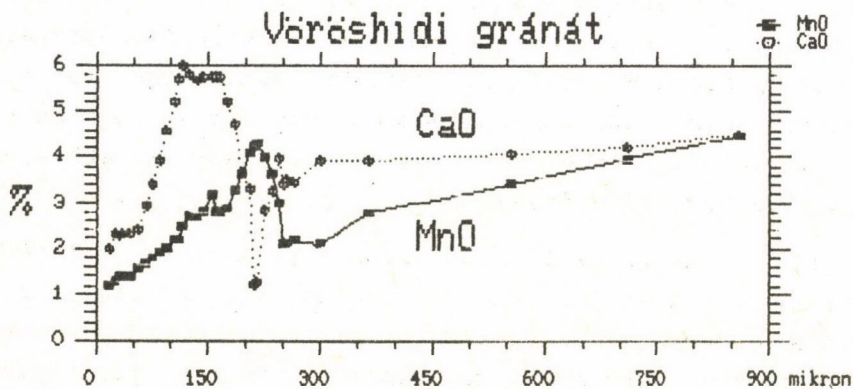
2. ábra

Mesterséges gránátszűrők pontonként mért CaO és Bi₂O₃ tartalma
○: '0' jelű (rossz), ■: '1' jelű (jó) szűrő

Концентрации CaO и Bi₂O₃ искусственных гранатных фильтров

Change of CaO and Bi₂O₃ contents of artificial garnet filters measured point by point

○: filter '0' (improper), ■: filter '1' (proper)



3. ábra

Természetes gránátszemcse zónássága a peremétől a közepéig

Зональность натурального граната от края до центра

Compositional zoning of natural garnet grain from Vöröshid, measured from the edge to the centre

1. táblázat

Mesterséges gránátszűrők összetétele.
15-15 pont átlaga, szórása, 25 kV, ZAF
korrekció

Состав искусственных гранатных фильтров.
Средние и среднеквадратичные отклонения
15 точек.

Composition of artificial garnet filters.
Averages and standard deviations of 15
points each. Total iron content in Fe₂O₃

	á '0' σ	á '1' σ		
Bi ₂ O ₃	15,06	0,99	11,17	0,28
CaO	23,76	0,44	24,92	0,08
Fe ₂ O ₃ *	42,64	0,17	42,96	0,23
In ₂ O ₃	2,62	0,25	3,28	0,04
V ₂ O ₅	15,64	0,30	16,19	0,16
PbO	1,37	0,13	1,03	0,13
Össz.:	101,10		100,41	

*Az összes vas Fe₂O₃-ban

2. táblázat

Vöröshidi gránát néhány pontja. 15 kV;
Bence-Albee korrekció

Состав некоторых точек натурального граната
Composition of some points in garnet from
Vöröshid Distance from the edge

Szélétől	160 μ	250 μ	860 μ
SiO ₂	36,86	36,85	37,11
Al ₂ O ₃	21,29	21,29	20,49
FeO	31,63	35,03	32,52
MgO	1,64	1,69	1,27
MnO	2,81	2,09	4,45
CaO	5,74	3,42	4,47
Össz.:	99,97	100,36	100,31

Az 1. táblázat és a 2. ábra két, mesterséges gránátból készült mikrohul-
lámu szűrő homogenitását hasonlítja össze (a vizsgálat a TKI számára készült).
A '0' jelű szűrő rossz: felharmonikusokat gerjeszt, az '1' jelű jó. A két min-
ta összetétele kissé eltérő, és a jó szűrő homogénabb: egyes elemei a mérés
bizonytalanságán (1 rel.%) belül egyenletes eloszlásuk.

Az összetétel-változás a geológiában is fontos információkat jelent. A
3. ábra egy természetes gránát zónásságát mutatja a szélétől a közepéig. Eb-
ből a kőzet képződésére vonhatunk le következtetéseket. Összetételét néhány
pontban a 2. táblázatban láthatjuk.

3. táblázat

PS-71 minta egyes ásványelemzése 15 kV;
Bence-Albee korrekció

Состав минералов

Individual mineral compositions of specimen
PS-71

	P i r o x é n		Amfibol
	"A"	"B"	
SiO ₂	49,25	50,54	40,64
TiO ₂	0,07	0,10	0,53
Al ₂ O ₃	1,93	1,41	11,33
FeO*	18,20	15,79	23,17
MnO	1,02	1,21	0,73
MgO	6,26	7,90	6,00
CaO	23,01	22,97	11,64
Na ₂ O	0,29	0,27	0,98
K ₂ O	0,0	0,0	2,06
Össz.:	100,02	100,19	97,08

*Összes vas FeO-ban

Ugyanabban a kőzetben lévő ásvány különböző szemcséinek összetétele eltérő lehet, erre mutat példát a 3. táblázat. Ugyanitt egy amfibol elemzése is látható, amelynek oxidösszege a 100%-tól határozottan eltér. Ezt részben a jelen lévő (kb.2%) kristályviz, részben az okozza, hogy a vas egy része Fe₂O₃ formában lehet jelen.

AZ ELEMZÉS PONTOSÁGA

Az ásványelemzés során elkövetett mérési hibára részben az oxidösszeg, részben bizonyos elem- (pontosabban ion-) arányok figyelmeztetik az analitikust. Mütermék üveg esetén

az utóbbi támpont elmarad, a pontatlanság csak a tényleges összetétel ismeretében derül ki.

Egy üveg standard nemzetközi összemérésének tapasztalatairól 1988-ban beszámoltam⁵. Ennek elemzése során a nálunk használatos eljárásokat és mérési körülményeket alkalmaztam. Eredményeimet és az utólag megkapott tényleges összetételt a 4. táblázat tartalmazza. Ezek alátámasztják, hogy alkalmasan megválasztott eljárással $\pm 2,5$ rel. %-os pontosság rutinszerűen elérhető. (Itt nem közölt eredményeim szerint ez nemcsak a mérések átlagára, hanem az egyedi elemzések kb. 95%-ára is teljesül.)

4. táblázat

Uveg standard összetétele

Состав стеклянного стандарта

Composition of glass standard. Actual, measured.

*within ± 0.2 w-% error of actual valuexout of ± 2.5 relative % of actual value

	Tényleg. $\pm 0,2\%$	S a j á t m é r é s e i m				
		15 kV			20 kV	
		Bence- Albee	JEOL- ZAF	D-J ZAF	JEOL ZAF	D-J ZAF
SiO ₂	45,35	45,80	45,92	45,70	*45,42	45,14
Al ₂ O ₃	9,27	* 9,41	× 9,87	× 9,78	× 9,88	× 9,70
FeO	9,96	* 9,84	10,17	9,95	10,19	* 9,98
MgO	19,33	*19,23	19,11	19,03	*19,24	*19,16
CaO	<u>15,25</u>	<u>14,90</u>	<u>14,94</u>	<u>14,94</u>	<u>14,96</u>	<u>14,91</u>
Össz.:	99,16	99,19	100,01	99,40	99,69	98,88

*A tényleges érték $\pm 0,2$ s%-os hibahatárán belülx A tényleges érték $\pm 2,5$ rel. %-nál nagyobb eltérés

ELEMZÉS EDS-SEL

WDS helyett EDS alkalmazása minden olyan esetben előnyös lehet, amikor a mérendő pontot érő elektrondóvizist csökkenteni kell (viztartalmu, bomlékony ásványok, pl. zeolit, karbonátok), vagy a tényleges mérési időt egyéb ok miatt kell rövidíteni. Erre a célra számítógéppel, mennyiségi elemző programmal ellátott EDS-ek ma már kereskedelmi forgalomban kaphatók. Egy egyszerű változato hoztunk létre néhány éve, a meglévő kvalitatív spektrométerhez ZX-81 mikro-számítógépet illesztve, a ZAF mátrixkorrekciót off-line üzemmódban végezve. A mérendő elemtől származó tiszta intenzitások meghatározására, azaz a háttér és a vonalátlapolások kiküszöbölésére esetenként különböző eljárásokat alkalmazunk. Az első tapasztalatainkról ld. 6.

Szilikát elemzésénél a háttérlevonást a Frame-C⁷ programból vett részlettel végeztük. Így a 14-18% viztartalmu zeolitokról elfogadható elemzést tudunk készíteni (5. táblázat). A módszert - esetleg WDS egyidejű alkalmazá-

sával kombinálva - jól tudtuk alkalmazni különböző fémeket tartalmazó oldatok kezelésére használt zeoliton a fémionok megkötődésének (ioncseréjének) vizsgálatára^{8,9}.

5. táblázat

Zeolitásványok összetétele. 15 kV, ZAF korr.
10-10 pont átlaga, szórás

Состав zeолитных минералов. Средние и средне-квдраточные отклонения 10 анализов

Composition of zeolite minerals. Averages and standard deviations of 10 analyses each

	BOM mordenit		RCL klinoptilolit	
	á	σ	á	σ
SiO ₂	65,0	1,6	66,3	2,5
Al ₂ O ₃	9,9	1,4	12,0	1,2
Fe ₂ O ₃	0,2	0,1	0,1	0,1
MgO	0,3	0,3	0,65	0,5
CaO	3,1	0,3	3,5	0,3
Na ₂ O	1,3	0,2	0,3	0,3
K ₂ O	1,2	0,5	2,6	0,6
Össz.:	81,0		85,45	

Ca-Al-Sr-Y-OXID KERÁMIA

Az anyagot a Tungstram Na-lámpa lezárásához használja (ez magas hőmérsékleten szélsőségesen agresszív igénybevételt jelent). A megfelelő technológia kialakításához szükség volt az egyes mikroszkópius fázisok azonosítására - egyéb lehetőség híján - összetételük alapján. Itt problémát jelentett az erősen átlapoló Sr és Y L-vonalak szétválasztása. Erre a következő eljárást alkalmaztuk.

A Sr+Y összegcsucst a tiszta Sr és Y csucs lineáris kombinációjaként állítjuk elő, és meghatározzuk azokat az együtthatókat, amelyekkel az összeg négyzetes eltérése a ténylegesen fölvetett spektrumtól minimális. A Sr és Y csucsintenzitását ezekből az együtthatókból számítjuk ki. Képletszerűen: ha S(i) a Sr-vonal (az i-edik csatornába eső járuléka), Y(i) az Y-vonal, M(i) a minta spektruma, akkor

$$M(i) = \alpha S(i) + \beta Y(i).$$

Keressük azt az α -t és β -t, amelynél a

$$D = \sum [M(i) - \alpha S(i) - \beta Y(i)]^2$$

minimális.

Ennek feltétele:

$$\frac{\partial D}{\partial \alpha} = 0 \quad \frac{\partial D}{\partial \beta} = 0$$

Ebből:

$$\alpha = \frac{\{\sum Y^2(i)\} \cdot \{\sum [S(i) \cdot M(i)]\} - \{\sum [Y(i) \cdot M(i)]\} \cdot \{\sum [S(i) \cdot Y(i)]\}}{\{[\sum Y^2(i)] \cdot [\sum S^2(i)]\} - \{\sum [S(i) \cdot Y(i)]^2\}}$$

és

$$\beta = \frac{\{\sum S^2(i)\} \cdot \{\sum [Y(i) \cdot M(i)]\} - \{\sum [S(i) \cdot M(i)]\} \cdot \{\sum [S(i) \cdot Y(i)]\}}{\{[\sum Y^2(i)] \cdot [\sum S^2(i)]\} - \{\sum [S(i) \cdot Y(i)]^2\}}$$

Mint a WDS-sel végzett összehasonlításainkból kiderült, a módszer 10 rel. %-nál jobb szétválasztást tesz lehetővé (6. táblázat). Az azonosított fázisoktól és a forrasz szövetségében játszott szerepükről máshol számolunk be¹⁰.

6. táblázat

EDS-WDS elemzések összehasonlítása zománc fázisain. 20 kV,
ZAF korrekció

Сравнение анализов, совершенных спектрометрами EDS и WDS

Comparison of analyses by EDS and WDS

	"V" fázis			"N" fázis		
	EDS s%	WDS s%	relativ eltérés rel.%	EDS s%	WDS s%	relativ eltérés rel.%
3/2 minta						
SrO	4,7	5,00	-6	12,9	14,05	-8
CaO	47,7	46,41	+2	26,1	25,80	+1
Y ₂ O ₃	12,5	13,3	-6	0,2	0,06	
Al ₂ O ₃	<u>36,1</u>	<u>35,12</u>	+3	<u>59,0</u>	<u>59,34</u>	-0,6
Össz.:	100,8	99,80		98,3	99,24	
5. minta						
SrO	7,7	7,69	0	17,7	17,71	0
CaO	43,3	43,62	-1	23,0	22,63	+1,6
Y ₂ O ₃	13,1	12,88	+1,6	0,0	0,0	
Al ₂ O ₃	<u>34,0</u>	<u>34,40</u>	-1	<u>59,0</u>	<u>58,18</u>	+1,4
Össz.:	98,0	98,59		99,7	98,52	

IRODALOM

1. Pantó Gy., Nagy G., Az elektronmikroszkop (EPMA) és néhány alkalmazása, Atomki Közl. 27 (1985) 74
2. Szilárd testek vizsgálata elektronokkal, ionokkal és röntgensugárzással (Szerk. (Brümmer, O. et al.), Műszaki, Budapest, 1984
3. Nagy G., Computer Programs for Quantitative Electron Microprobe Analysis Developed for Geological Applications, EUREM'84, Bp., 1984, 1041
4. Nagy G., Tovább lépés az elektron-mikroszkopos ritkaföldfém elemzés területén, XXVII. Magyar Szinképelemző Vándorgyűlés, Szombathely, 1984, 231
5. Nagy G., Az elektronmikroszkopos elemzés pontossága, XXXI. Magyar Szinképelemző Vándorgyűlés, Szolnok, 1988, 355
6. Nagy G., Fórizs I., Tapasztalatok EDS-sel végzett elektronmikroszkopos mennyiségi elemzésről, XXIX. Magyar Szinképelemző Vándorgyűlés, Keszthely, 1986, 257
7. R.L. Myklebust, C.E. Fiori, K.F.J. Heinrich, Frame C: A Compact Procedure for Quantitative Energy-dispersive Electron Probe X-ray Analysis, NBS Technical Note 1106, 1979

8. Pécsiné-Donáth É., Nagy G., Ioncsere vagy szorbció? Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása II. (Szerk.: Hlavay J., Pataki K.), Veszprém, 1987, 61
9. Pécsiné-Donáth É., Nagy G., Selective Metal Ion Sorption Properties of Zeolite Minerals of the Hungarian Rhyolite Tuffs, 1990, (nyomdában)
10. Nágel F., Nagy G., Crystalline Phases Appearing in Al-Ca-Sr-Y-Oxydes, Bejelentve: 7th CIMTEC World Ceramic Congress, Italy, 1990.

*

Bemutatjuk a laboratóriumban alkalmazott, a műszer adottságait figyelembe vevő mennyiségi elemző módszereinket: a WDS-ekkel végzett általános és az EDS-en alapuló speciális célú eljárásokat. Alkalmazási példaként geológiai célú és egyes korszerű technológiák számára végzett elemzéseket ismertetünk.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫМ МИКРОЗОНДОМ: МЕТОДЫ И ПРИМЕНЕНИЯ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ГЕОХИМИИ

Надь, Г.

Для общих целей использованы кристалльные спектрометры, для специальных применений - полупроводниковый спектрометр. Примеры использования из областей геологии и современной технологии.

QUANTITATIVE ELECTRON MICROPROBE ANALYSIS: METHODS AND APPLICATIONS IN THE LABORATORY FOR BIOCHEMICAL RESEARCH

Nagy, G.

For general purposes WDS-s, for special ones EDS are used. Examples of applications are given from the fields of geology and advanced technologies.

MIKROSZKÓPIKUS RÉSZECSKÉK ELEMZÉSE SZINKROTRONSUGÁRZÁS KELTETTE RÖNTGENFLUORESZCENCIÁVAL (SRXRF) ÉS ELEKTRON-MIKROPRÓBA ANALIZISSSEL (EPMA)

Török Szabina, Sándor Szvetlana

MTA Központi Fizikai Kutató Intézete, Budapest, Pf. 41, 1525

BEVEZETÉS

Az elektron-mikropróba analízis, a jelenleg leggyakrabban alkalmazott elemzési módszer egyedi mikroszkópius részecskék (aeroszol, pernye, folyami üledék) vizsgálatára. Ilyen minták esetében néhányszor $1 \mu\text{m}^3$ mintamennyiségből kell elemezni, és 10^{-16}g -nál kisebb abszolút mennyiségeket kell meghatározni. A tömegspektroszkópián alapuló módszerek is képesek ilyen kis mennyiségeket kimutatni (pl. LAMMA és SIMS), de a mérések kevéssé reprodukálhatók, és gondot okozhat a porózus minták vákuumbeli mérése, a minta megfelelő preparálása¹.

A röntgenemissziós spektroszkópián alapuló módszerek nem roncsolják el a mintát, a mérések jól reprodukálhatók, és a kvantitatív eljárások is pontosabb eredményt adnak.

A röntgenspektroszkópia hátránya általában a kis fotoelektromos hatáske-reszrtmetszetből adódó mérsékelt érzékenység. Az utóbbi évtizedben mégis óriási előrelépés történt a gerjesztés területén. Olyan szinkrotron tárológyűrűk épültek, amelyek mint röntgenforrások minden paraméter tekintetében lényegesen felülmulják a hagyományos röntgengenerátorokat.

A szinkrotron tárológyűrűk olyan berendezések, amelyekben relativisztikus sebességgel, mágneses tér hatására zárt, görbült pályán mozgó elektronokat tárolunk. Az ily módon mozgó elektronok által kibocsátott elektromágneses sugárzás a szinkrotronsugárzás.

A szinkrotronsugárzás előnyös tulajdonságai a röntgenfluoreszcencia szempontjából:

- a) széles spektrális tartomány (látható fénytől 100 keV-ig).
A hagyományos források mindegyike csak egy keskeny sávon sugároz intenzíven;
- b) erősen kollimált (tipikusan 0,1 mrad),
A hagyományos források közül csak a lézer kollimált;
- c) jól definiált polarizáció (lineáristól elliptikusig a megfigyelési szögtől függően);
- d) nagy intenzitás (pl. 5 GeV energiájú, 500 mA áramot képviselő elektronok által kisugárzott fotonok száma kb. 10^{15} foton/mm²/s/mrad,

$\Delta\lambda/\lambda = 0,1\%$ mellett $\lambda = 1 \text{ \AA}$ hullámhossznál és $0,1 \text{ mm}^2$ forrásméret mellett). Hagyományos forrásokkal összehasonlítva, a látható fény, illetve az ultraibolya tartományban a kisülési lámpáktól 10-100-szor intenzívebb, a lézerekkel összemérhető, míg a röntgentartományban 10^3 - 10^6 -szorosán felülmulja a legnagyobb teljesítményű generátorok intenzitását is.

A fent említett tulajdonságok együttes jelenléte olyan unikális mérési lehetőségeket kínál a röntgenfluoreszcencia területén, melyek más gerjesztési módszerrel nem érhetők el. A fenti előnyös tulajdonságokat kihasználva a National Synchrotron Light Source (Brookhaven) X26 nyalábján 1 fg anyagmenyiség meghatározására van lehetőség reális mérési idők mellett². Ez az érzékenység felülmulja az egyébként eddig páratlannak számító mikro-PIXE technikát is³, ahol azonban az energia-disszipáció 100-1000-szerese a szinkrotron-sugárzással történő gerjesztésnek.

A jelen dolgozatban azt a célt tüztük ki, hogy megmutassuk, 20-200 μm átmérőjű környezeti részecskék elemzésénél milyen előnyökkel járhat az SRXRF az EPMA-sel összehasonlítva. Szeretnénk továbbá rámutatni az SRXRF korlátaira és arra, milyen feladatok esetében alkalmas a lényegesen egyszerűbb méréstechnikájú EPMA.

KÍSÉRLETI RÉSZ

MINTAKÉSZÍTÉS

Egyedi mikroszkópikus részecskékből álló minta készítésénél különös gondot kell fordítani arra, hogy a részecskék megtartsák eredeti morfológiájukat és összetételüket. Az egyes részecskék laterális távolsága a mintán meg kell, hogy haladja a gerjesztett térfogat átmérőjét, mivel egy detektálható részecske tizedrésze is lehet annak.

A pernyerészecskéket 1-200 μm átmérőjű NUCLEPORE szűrőn 0,2%-os ragasztó tartalmu hexánban szuszpendáltuk, majd átszivattuk. A megszáradt szűrőket konduktív szénfestéssel 5 mm vastagságú távtartó gyűrűbe ragasztottuk, majd 30-40 nm vastag szénréteget pároltunk rá.

A MÉRŐBERENDEZÉS LEIRÁSA

EPMA

A méréseket egy JEOL 840 típusu pásztázó elektronmikroszkópon végeztük, melyhez egy EG & G ORTEC 5000 típusu röntgenspektrométer tartozik. Az alkalmazott gyorsítófeszültség 25 és 35 kV volt, melyhez az áramot, a részecskéből kilépő röntgenintenzitástól függően, 0,3 és 1 nA között változtattuk.

SRXRF

A szinkrotronsugárzással gerjesztett méréseket a novoszibirszki VEPP-3 szinkrotronnál végeztük. A 2 GeV energiájú gyorsító Wiggler-nyalábján a tangenciális ponttól mintegy 9 méterre volt felépítve a mérőkamra. A gerjesztő sugárzás ráesett egy sík pirolitikus grafit monokromátorra. 5 mm vastagságú Ortec Si(Li) detektorral mértük a fluoreszcens fotonokat. A monokromátort és a detektálási szögének beállítását számítógéppel vezéreltük. A fenti kísérleti feltételek mellett a gerjesztési energiát 10-től 40 keV-ig lehetett változtatni.

EREDMÉNYEK

Az EPMA igen kis abszolút mennyiség kimutatására alkalmas, de a legkisebb kimutatható koncentráció 0,1% - 100 ppm. Az érzékenység tovább növelhető, ha a nyaláb utjába elhelyezett (gondosan megválasztott) abszorbens karakterisztikus vonalával gerjesztjük a mintát⁴. Ilyen feltételek mellett azonban a laterális felbontás lényegesen csökken (300 μm), és egyedi részecskék már nem vizsgálhatók.

A szinkrotronsugárzással végzett gerjesztésnél a mérőhelyeken, melyek 5-40 m távolságra települnek a gyorsítótól, a nyaláb átmérője 1-2 mm. Miután a forrás elég fényes, még kvázi monokromatikus (áteresztése $\Delta E/E = 10\%$) beeső nyaláb esetén is használható pinhole. Az 1. táblázat mutatja az SRXRF és EPMA esetén mért érzékenységeket, különböző gerjesztési energiáknál.

1. táblázat

Elektron mikropróba és SRXRF érzékenysége [imp/ng] egyedi pernyerészecskékre

Чувствительность методов электронно-зондового микроанализа и рентгеновской флуоресценции на пучке синхротронного излучения [имп/нг] для частиц пепла

Sensitivity [cps/ng] of EPMA and SRXRF for elements of a fly-ash sample

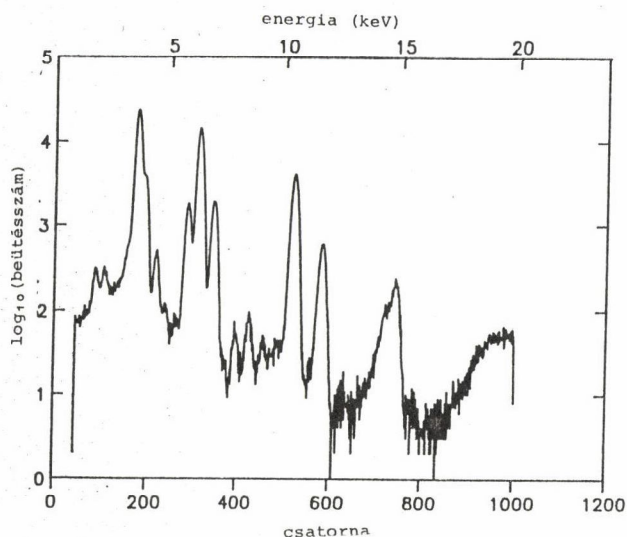
	EPMA 25 kV	SRXRF	
		15 keV	40 keV
Al-Fe	10^5 - 10^4	10^{-2} - 5	10^{-3} - 1
Zn-Y	10^2 - 10^3	20 -200	15 - 80
Zr-Ba	nem detek- tálható	nem detek- tálható	150 - 200

Szinkrotrongerjesztésnél a mért röntgenintenzitás (100 μm átmérőjű pinhole után) 100-200 imp/s volt 200 μm átmérőjű pernyerészecskénél. A részecskék hozzávetőleges összetételét ZAF módszerrel határoztuk meg, feltételezve, hogy a gerjesztett térfogat 10 μm^3 és a sűrűség 2,6 g/cm³⁵. A táblázatból kitűnik, hogy az SRXRF ideális módszer lehet elsősorban nagyobb rendszámú elemek meghatározására környezeti részecskékben. Az érzékenység további növelése végett, az

EPMA méréseket 35 kV gyorsítófeszültséggel is elvégeztük, de az Y-nál nagyobb rendszámú elemet nem tudtunk detektálni 1000 s mérési idő alatt a pernyerészecskékben.

Szinkrotronsugárzással végzett gerjesztésnél azonban nemcsak pinhole, hanem más optikai elemek is felhasználhatók^{6,7}. Lényegesen jobb intenzitás és jel/háttér viszony érhető el görbitett egykristállyal (Si < 111 >). Ilyen pl. a Daresbury szinkrotron 7. mérőnyalábjára. A tárológyűrű paraméterei: 2 GeV,

200 mA és nyaláb élettartama 20 óra. A fókuszáló elem a tárológyűrűtől mintegy 80 m-re elhelyezett, 60 mm átmérőjű, 100 μm vastagságu szilícium, mely elliptikus felületre van préselve (görbületi sugár 100 és 5740 mm). A monokromátor segítségével a fókuszolt (15 keV energiára) 15 x 20 μm . A monokromátor kicsinyítése 1000 x 15. Az 1. és 2. ábra mutatja egy Daresburyban mért, 60 μm átmérőjű pernyerészecske spektrumát, illetve egy hasonló, nagy kalciumtartalmu részecske EPMA-spektrumát.

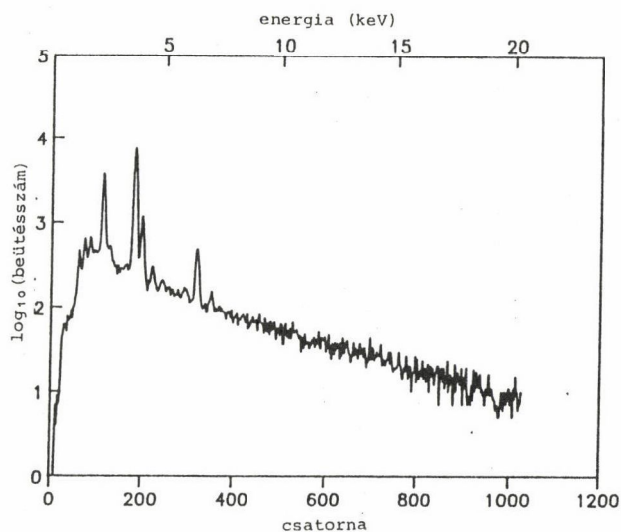


1. ábra

Nagy kalciumtartalmu 60 μm átmérőjű pernyerészecske SRXRF (Daresbury) spektruma 15 keV gerjesztő energiára

Спектр частицы пепла размером 60 мкм с высоким содержанием Ca, измеренный методом РФ на СИ (Daresbury) при энергии возбуждения 15 кэВ.

SRXRF (Daresbury) spectrum of calcium rich 60 μm diameter fly ash particle at 15 keV excitation energy



2. ábra

5 μm átmérőjű, kalciumsulfát típusu pernyerészecske EPMA spektruma

Спектр частицы пепла сульфата Ca размером 5 мкм, снятый методом электронно-зондового микроанализа

EPMA spectrum of calcium sulfate type fly ash particle of 5 μm diameter

SRXRF és EPMA módszerekkel vizsgáltuk hazai széntüzelésű erőművi pernyében a toxikus elemek bedusulását a kis részecskefrakciókban, illetve a kéményből vett mintában⁸. Összehasonlítottuk továbbá a különböző eredetű pernyerészecskéket EPMA módszerrel, és a kis részecskefrakcióban nagy báriumtartalmu csoportokat találtunk, melynek környezeti hatása a kis (0,6 μm) átlagos átmérő miatt igen jelentős lehet több száz kilométer távolságra is⁹. Több mint 30 pernyerészecskét sikerült megnézni SRXRF módszerrel, és úgy tűnik, hogy a toxikus As, Pb és Se csak a Ca és S tartalommal mutat némi korrelációt⁹. Az eredmények alaposabb statisztikus értelmezéséhez pontosabb kénadatokra lenne szükség, mely csak kisebb, pl. 6-8 keV gerjesztő energiáknál lehetséges. Ebből következik, hogy a pernyében a környezeti szempontból fontos elemek (S, Ca, Cr, As, Pb, Se) teljes analizéséhez a jelenlegi kísérleti körülmények mellett két gerjesztő energián kellene mérni. Ez azért nehéz, mert egymástól több keV távolságra lévő energiákra igen különböző görbületi sugarú és fókusz távolságu kristályra lenne szükség.

Összefoglalva: az SRXRF mikroanalízis 20-100 μm átmérőjű részecskékre érzékenyebb az EPMA-nál, azonban a környezeti szempontból fontos elemek teljes

sorának elemzése egy energiánál nem lehetséges. További röntgenoptikai fejlesztés szükséges ahhoz, hogy jól alkalmazható, egyedi részecskeanalitikai módszer kerülhessen az alkalmazók birtokába.

Ez a munka az OTKA támogatásával készült (1030. sz. pályázat).

Köszönetünket fejezzük ki Frans Van Langeveldének a Daresbury-i szinkrotronon végzett mérésekért.

IRODALOM

1. M. Van Craen, D.F. Natusch, F. Adams, Anal. Chem. 54 (1982) 1786
2. K.W. Jones, B.M. Gordon, Anal. Chem. 61 (1989) 341A
3. R.D. Vis, A.J. Bos, V. Valkovic, H. Verheul, IEEE trans. Nucl. Sci. N S-30 :19830 1236
4. Pozsgai I., Scanning 9 (1987) 36
5. J.I. Goldstein /szerk./ Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis, Plenum Press, New York, 1981
6. F. van Langevelde, W. Lenglet et al., Nucl. Instr. Meth. A (257) (1987) 436
7. Y. Goshi, S. Aoki et al., Adv. X-ray Anal. 31 (1988) 495
8. Török Sz., Sándor Sz., Rausch H., Adv. X-ray Anal. 33 (megjelenés alatt)
9. Török Sz., Zemplén E., Papp és mts., Nucl. Instr. Meth. (előkészületben)

*

Röntgenemissziós analitikai módszereket ismertetünk, és hasonlítunk össze, amelyek alkalmasak egyedi mikroszkópikus részecskék elemzésére. A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a szinkrotronsugárzással végzett gerjesztés érzékenyebb lehet az elektron-mikropróbánál, ha környezeti részecskék elemzésekor $Z > 40$ elemet kell meghatározni.

Toxikus elemek közül Ni, Cu és Zn, és alkalmanként Y volt kimutatható elektron-mikropróbával, míg a Cr, Mo, Pb és As csak szinkronsugárzás gerjesztésnél haladta meg jóval a legkisebb kimutatható mennyiséget a környezeti részecskékben. Néhány problémát is megemlítettünk magyar széntüzelésű erőművekből származó pernyerészecskékre vonatkozóan.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ НА ПУЧКЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННОЗОНДОВОГО АНАЛИЗА
С. Тэрэк, С. Шандор

Даны сравнительные аналитические характеристики индивидуальных частиц пепла с использованием разных техник рентгено-эмиссионного элементного анализа. Экспериментальные данные показывают, что при порядковом номере $Z > 40$ РФ на СИ является более чувствительным, чем электронно-зондовый микроанализ при измерении микрообъема или анализ индивидуальных частиц экологических образцов. Методом электронно-зондового микроанализа в частичках пепла были обнаружены следующие токсичные элементы: Ni, Cu, Zn, Y. В то же время высокая чувствительность метода РФ на СИ позволила провести анализ частиц и определить содержание токсичных элементов, как Cr, Ni, Mo, Pb и As.

INDIVIDUAL MICROSCOPIC PARTICLE ANALYSIS BY SYNCHROTRON RADIATION X-RAY FLUORESCENCE (SRXRF) AND ELECTRON-PROBE MICRO ANALYSIS (EPMA)
Török, Sz., Sándor, Sz.

The analytical performances of X-ray emission elemental analysis techniques are compared for individual particle analysis. Experiments indicate that SRXRF

can be more sensitive than EPMA for small-volume or individual particle analysis of environmental samples for elements with $Z > 40$. Among toxic elements in the particle by EPMA only Ni, Cu, Zn and Y were detected but for Cr, Mo, Pb and As only SRXRF was sensitive enough.

NIOBIUM-93M NEUTRONINDIKÁTOROK AKTIVITÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Szalóki Imre*, Szegedi Sándor*, Váradi Magdolna*, Buczkó Margit*, Pázsit Ágnes**, Divós Ferenc***

*Kossuth Lajos Tudományegyetem, Kísérleti Fizikai Tanszék, Debrecen, Pf.:105, 4001

**Kossuth Lajos Tudományegyetem, Izotóplaboratórium, Debrecen, Pf.: 8, 4010

***Paksi Atomerőmű Vállalat, Paks, Pf.: 71, 7031

BEVEZETÉS

Az atomerőművek szerkezeti anyagai sugárkárosodást szenvednek el, melyek mértékét a neutronfluxus folyamatos mérésével lehet becsülni. Erre a célra számos módszert dolgoztak ki^{1,2}, melyek közül mi a $^{93m}\text{Nb}(n,n')^{93m}\text{Nb}$ reakción alapuló fluxusmeghatározással foglalkoztunk. Ennek a reakciónak viszonylag alacsony küszöbenergiája (0,6)MeV és kedvező hatáskeresztmetszete van az 1-10 MeV neutronenergia-tartományban.

A ^{93m}Nb végmag felezési ideje 16,13 év. A ^{93m}Nb mag 30,4 keV-es energiáját nagy valószínűséggel veszti el belső konverzióval, melynek eredményeként megjelennek a Nb K röntgenvonalai. Az önabszorpció és a minták szennyezettségéből következő belső gerjesztési effektusok miatt a ^{93m}Nb aktivitásának meghatározására vékony mintát kell használni.

Munkánk célja a REA módszer alkalmazhatóságának vizsgálata volt a vékony Nb minták tömegének meghatározására, abból a célból, hogy ennek segítségével a ^{93m}Nb fajlagos aktivitását meghatározhassuk. Az eredményeket összehasonlítottuk a γ -spektrometriából kapott értékekkel.

KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

A MINTÁK TÖMEGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A paksi atomerőműben besugárzott Nb monitorok ^{94}Nb aktivitását Ge(Li) detektorral és Canberra-20 sokcsatornás amplitudóanalizátorral határoztuk meg. A $^{93}\text{Nb}(n,\gamma)^{94}\text{Nb}$ reakció által létrehozott ^{94}Nb mag γ -bomlását követő, 702,63 keV-es és 871,1 keV-es vonalakat lehetett detektálni. A mérések ideje alatt a minták 6,3 μm vastag Mylar fóliából készült mintatartóban voltak, a szennyeződés elkerülése végett és a kis mintatömeg miatt. A már ismert ^{94}Nb aktivitású mintákat 20 μl HF (C = 40 s%), 10 μl NNO_3 (C = 65 s%) és 20 μl desztillált víz keverékében oldottuk fel. Ezután minden egyes oldatból 10-10 μl -t csöppentettünk egy-egy előre preparált szűrőpapírra. A szűrőpapírra vitt össz Nb mennyiségét két, egymástól független módon határoztuk meg:

1. A cseppentett minták ^{94}Nb aktivitását megmérve meghatározható az eredeti és a szűrőpapírra preparált minták tömegének aránya.
2. A szűrőpapírra csöppentett Nb oldat Nb koncentrációját meg lehet határozni REA módszerrel.

A 2. pontban említett eljárás elvi és gyakorlati részleteit az alábbiakban ismertetjük. A mintákat az 1. ábrán látható geometriai elrendezésben gerjesztettük egy kb. 400 MBq aktivitású, gyűrű alakú ^{125}I radioaktív forrással. Az itt használt mérési körülmények esetén, a Shiraiwa és Fujino³ eredményeit felhasználva, megállapítható a karakterisztikus vonalak intenzitásának és a koncentrációnak matematikai kapcsolata:

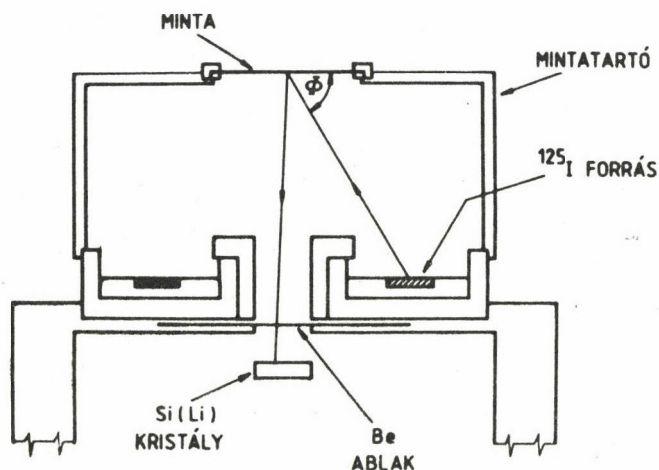
$$I_{\text{Nb}} = \frac{I_0 g_{\text{NbE}} C_{\text{Nb}}}{\mu_{\text{ME}} + \mu_{\text{MNb}} \sin\phi} \{1 - \exp[-d (\frac{\mu_{\text{ME}}}{\sin\phi} + \mu_{\text{MNb}})]\} \quad (1)$$

ahol I_{Nb} a Nb K_{α} vonalának intenzitása, I_0 a mintafelületet érő gerjesztő sugárzás intenzitása, g_{NbE} a Nb K_{α} vonalának emissziós határfoka a 27,478 keV gerjesztő energiára nézve, C_{Nb} Nb koncentráció a szűrőpapírmintákban s%-ban, d a minta vastagsága (g/cm^2), $\mu_{\text{ME}} = \mu_{\text{NbE}} C_{\text{Nb}} + \mu_{\text{szűrőp.E}} (1 - C_{\text{Nb}})$ a minta tömegabszorpciós koefficiense E energián, $\mu_{\text{MNb}} = \mu_{\text{NbNb}} C_{\text{Nb}} + \mu_{\text{szűrőp.E}} (1 - C_{\text{Nb}})$ a minta tömegabszorpciós koefficiense a Nb K_{α} vonalának energiáján.

Az I_0 gerjesztő intenzitás meghatározása inaktív, tiszta Nb minta gerjesztésével és K_{α} intenzitásának (I_{Nb0}) mérésével lehetséges, az (1) kifejezés alkalmazásával:

$$I_0 = \frac{I_{\text{Nb0}} (\mu_{\text{NbE}} + \mu_{\text{NbNb}} \sin\phi)}{g_{\text{NbE}}} \quad (2)$$

ahol a minta elegendően vastag, hogy az (1)-ben szereplő vastagságkorrekciót elhanyagolhassuk. Az abszorpciós együtthatókat Leroux és Thinh táblázatából⁴ vettük, míg a $\mu_{\text{szűrőp.E}} = 0,491 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ és a $\mu_{\text{szűrőp.Nb}} = 0,564 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ értékeket kísérletileg határoztuk meg.



1. ábra

A minta, a forrás és a detektor elrendezése a szűrőpapírral felvitt Nb oldat és a hitelesítő ^{241}Am pontforrás esetén

Геометрия пробы, источника и детектора при измерении раствора Nb на фильтровой бумаге с помощью калибровочного источника ^{241}Am

Sample - source - detector geometry for Nb solution on filter paper and ^{241}Am calibration point source

A ^{93m}Nb AKTIVITÁS MEGHATÁROZÁSA

A ^{93m}Nb -aktivitás méréséhez meghatároztuk Si(Li) detektorunk hatásfokát a mérendő röntgenfoton energiájára és az adott mérési geometriára. A hatásfokot ^{241}Am pontforrással határoztuk meg, ahol a γ -vonalak abszolút hozamára Campbell és McNelles nyomán⁵ az alábbi értékeket használtuk:

keV	%
11,9	0,86
13,9	13,2
17,8	19,3
20,8	4,85
26,3	2,4

A hatásfoknak a pontforrás és a szimmetriatengely közötti távolság szerinti változását másodfoku függvényel közelítettük:

$$\eta(r) = a_0(E) + a_1(E)r + a_2(E)r^2. \quad (3)$$

Ez alapján egy R sugaru minta esetén az effektív hatásfokot a következő módon lehet felírni:

$$\eta_{\text{eff}}(R,E) = \frac{1}{R^2\pi} \int_0^R \mu(r) 2\pi r dr. \quad (4)$$

A (3) és (4) egyenletek alapján a következő kifejezés kapható:

$$\eta_{\text{eff}}(R,E) = \sum_{i,j=0}^2 a_{ij} E^i R^j. \quad (5)$$

Az a_{ij} együtthatókat a különböző sugarak és energiák esetén kapott hatásfokértékekre illesztett (5) kifejezésből kaptuk. A detektorunk hatásfoka $(1,8-2)10^{-4}$ egy 10-12 mm átmérőjű mintára a 16,614 keV energián, 60 mm minta-detektor közötti távolság esetén. A Nb esetleges Ta szennyezettsége befolyásolhatja a ^{93m}Nb intenzitást a



reakció révén. Ugyanis a ^{182}Ta β -bomlása során kis energiájú γ -fotonokat és β -részeket bocsát ki, másrészt megjelennek a spektrumban a W K_α , K_β vonalai is, amelyek gerjesztik a Nb K_α röntgenvonalát. A reakció hatáskeresztmetszete 21 barn, ami azt eredményezi, hogy már kis szennyezettség esetén is jelentős a Ta-tól származó belső gerjesztés.

Az általunk vizsgált Nb monitorok tisztaságát a ^{182}Ta bomlását követő, 1121,3 és 1221,4 keV-es γ -vonalak alapján becsültük meg; azt találtuk, hogy ez kisebb mint 300 ppm. Közelítő számítást végeztünk arra nézve, hogy a belső gerjesztés figyelembevételéhez mekkora korrekciót kell alkalmazni. Kiszámoltuk egy olyan minta röntgenintenzitását, melynek gerjesztése a mintában lévő, abban ho-

mogéan eloszlott, radioaktív forrással történik:

$$I_{Nb2} = \frac{C_{Nb} f_W g_{NbW}}{2\mu_{MNB}} \left[\frac{1}{\mu_{MW}} + \frac{\sin\Phi}{\mu_{MNB}} \left(1 + \frac{\mu_{MNB}}{\mu_{MW} \sin\Phi} \right) \right], \quad (6)$$

ahol I_{Nb2} az a "plusz" intenzitás, amit a ^{182}Ta és bomlástermékeinek belső gerjesztő hatása okoz, f_W azon W K_α és K_β fotonok száma, amelyek tömegegységenként és másodpercenként a mintában keletkeznek.

A f_W értékét a ^{182}Ta aktivitásának mérésével becsültük meg. Ezek alapján úgy találtuk, hogy $I_{Nb2} / (I_{Nb2} + I_{Nb1}) \approx 0,01$ volt, ami feleslegessé teszi a ^{93m}Nb aktivitásának korrigálását a belső gerjesztéssel, mivel az egyéb hibák járuléka jóval nagyobb.

ÖSSZEFOGLALÁS

A REA módszerrel, illetve a ^{94}Nb -aktivitás alapján meghatározott mintatömegek az 1. táblázatban találhatóak. A kétféle eredmény viszonylag jól egyezik a 3.39 és 5.19 minta kivételével. A 3.39 minta szennyezett volt, illetve az 5.19 esetében a cseppentés eredménye nem kör alakú, hanem egy erősen nyújtott ellipszis volt. Mivel a mintatömeg meghatározásához a cseppentett folt felülete is kellett, így ez nehézséget okozott.

1. táblázat

A niobium tömege (μg)

Масса ниобия (мкг)

Niobium mass (μg)

Minta	REA	γ -spektrometria
3,7-1	68,78 \pm 4,00	69,73 \pm 1,51
3,7-2	67,70 \pm 8,00	67,81 \pm 1,51
3,15-1	130,70 \pm 7,20	127,49 \pm 0,98
3,15-2	128,70 \pm 7,70	130,33 \pm 0,97
5,7-1	120,10 \pm 9,37	115,24 \pm 0,67
5,7-2	116,80 \pm 5,81	116,18 \pm 0,67
3,4-1	103,30 \pm 6,20	99,51 \pm 1,27
3,4-2	101,30 \pm 6,08	100,65 \pm 1,28
3,39-1	172,20 \pm 8,59	193,43 \pm 2,17
3,39-2	179,90 \pm 10,70	201,69 \pm 2,20
5,19-1	117,20 \pm 5,90	130,78 \pm 1,27
5,19-2	115,30 \pm 6,91	129,94 \pm 1,27

2. táblázat

A ^{93m}Nb fajlagos aktivitása (10^8 Bq g^{-1})

Удельная активность ^{93m}Nb (10^8 Бк г^{-1})

Specific activity of ^{93m}Nb (10^8 Bq g^{-1})

Minta	PAV	KLTE
3,7	-	2,38 \pm 0,19
3,15	1,85 \pm 0,14	2,00 \pm 0,14
5,7	-	1,62 \pm 0,13
3,4	1,01 \pm 0,07	1,09 \pm 0,08
3,39	0,99 \pm 0,07	1,06 \pm 0,07
5,19	-	1,64 \pm 0,11

A végeredményt a 2. táblázat foglalja össze, melyben összehasonlítjuk az ugyanazon mintákon a PAV által végzett méréseket a saját eredményekkel.

A számolás során az alábbi hibaforrásokat vettük figyelembe: statisztikus hiba (csucsterület, háttér), a tömegmérés hibája (eredeti minta) 1%, a Si(Li) detektor hatásfoka 2,4%, a $N_b K_\alpha$ fluoreszcenciahozama 0,4%, belső gerjesztés 1%, önabszorpció 0,2%. a szűrőpapíron lévő aktív folt felülete 5-8%.

Ez a munka a Paksi Atomerőmű Vállalat és a 259. sz. OTKA pályázat anyagi támogatásával készült el.

IRODALOM

1. W.N. McElroy, S. Berg, G. Gigas, Nucl. Sci. Engng. 27 (1967) 533
2. L. Kuijpers, R. Kerzing, P. Cloth, D. Filges, R. Hecker, Nucl. Instr. Meth. 144 (1977) 215
3. T. Shiraiwa, N. Fujino, X-ray Spectrometry 3 (1974) 64
4. J. Leroux, T.P. Thinh, Revised Tables of X-ray Mass Attenuation Coefficients, Corporation Scientifique Claisse Inc., Quebec, Canada, 1977
5. J.L. Campbell, L.A. McNelles, Nucl. Instr. Meth. 117 (1974) 519

*

A hasadási reaktorok neutronfluxusának méréséhez általában Nb monitorokat használnak, a $^{93}\text{Nb}(n,n')$ reakcióból származó ^{93m}Nb fajlagos aktivitásának mérésével. Új REA módszert dolgoztunk ki a niobium tömegének meghatározására, melyet más, γ -spektrometrián alapuló eljárással ellenőriztünk.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИНДИКАТОРОВ НЕЙТРОНОВ ИЗ НИОБИЯ-93м
Салоки, И., Сегеди, Ш. Варади, М., Буцко, М., Пажит, А., Дивош, Ф.

Для измерения потока нейтронов в реакторах деления используются как правило ниобиевые детекторы, работающие на измерении удельной активности ^{93m}Nb , полученного реакцией $^{93}\text{Nb}(n,n')$. Мы выработали новый метод РЭА для определения массы ниобия, и проверили методом гамма-спектрометрии.

DETERMINATION OF THE ACTIVITY OF NIOBIUM-93m NEUTRON INDICATORS
Szalóki, I., Szegedi, S., Váradi, M., Buczkó, M., Pázsit, Á., Divós F.

Niobium monitors are commonly used for the determination of neutron flux of fission reactors by measuring the specific activity of ^{93m}Nb produced by the reaction $^{93}\text{Nb}(n,n')$. We developed a new REA method for the measurement of the mass of niobium, and tested it with a technique using gamma-spectrometry.

^{55}Fe AKTIVITÁS MEGHATÁROZÁSA XRF BERENDEZÉSSSEL

Gresits Iván*, Ormai Péter**, Solymosi József*, Nagy Lajos György*

*Budapesti Műszaki Egyetem, Fizikai Kémiai Tanszék, Budapest 1521

**Paksi Atomerőmű Vállalat, Paks, Pf. 71., 7031

A ^{55}Fe elektronbefogással bomló, lágy röntgensugárzó izotóp ($T_{1/2}$ kb. 2,7 év, Mn karakterisztikus röntgenvonalai 5,9 keV és 6,49 keV), ezért aktivitásának meghatározása - különösen számottevő β - és γ -háttér mellett - több mérés-technikai nehézséggel jár.

A nyomottvizes atomerőművek szerkezeti anyagaiban a vas, mint elem, dominanciával rendelkezik, tehát reálisan számítani kell radioaktiv vasizotópok jelenlétére, ezen belül jelentős mennyiségű ^{55}Fe -re.

Mindezek aláhúzzák, és hangsúlyozzák a ^{55}Fe rutinelemzési technikájának szükségességét, különös tekintettel az atomerőművekhez kapcsolódó környezetvédelemre. Ugyancsak itt érdemes utalni rá, hogy a vas, mint elem, az élő szervezet és ezen belül az emberi szervezet számára esszenciális nyomelem. (Például a vér jelentős vastartalma a hemoglobin elnevezésű metalloproteinben található.)

Az atomerőművi primerkörben keletkező néhány korrozív elem radioaktiv izotópjának fontosabb nukleáris jellemzői találhatóak az 1. táblázatban. A táblázat szakértő szemmel végzett áttekintéséből rögtön látszik, hogy ilyen radionuklidok mellett a ^{55}Fe -elemzésnél mérés-technikai nehézségekre kell számítani.

Az ^{55}Fe -aktivitás meghatározásához ATOMKI gyártmányú Si(Li) félvezető detektoros, energiadiszperzív röntgenspektroszkópiai mérőrendszert használtunk. A mérőrendszer blokkvázlata az 1. ábrán látható. A Si(Li) félvezető detektor hatásfokfüggését a 2. ábra mutatja. Az ábra tanulmányozásából levonható az a következtetés, hogy fényzáró berilliumablakkal ellátott Si(Li) detektor az 1 keV és a 100 keV közötti energiatartományban használható, míg az intervallumon kívüli röntgen-, illetve γ -energiákra a mérőszonda érzéketlen, ami több, igen számottevő mérés-technikai előnnyel jár. Néhány lényegesebb ezek közül:

- a mintában jelen lévő γ - és nagy energiájú röntgensugárzó izotópok zavaró háttérnövelő hatása figyelmen kívül hagyható;
- előzetes kémiai elválasztási műveletekre nincs szükség.

Miután a ^{55}Fe 5,9 keV-os röntgenenergiájánál jelentős a sugárzás és az anyag kölcsönhatásának valószínűsége, ezért a minta többi eleme okozta mátrixhatást a mért intenzitás aktivitásfüggvényének kiértékelésénél figyelembe kell venni (pl. hig oldatok készítésével, "végtelen vékony" preparátumréteg kialakításával stb.)

1. táblázat

A primer vízben előforduló néhány korrozív elem

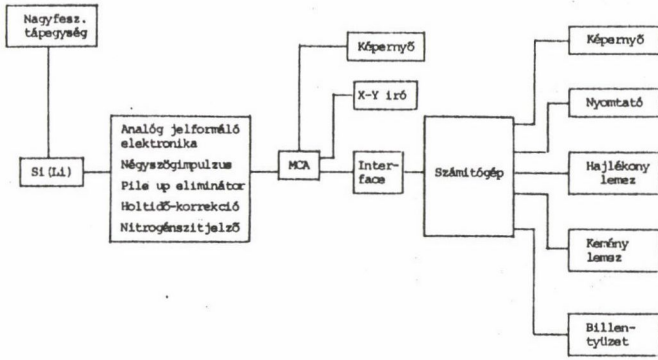
Некоторые корродирующие элементы в воде первичного контура

Corrosive elements in primary circuit water

Termék	$T_{1/2}$	Magreakció	Izotóp %	Hatáskeresztmetszet th		Bomlási mód %	E_x & E_y (keV)	E_y (keV)	f_y %	
^{55}Fe	2,72 a	$^{56}\text{Fe}(n,2n)$	91,7	-	-	0,00068	EC 100	Mn 5,898	-	-
		$^{54}\text{Fe}(n,\gamma)$	5,8	2,25	1,2					
		$^{58}\text{Ni}(n,\alpha)$	67,88	-	-	3,0				
^{54}Mn	312,5 d	$^{55}\text{Mn}(n,2n)$	100	-	-	0,258	EC 100	Cr 5,414	834,8	100
		$^{54}\text{Fe}(n,p)$	5,8	-	-	82,5				
^{58}Co	70,78 d	$^{58}\text{Ni}(n,p)$	67,88	-	-	113	EC ⁸⁵ β^+ ¹⁵	Fe 6,403	810,8	99,4
		$^{59}\text{Co}(n,2n)$	100	-	-	0,4			470	1620
								511	30	
^{51}Cr	27,71 d	$^{50}\text{Cr}(n,\gamma)$	4,35	15,9	7,7	-	EC 100	V 4,952	320,1	9,8
		$^{52}\text{Cr}(n,2n)$	83,7	-	-	0,00028				
^{65}Zn	243,7 d	$^{64}\text{Zn}(n,\gamma)$	48,6	0,78	1,8	-	EC 98,54 β^+ 1,46	Cu 8,047	511	3
									325	1155,18
^{59}Fe	44,56 d	$^{58}\text{Fe}(n,\gamma)$	0,29	1,15	1,7	-	β^- 0,7 46 53 0,3	130	140	0,9
								270	192,3	3,1
								460	340	0,3
								1560	1099,2	56,5
								1291,6	43,2	
^{60}Co	5,27 a	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)$	100	17	39	-	β^- 98,99 0,01	310	1173,3	100
								1480	1333	100

A 3. ábra egy 150 Bq aktivitású ^{55}Fe minta röntgenspektrumát mutatja ^{51}Cr izotóp (energiája: 4,9 keV) mellett, valamint a 4. ábra 200 Bq ^{55}Fe -minta spektrumát 8 MBq aktivitású $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ izotóptartalmu zavaró β -háttér mellett. Az ábrán jól látható, hogy a több nagyságrenddel nagyobb β -háttér zavaró hatása is elhanyagolható. Hasonló jelenséget tapasztalunk, ha a több nagyságrendű háttérrel pl. ^{137}Cs vagy ^{60}Co okozza.

- A szerzők tapasztalata szerint a módszer teljesítőképességére jellemző:
- az alsó kimutatási határ Bq nagyságrendbe esik, ami mintaelőkészítéssel, speciális mérési eljárással tovább javítható;
 - felfelé pedig a mérőrendszer feldolgozó képessége szab csak határt.

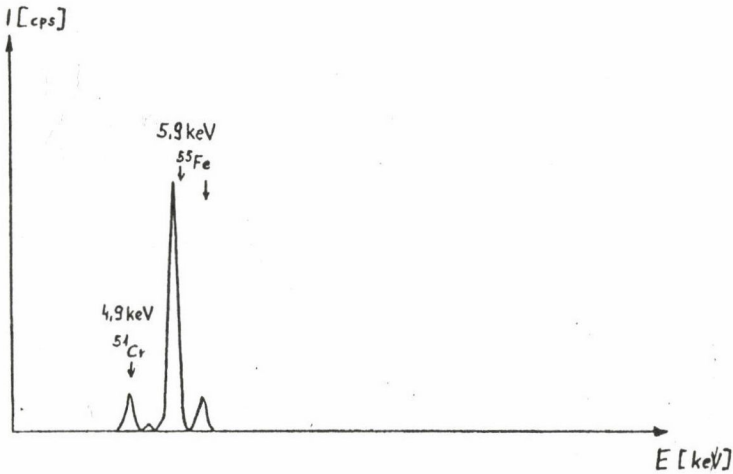
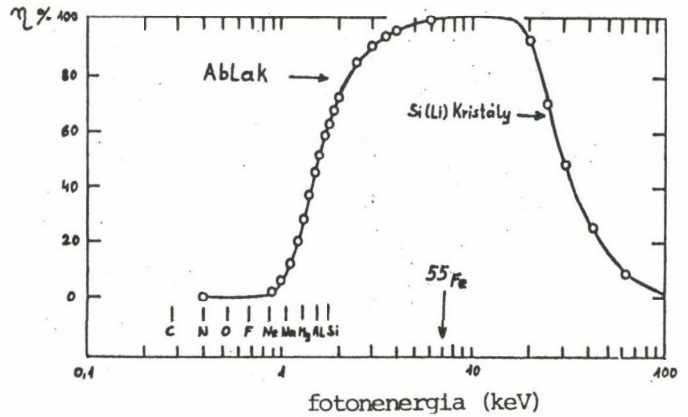


1. ábra

A mérőrendszer tömbvázlata
 Схема измерительной системы
 Block diagramme of the measuring system

2. ábra

A mérőrendszer hatásfoka az energia függvényében
 Эффективность измерительной системы в зависимости от энергии
 Efficiency of the measuring system as a function of energy

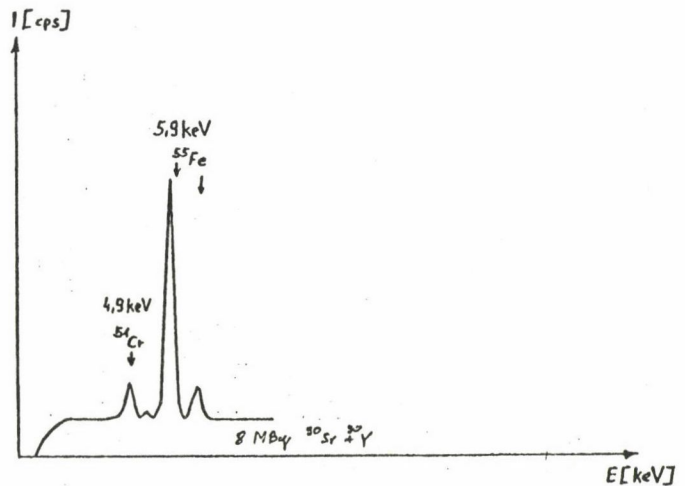


3. ábra

⁵⁵Fe spektruma ⁵¹Cr jelenlétében
 Спектр ⁵⁵Fe в присутствии ⁵¹Cr
⁵⁵Fe spectrum in the presence of ⁵¹Cr

4. ábra

⁵⁵Fe spektruma 8 MBq ⁹⁰Sr+⁹⁰Y mellett
 Спектр ⁵⁵Fe в присутствии 8 MBq ⁹⁰Sr+⁹⁰Y
⁵⁵Fe spectrum in the presence of 8 MBq ⁹⁰Sr+⁹⁰Y



Az aktivitás mérésére energiadiszperzív Si(Li) félvezetődetektoros berendezést használtunk. Kidolgoztuk az ehhez szükséges méréstechnikát.

АНАЛИЗ ^{55}Fe РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ АНАЛИЗАТОРОМ
Грещич, И., Ормай, П., Шоймоши, Й., Надь, Л.Дь.

Активность измерялась на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализаторе, кремниевым детектором. Разработан способ измерения активности.

DETERMINATION OF ^{55}Fe CONTENT BY XRF EQUIPEMNT
Gresits, I., Ormai, P., Somogyi J., Nagy L.Gy.

Activity was determined by an energy dispersive analyzer with Si(Li) detector. A technique was developed for the measurement.

ATOMKI REA-BERENDEZÉS ÜZEMELTETŐINEK LISTÁJA

INTÉZET	CIM	KEZELŐ	BESZERZÉS IDŐPONTJA
ATOMKI REA Det. fejl. csoport NAO VDG csoport Ciklotron alk. oszt.	Debrecen, Bem tér 18/c 4026	Bacsó József Kis-Varga Miklós Pálinkás József Koltay Ede Mahunka Imre	1976-tól (2 db) (2 db)
Székesfehérvári Nehézfémöntöde	Székesfehérvár, Seregélyesi u. 98 8002	Murányi Magdolna	1978
Állategészségügyi és Élelmiszerellenőrző Központ	Budapest, IX., Mester u.81 1091	Kis Béla	1978
BME Vegyészmérnöki Kar, Fizikai-kémiai Tanszék	Budapest, XI., Egri J.u.20-22 1111	Gresits Iván	1978
KFKI Kémiai főosztály Analitikai csoport	Budapest, XII. Konkoly-Thege ut. 29-33 1121	Bakos László	1979
ELTE Atomfizikai Tanszék	Budapest, VIII., Puskin u.5-7 1088	Pongrácz Csaba	1979
Gabona Tröszt	Budapest, Pf.: 232 1368	Palócz András	1980 1989 (2 db)
M.Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet	Budapest, XIV., Columbus u. 17-23 1145	Siklós Albert	1980
KLTE Izotóplaboratórium	Debrecen, Egyetem tér 1 4010	Bacsó Józsefné	1980
JATE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék	Szeged, Dugonics tér 13 6701	Bertalan Ákos	1981
EMG	Budapest, Pf.: 5 1361		1981 (5 db)
KFKI Fémkutatói osztály	Budapest, XII. Konkoly-Thege ut. 29-33 1121	Konczos Géza	1982
KFKI RMKI	Budapest, XII. Konkoly-Thege ut. 29-33 1121	Szentpéteri Imre	1982 (3 db)

INTÉZET	CIM	KEZELŐ	BESZERZÉS IDŐPONTJA
Almásfüzitői Timföldgyár	Almásfüzitő, Fő u. 1 2931	Kaptai György	1982
KLTE Kísérleti Fizikai Tanszék	Debrecen, Bem tér 18/a 4026	Szalóki Imre	1983 1989 (2 db)
Hajdusági Iparművek	Téglás 4243	Hadady Gyula	1984
MTA Geokémiai Kutatólaboratóriuma	Budapest, Budaörsi u. 45 1112	Nagy Géza	1984
Paksi Atomerőmű Vállalat	Paks, Pf.: 71 7031	Puskás Jenő	1985
Autóipari Kutató és Fejlesztő Intézet	Budapest, XI., Csóka u. 7-13 1115	Balogh István	1986
Magyaróvári Timföld- és Műkorundgyár	Mosonmagyaróvár, Pf.: 75 9201	Rácz Attila	1987
POTE Biofizikai Intézete	Pécs, Szigeti u. 12 7643	Kutas László	1987
TAURUS Gumiipari Vállalat	Budapest, VIII., Kerepesi u.17 1965	Sinka Gábor	1988
Központi Bányászati Fejlesztő Intézet Robbantástechnikai főosztály	Tatabánya, Pf.: 314 2803	Papp József	1988
Rippl-Rónai Múzeum	Kaposvár, Május 1. u. 10 7400	Költő László	1989
Csehszlovákia			1987-től (3 db)
Kuba			1987 (1 db)
Mongólia			1988 (1 db)
Románia			1989 (3 db)
NDK			1989 (1 db)

A REA SZEMINÁRIUM RÉSZTVEVŐINEK LISTÁJA

NÉV	INTÉZMÉNY	CIM	KÉSZÜLÉK	KUTATÁSI TERÜLET
Szalóki Imre	KLTE Kisérleti Fizikai Tanszék	Debrecen, Bem tér 18/a 4001	Si (Li) Kristalloflex K 7104	EDREA
Demény Péter	HCM RT	Miskolc, Pf.: 21 3501	ARL 74000	Cementgyártási alap-és segédanyagok, kemence- liszt, klingerit cement
Haraszti Csaba	KLTE Szilárdtest Fizikai Tanszék	Debrecen, Egyetem tér 1 4001		
Nagy Géza	MTA Geokémiai Kutató- laboratórium	Budapest, XI., Budaörsi ut 45 1112	JCXA-733	Geológiai minták és mű- termékek mikroszkópiai méretű fázisainak vizsg.
Pozsgai Imre	MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézet	Budapest, Pf.: 76 1325		Mikro-röntgenfluoreszcen- cia
Máthé György	ATOMKI	Debrecen, Bem tér 18/c 4026		Módszer-és készülékfej- lesztés
Bertalan Ákos	JATE, Ásványtani, Geoké- miai és Kőzettani Tanszék	Szeged, Egyetem u.2-6 6701	Rtg-csőves gerjesz- tés (Si (Li)) EMG 31800	Geológiai, ásványtani min- ták, biológiai minták (növény, nektár, pollen), folyadékvizsgálat (viz, AS)
Bocz András	Dunai Vasmű, MBF	Dunaujváros, Pf.: 110 2401	ARL 72000 8660	Kohászati alapanyagok, salakok
Szilvássy Zoltánné VE		Veszprém, Pf.: 158 8201		Ipari radiometrikus mód- szerek
Faludi György	VE	Veszprém, Pf.: 158 8201	Ge (Li)	

NÉV	INTÉZMÉNY	CIM	KÉSZÜLÉK	KUTATÁSI TERÜLET
Gergely Gábor	WE	Balatonalmádi, Lenin u. 57/A 8220		Félvezető detektorok
Csikósné Hartyán Zsuzsa	"	"	PW 1410	Kémiai állapotok megk. geol. analízis, festék RFF
Nagy L. Gy.	BME Fizikai Kémiai Tanszék	Budapest, XI., Egri J.u. 20-22 1111		} Nukleáris mérés-technika
Solymosi József	"	"	ATOMKI	
Gresits Iván	"	"		
Soós János	"	"		
Hartmann Péter	"	"		
Lengyel Tamás	WE	Veszprém, Pf.: 158 8201	Ge(Li)	OXRF
Kis-Varga Miklós	ATOMKI	Debrecen, Pf.: 51 4001	ED XRF	} Si(Li) detektorok fejlesztése
Kalinka Gábor	"	"	"	
Redler László	SZIKKTI	Budapest, III. Bécsi u. 126 1034	PW 1470 URA 30	Cementkeverék különleges cementbe
Magyar Lászlóné	"	"		Szilikátipari nyersanyagok, félkész, ill. késztermékek kémiai vizsgálata
Kaiser Éva	MOTIM	Mosonmagyaróvár	ARL...	

NÉV	INTÉZMÉNY	CIM	KÉSZÜLÉK	KUTATÁSI TERÜLET
Imre Aladárné	MTA ALUTERV-FKI	Budapest, XIII. Pozsonyi ut. 56 1133	JCXA-733 elektr.mikrosz.	
Méray László	VVE	Veszprém, Pf.:158 8201	Ge(Li), Si(Li)	Standardmentes elemzés. Elméleti számítások, Monte Carlo szimuláció
Bálint Tibor	"	"	"	Spektrumfelbontás. Detektorok holtidejének mérése. Neutronaktivitás
Török Szabina	KFKI	Budapest, XII.Konkoly-Thege u. 29-33 1121		} Biológiai mintákon környezetvédelem, szinkrotronsug. gerjesztés
Sándor Svetlana	"	"	"	
Szőkefalvi N. Zoltán	"	"	PEXE	
Kovács Kristóf	VVE	Veszprém, Pf.:158 8201		Scanning elektronmikroszkópban létrejövő röntgenspektrumok
Uzonyi Imre	ATOMKI	Debrecen, Bem tér 18/c 4001	ED XRF	
Bacsó József	"	"	ED XRF	
Papp József	Bányászati Kutatóintézet	Tatabánya 2800	ATOMKI	

309.024

HU ISSN 0865-0497

14.9

1990

3

itd

izotóptechnika, diagnosztika

Felelős szerkesztő: Veres Árpád

A szerkesztőség címe:

Az MTA Izotópkutató Intézete
Budapest, Pf. 77, 1525

Felelős kiadó: Földiák Gábor

Készült az MTA Központi Fizikai
Kutatóintézete házi sokszorosí-
tójában.

Felelős vezető: Gonda Péter

Törzsszám: KFKI-1990-344

A szerkesztőbizottság:

Bába Miklós, Baranyai Lajos, Fehér
László, Földes János, Illy József,
Jánoki Győző, Kárteszi Mihály, Ke-
szei Csaba, Köteles György, Len-
gyel Tamás, Márton József, Máté
Ferenc, Medveczky László, Molnár
Gyula, Szilvási István

1990-től terjeszti az
MTA IZOTÓPKUTATÓ INTÉZETE

Megrendelésükre számlát küldünk.
Cimünk:

BUDAPEST, Pf. 77, 1525

Előfizetési díj egy évre 320 R
Egyes szám ára 80 R

Megjelenik évente négyszer.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE!

A kéziratot két példányban, magyar
nyelven, magyar, orosz és angol
nyelvű címmel, ábra- és táblázat-
felirattal, eredeti közlemény ese-
tén pedig ugyancsak e három nyel-
ven készült, kb. 100 - 150 szónyi
kivonattal kérjük. A helyesírás
az akadémiai helyesírás szabályait
kövesse, a mértékegységek pedig az
SI-t.

Rajzos ábrát tussal kihuzva vagy i-
gen fekete vonalú gyorsmásolatban,
fényképet eredetiben kérünk. A ké-
peket, rajzokat kívánságra vissza-
küldjük.

A szerkesztőség a stiláris és he-
lyesírási változtatás jogát fenn-
tartja magának. A szerzők korrektu-
rát és 50 különlenyomatot, valamint
egy tiszteletpéldányt kapnak.

Hirdetést felvesszünk, kongresszusi
felhívást, értesítést, hirt szive-
sen fogadunk.

*

Az IZOTÓPTECHNIKA, DIAGNOSZTIKA a
 hazai izotópkalkalmazás és klinikai
 kémiai fejlesztés szerteágazó terü-
 leteiről és aktuális elvi, valamint
 módszertani eredményeiről kíván le-
 hetőleg teljes képet adni a hazai
 szakembereknek. Célja, hogy a stabi-
 lis és radioaktív izotópok és nem
 aktív diagnosztikumok orvosi, mező-
 gazdasági, ipari felhasználásában el-
 ért alap- és alkalmazott kutatási
 eredményekről, a sugártechnika és
 sugárvédelem időszerű és módszertani
 kérdéseiről, a radioaktív hul-
 ladék biztonságos kezeléséről és
 más, hasonló területekről tájékoz-
 tasson.

*

Utibeszámló, konferenciabeszámoló,
összefoglaló tanulmány, könyvismer-
tetés formájában tájékoztat az ér-
demesnek ítélt hazai és külföldi e-
redményekről. Ismertetést, vitacik-
ket, tájékoztatót közöl a hazai
szakmai körök életéről, problémáiról,
javaslatairól.

itd 1990 3

Izotóptechnika, diagnosztika

33. évfolyam

TARTALOMJEGYZÉK

- Nagy felbontású PIXE kristályspektrométerrel
Török I. 161
- PIXE (индуцированное протоном рентгеновское излучение) высокого разрешения на кристаллическом детектор-спектрометре
Török, I.
- High-Resolution PIXE with a Crystal Spectrometer
Török, I.
- Kovászna (Székelyföld - Románia) szén-dioxid-tartalmu "gőzlőinek" természetes radioaktivitása
Szabó E. 171
- Естественная радиоактивность взрывов, содержащих двуокиси угля в г. Ковасна (Земля Секейов, Румыния)
Сабо, Э.
- The Natural Radioactivity of Mofette-Type Carbonic Acid Emanations in Kovászna (Székely Land - Romania)
Szabó, E.
- A radioizotópos nyomjelzéstechника ipari alkalmazása Albániában (1983-88)
J. Thereska, T. Cuci, P. Spahiu, E. Plasari 181
- Применения в Албании мечения радиоизотопами в промышленности
Тжереска, Й., Цуци, Т., Спахиу, П., Пласари, Э.
- Industrial Use of Radiotracer Technique in Albania
Thereska, J., Cuci, T., Spahiu, P., Plasari, E.

A talajviz mozgásának érzékeny és gyors felderítési módszere: a radioizotópos nyomjelzés technika Baranyai L.	191
Радиоизотопная индикация - чувствительный и быстрый метод разведки движения грунтовой воды Бараньяи, Л.	
Radioisotopic Tracing: A Sensitive and Rapid Method of Following Up Ground Water Motion Baranyai, L.	
NUKLEÁRIS KÖRNYEZETVÉDELLEM RADIOANALITIKAI MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI, VERŐCEMAROS, 1990. OKTÓBER 3-5.	197
РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ЯДЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ВЕРЭЦЕМАРОШ, 2-5 ОКТЯБРЯ 1990 Г.	
RADIOANALYTICAL METHODS AND DEVICES OF NUCLEAR ENVIRONMENTAL PROTECTION, VERŐCEMAROS, OKTOBER 2-5, 1990	
ELŐADÁS-KIVONATOK	
A KFKI nukleáris környezetellenőrzési K+F programja Fehér I.	199
Gamma-spektrometriai módszer a kihullott radioaktivitás talajbeli eloszlásának gyors meghatározása Zombori P., Németh I., Andrásfi A.	199
Nukleáris környezetellenőrzés a KFKI-ban Lőrinc M., Lancsarics Gy., Sági L.	200
Környezeti radioaktivitás mérési eszközei, módszerei, eredményei a FM radiológiai hálózatában Kiss B., Tóth V-né, Tarján S.	201
$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ aktivitásarány meghatározása csernobili eredetű radioaktív szennyeződés tartalmu aerosol mintákban, kémiai elválasztás nélkül Papp Z., Daróczy S., Dezső Z., Pázsit Á., Nagy J.	201
Környezeti minták α -aktivitásának mérése szilárdtestnyomdetektorral Kocsis Zs., Lengyel T., Somlai J.	202
Instabilitás tríciumos betonminták gázátáramlásos számlálóval való mérésénél; a mérések kiértékelése Gaál S., Házi E., Bérci K.	203
A hasadási termékek aktivitáscsökkenésének vizsgálata Solymosi J., Zagyvai P., Nagy Lajos Gy., Baumler E.	203
Gamma-spektrumkiértékelő programrendszer IBM AT kompatibilis számítógépen Zagyvai P., Gujgiczler Á., Zsille O., Hartmann P., Solymosi J., Nagy Lajos Gy.	204
Béta-sugárzó radioaktív izotópok felületi és térfogati radioaktív koncentrációjának mérése intenzív gamma-háttérben Solymosi J., Zagyvai P., Gujgiczler Á., Nagy Lajos Gy., Pintér T.,	205
"BNS-90" sugárszennyezettség-mérő műszer Baumler E., Sarkadi A., Gujgiczler Á., Solymosi J., Zagyva P.	206

III

Nukleáris detektorok előállítása és alkalmazása személyi és környezetvédelmi műszerekben Erdélyi K.	207
A paksi atomerőmű nukleáris környezetellenőrzése	
I. Az alkalmazott főbb berendezések és módszerek Virágh E.	208
II. A folyékony és légnemű kibocsátás ellenőrzésének eredményei 1989-ben Valent G., Ormai P.	209
III. A környezetellenőrzés eredményei 1989-ben Barnabás I., Germán E.	210
Mérőberendezés atomerőmű primer és szekunder köre közötti szivárgás ellenőrzésére Bódis D., Dési S., Fehér Á., Molnár F., Pataki Gy., Vajda N., Pintér T.	210
A környezeti levegő tríciumtartalmának vizsgálata Csaba E., Uchrin Gy., Kozák J.	211
Atomerőművi levegőtisztító berendezések (jódszűrők) in situ impregnálása Gimesi O., Segesváry G., Ormai P., Pungor E.	212
A talajviz mozgásának érzékeny és gyors felderítési módszere: a radioizotópos nyomjelzéstechnika Baranyai L.	213
Radioizotópok migrációja talajban Baranyai L., Pentz G., Koppány Zs.	213
Radioaktív cézium-ionkoncentráció eloszlása szervesetlen ioncserélő oszlopon Pátzay Gy., Tóth B.	214
Az ^{110m}Ag , K, Al, Ca és Fe kémiai formájának vizsgálata talajban, különböző extrakciós módszerekkel Guczi J., Kerekes A., Bulman, R.A., Szabó Gy.	214
$^{110m}\text{Ag(I)}$ és $^{125}\text{I(-I)}$ adszorpciós tulajdonságainak vizsgálata kémiailag kötött huminsavas gélen Guczi J., Angelová, A., Bulman, R.A., Szabó Gy.	215
Vas és kobalt meghatározása elektrokémiai módszerekkel "szabad szintű" radioaktív vizekben Szentgyörgyi P., Rakiás F., Bodor E-né	216
Különböző szénpernyefrakciók neutronaktivációs analitikai vizsgálata Baranyainé Fliszár R., Sziklainé László I., Rausch H., Zemplénné Papp É.	217
Szálló szénpernye, mint környezetszennyező hulladék: toxikus elemek eloszlása különböző pernyefrakciókban Rausch H., Sziklainé László I., Baranyainé Fliszár R., Sándor Sz., Zemplénné Papp É.	217
HIR	
Anyagszigetelés nagy aktivitású radioaktív hulladéktárolókhoz Nagy G.	219

NAGY FELBONTÁSÚ PIXE KRISTÁLYSPEKTROMÉTERREL*

Török István

Az MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen, Pf.:51, 4001

(érkezett 1990. április 27-én)

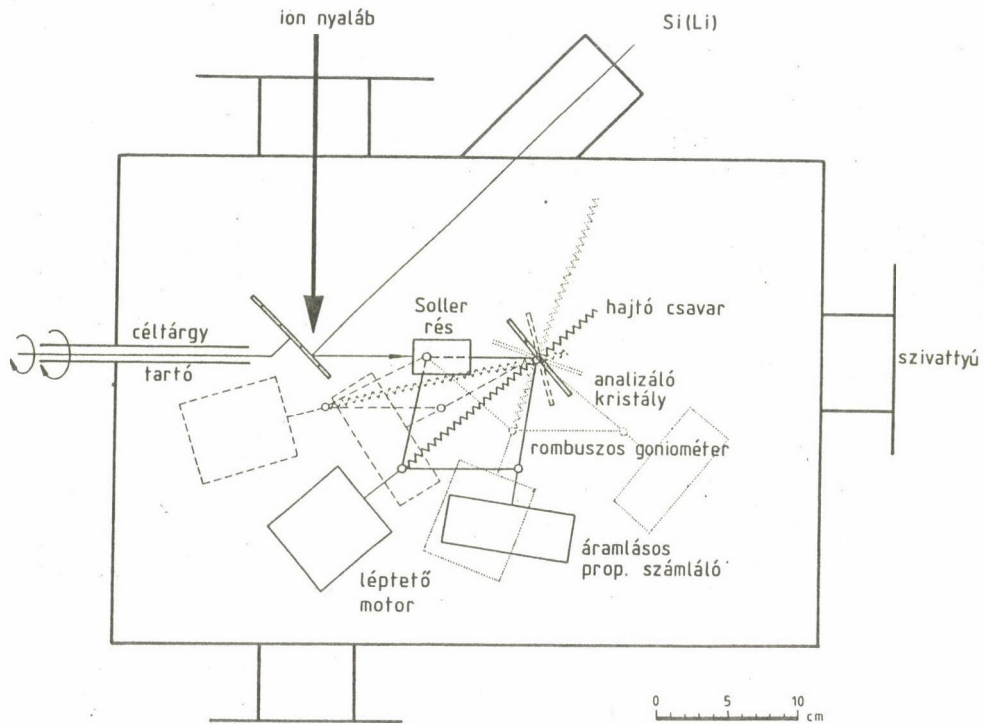
BEVEZETÉS

A PIXE elemanalitikai módszer, hasonló a REA-hoz (röntgenemissziós analízishez), de a minta atomjainak gerjesztésére a röntgensugarak helyett ionnyalábot használunk. Az elnevezés az angol Particle Induced X-ray Emission (részecskékkel keltett röntgenemisszió) kezdőbetűiből álló betűszó. A részecske többnyire proton. A hagyományos PIXE félvezető Si(Li) detektort használ a keltett röntgenspektrumok mérésére. Ennek energiafelbontó képessége valahol 120-210 eV között van. Az ATOMKI-ban ezt a módszert rutinszerűen alkalmazzák, többek között klinikai és meteorológiai minták mérésére. Vannak esetek, amikor a Si(Li) detektor felbontása nem elegendő. A feloldást javíthatjuk kristályspektrométer alkalmazásával. A nagyobb felbontóképességért a kristályspektrométer jóval kisebb fényerejével kell fizetni.

A MÉRŐRENDSZER

A közelmúltban az ATOMKI-ban egy sikkristályos (Soller-típusú) röntgenspektrométert helyeztünk az intézet 5 MV-os Van de Graaff generátorának egyik ionnyalábjára. Az 1. ábra a spektrométer vákuumkamrájának a vázlata. A beérkező ionnyaláb forgó céltárgytartó hat céltárgyának egyikére csapódik be. A keltett röntgensugarakat egy Soller-részrendszer 0,3°-os névleges szögdivergenciájúra kollimálja. Az analizáló kristályt rombuszos goniométerre szereltük, a rombusz egyik csucspontjához. A röntgensugarak a rombusz egyik, ebből a csucspontból induló oldalával párhuzamosan érkeznek, s a reflektált (diffraktált) sugarak a másik, ebből a csucsból induló oldallal párhuzamosan haladnak tovább. Ez utóbbi oldalhoz van erősítve a röntgendetektor, egy áramlásos proporcionális számláló, amely P-10-es gázzal működik (90% Ar + 10% CH₄). A rombusznak az az átmérője, amelyik az analizáló kristálytól indul, precíziós csavarorsó, amelyet léptetőmotor hajt. A rombusz nyílása és záródása biztosítja a kristály és a detektor megfelelő Θ - 2Θ (Θ a Bragg-szög) mozgását. Az 1. ábrán a goniomé-

*Előadás a "Nukleáris módszerek a bányászatban, geológiában, geofizikában és geokémiában" című 8. Csehszlovák Országos Konferencián, Csorba-tó, 1989. október 9-13.



1. ábra

A rombuszos goniométeres spektrométer elve. A goniométer három helyzetben látható (folytonos, szaggatott és pontozott vonalak)

Принцип работы спектрометра с ромбическим гониометром. Гониометр изображен в трёх положениях различными линиями – сплошными штриховыми и пунктирными

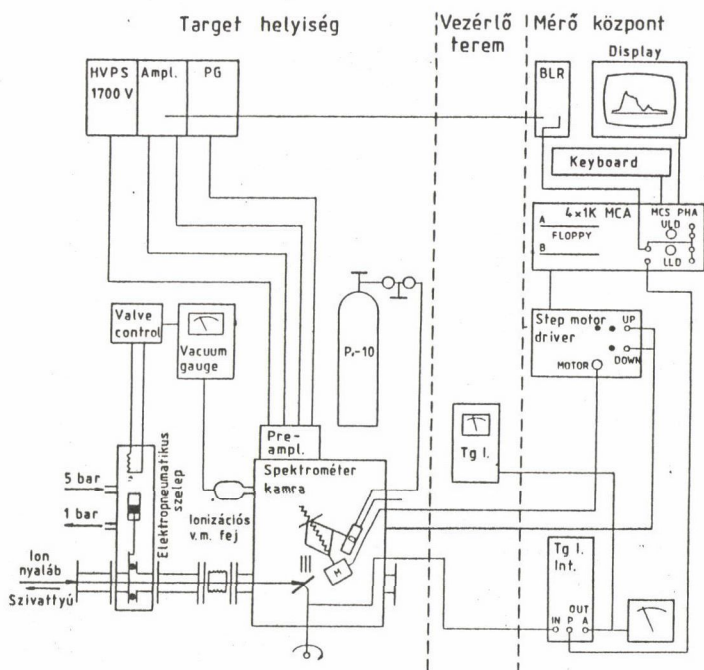
The principle of the spectrometer using the rhombic goniometer. The goniometer is shown in three positions (full, dashed, and dotted lines)

tert három állásban láthatjuk, különféle vonalfajtákkal ábrázolva.

A spektrométert egykártyás mikroszámítógép vezérli, amely egyuttal egy 4 x 1K csatornás sokcsatornás analízátor alapja is. A mikroszámítógép a spektrumok előzetes értékelését is biztosítja. A 2. ábra a teljes spektrométerrendszer blokkvázlatát mutatja be, beleértve az analóg elektronikus erősítő láncot, a tápegységeket, targetáram-integrátort és vákuumbiztonsági rendszert is.

A spektrométer könnyen áttelepíthető más gyorsítókhöz, mint a kaszkádgenerátor vagy az intézet ciklotrona. Így a bombázó részecskék és energiák széles választéka áll rendelkezésre (protontól oxigénionokig, illetve kb. 50 keV-től 25 MeV-ig).

A spektrométer bemérésekor néhány száz spektrumot vettünk fel, hogy meghatározzuk a rendszer tényleges specifikációit, pl. az energiafelbontást, a reprodukálhatóságot. Az összes mérésnél vastag céltárgyat használtunk. Nyolc fajta analízáló kristályunk van 2 Å és 25 Å közötti rácsállandóval (2d). Példaként a 3. ábrán bemutatjuk az ADP (ammónium dihidrogén foszfát; 2d = 10,64 Å) kristályunkkal kapott energiafelbontó képességet. A kereszttek a nominális szögdivergencia alapján számolt várható értékek a könnyű elemek K_{α} vonalra, a magnéziumtól kezdődően. A vonalak csak a szem vezetésére szolgálnak. A tele és



2. ábra

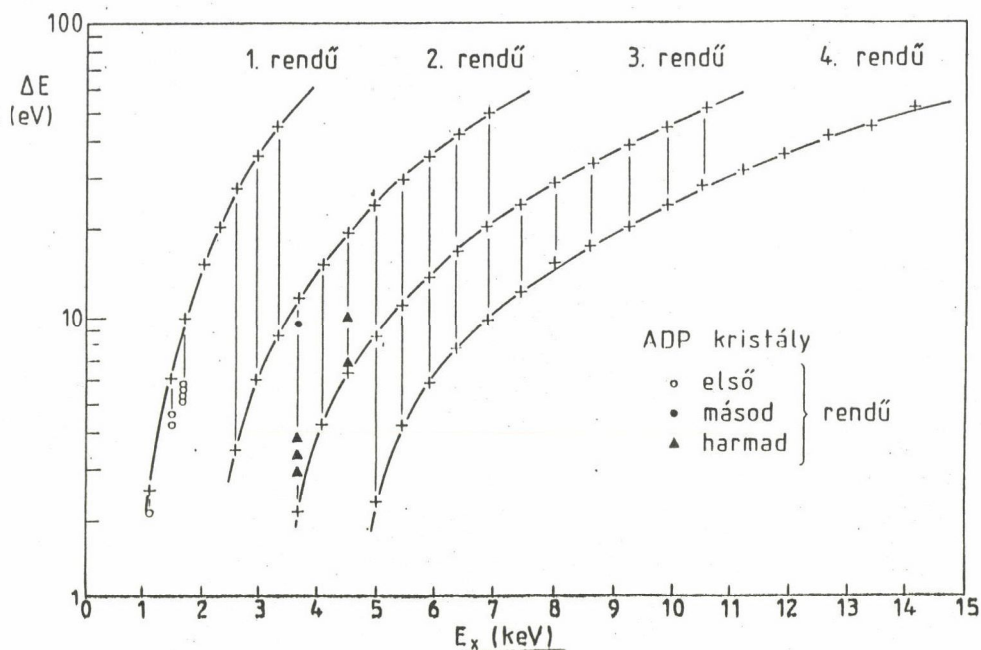
A mérőrendszer blokkvázlata

Схема системы измерения

The block diagram of the measuring system

üres körök, illetve a háromszögek a mért kísérleti értékek.

Mint látható, a berendezés használható olyan esetekben, ahol néhány vagy néhány 10 eV energiefelbontó képességet kívánunk meg. A spektrométer, kis fényereje miatt, nemigen alkalmas nyom-elemvizsgálatra. A mérőrendszer előnye a nagy felbontás mellett a viszonylag kis háttér. A rendszer részletes leírása előkészületben van, de már néhány részletet, illetve részeredményt közöltünk.¹⁻⁵ A mérőrendszer további javi-



3. ábra

Számított (+) és kísérleti (egyéb jelek) energiefelbontóképesség egy ADP kristálllyal

Расчитанные (+) и экспериментальные (остальные знаки) значения энергетического разрешения прибора с кристаллическим анализатором ADP

Calculated (+) and experimentally obtained (other symbols) energy resolving power for an ADP crystal

tását tervezzük, pl. egy jobb Soller-rés és később egy helyzetérzékeny röntgen-detektor alkalmazásával. Az utóbbi rövidebb mérési időt tesz lehetővé, és kiküszöböli a normálási problémák nagyrészét.

Geológiai célokra a berendezés minden olyan probléma megoldására használható, ahol a fenti tulajdonságok előnyösek. Példaképpen bemutatunk néhány mérést a mészkövek dolomitizálódási fokának meghatározására. Ezek jól demonstrálják, hogy milyen lehetőségek vannak a mérések jellemzőinek javítására.

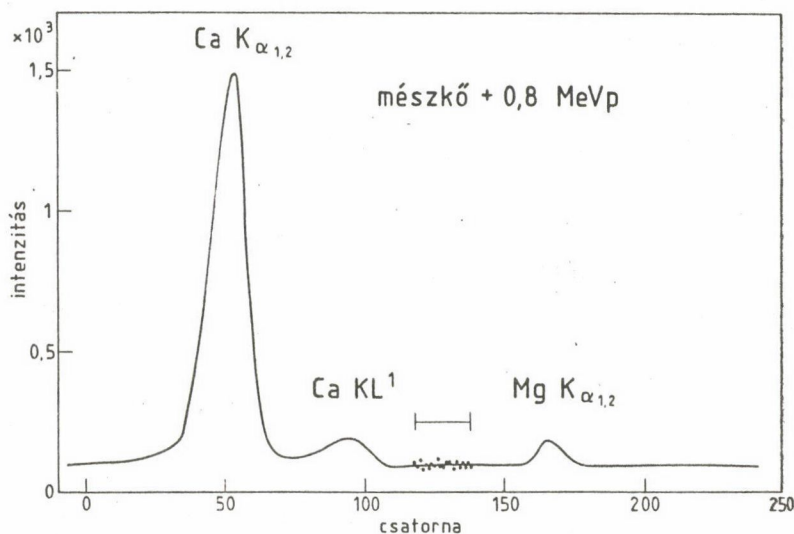
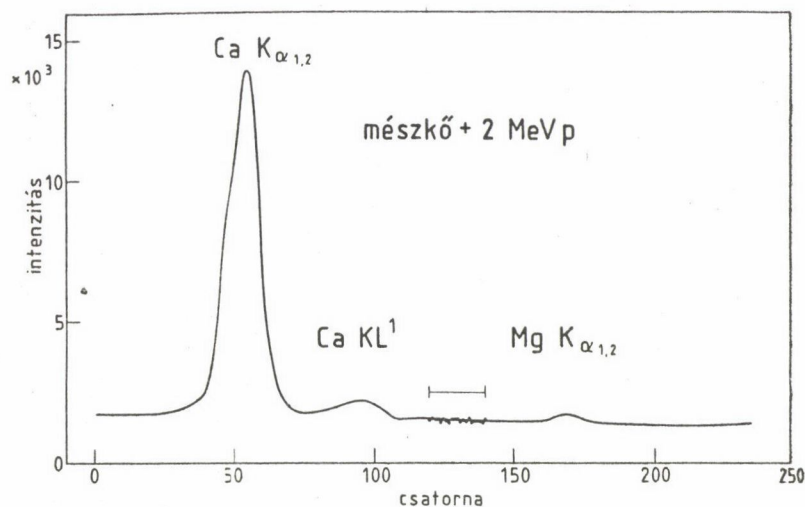
MÉSZKÖVEK DOLOMITIZÁLÓDÁSI FOKÁNAK MÉRÉSE

Az energiafelbontó képesség mérése folyamán, hogy megkapjuk a Ca K_α vonal harmadrendű reflexióját, a Bükk-hegységből származó, természetes mészkődarabot használtunk céltárgyként. A spektrométer kis fényereje miatt 10 alkalommal pásztáztuk végig a Ca K_α vonal szögtartományát, a kapott spektrumokat csatornánként összegeztük, hogy elfogadható statisztikát kapjunk. Az összegezés folyamán egy igen kis csucs vált megfigyelhetővé, amint "kinő" a háttér statisztikus ingadozásából. Kiderült róla, hogy a Mg K_α vonal elsőrendű reflexiója. A 4. ábra felső spektruma az, amit így kaptunk.

Nem meglepő, hogy a mészkőben kis magnéziumot találunk. A mészkövek magnéziumtartalma a genetikájukra jellemző: elárulja, hogy milyen fajta vízből rakták le. Ez a kőzet ugynevezett dolomitizálódási foka. Így tehát érdekes lehet, hogy a véletlenszerűen kapott spektrumot, annak felvételi technikáját, hogyan lehet úgy megjavítani, hogy az elérhető maximális információt kapjuk a magnéziumtartalomról, a lehető legnagyobb pontossággal, a lehető legrövidebb idő alatt.

Az első spektrumból látható, hogy az elsőrendű Mg és harmadrendű Ca K_α vonalak közelsége lehetővé teszi, hogy az adott analizáló kristállyal elérhető legnagyobb felbontással vegyünk fel spektrumot, egy menetben, mindkét elemre vonatkozó szögtartományon, az analizáló kristály cseréje nélkül. Továbbá látszik, hogy a vonalak még elegendő távolságban vannak egymástól ahhoz, hogy ne zavarják egymást. További előny, hogy a harmadrendű reflexió viszonylag kis intenzitása csökkenti a nagyjából Lorenz-eloszlású Ca vonal hosszú farkának zavaró hatását a Mg vonal alatt. Sőt még a Ca diagramvonal első és második szatellitcsoportja is olyan messze van a Mg vonaltól, és olyan gyenge, hogy nincs számottevő zavaró hatás.

Közelítő kalibrációs görbe felvételéhez mesterséges mintákat készítettünk; ismert összetételű CaCO_3 és MgCO_3 por keverékeiből pasztillát préseltünk, és az ezek 2 MeV-es protonokkal való bombázásakor fellépő röntgensugárzás spektrumát mértük. (Ilyen energiájú protonnal kaptuk a természetes mészkő spektrumát is.) A spektrumokat az 5. ábrán láthatjuk, a belőlük számolt kalibrációs görbét a 6. ábrán. Ebből megbecsülhettük, hogy a természetes mészkődarabkának a MgCO_3 tartalma valahol 0,5-1,5% környékén van. A kalibrációs görbe vízszintes tenge-



4. ábra

Különböző energiájú protonokkal bombázott természetes mészkő röntgenspektrumai

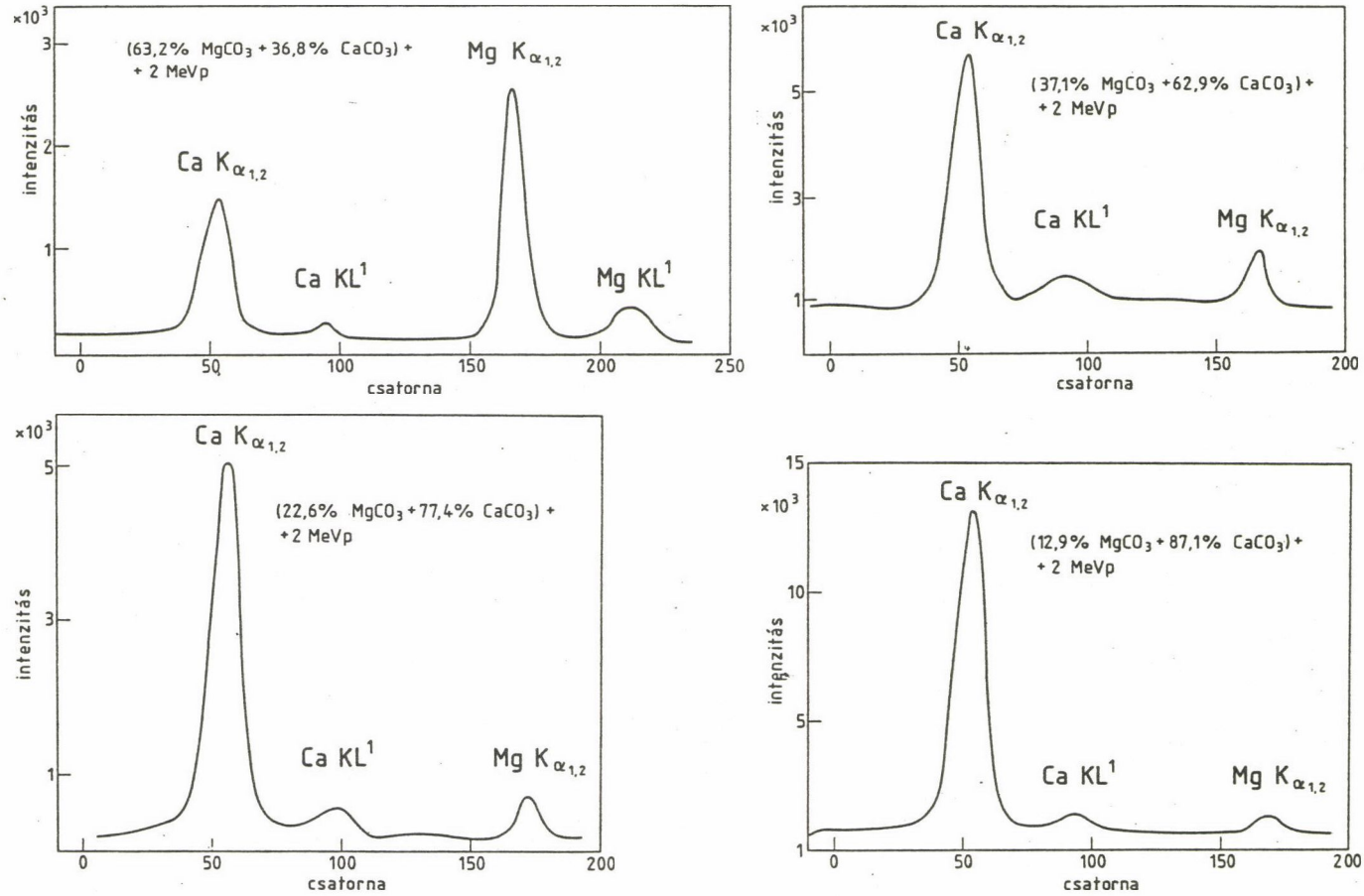
Рентгеновские спектры природного известняка, возбужденные протонами различных энергий

X-ray spectra from a natural limestone bombarded by protons of different energies

tonenergiánál a hatáskeresztmetszet-görbe meredek szakaszán vagyunk, így itt a bombázó energia 0,8 MeV-re való csökkentésével a hatáskeresztmetszet közel egy nagyságrendet csökken. Így a bombázó energia csökkentésével a gyenge Mg csúcsot felerősíthetjük az erős Ca vonalhoz képest. Az L héjakra a bombázó energia e csökkentése viszonylag kissé növeli az ionizációs hatáskeresztmetszetet. Ez annyit jelent, hogy az első és második Ca szatellitcsoport egy kicsit erősebb lesz, de nem annyira, hogy zavarni tudja a Mg vonalat. A kisebb gerjesztő

lyén a komponensek súlyszázalékának aránya van feltüntetve, a függőleges tengelyen a megfelelő K_{α} csúcsok területének az aránya.

Az aktivációs analitikai módszerekben van egy lehetőség egy-egy összetevőtől származó jelek növelésére, az ún. szelektív aktivációra, amely a különböző izotópok aktivációs hatáskeresztmetszetének különböző energiaszintjeit használja ki. Hasonló módszerre ad lehetőséget a PIXE is. A 7. ábrán a kalcium és magnézium különböző elektronhéjai ionizációs hatáskeresztmetszetének energiaszintjeit láthatjuk. A hatáskeresztmetszetek elméleti értékek, a BEA módszerrel számolva⁶. A K héjakra vonatkozóan a magnéziumnál 2 MeV-es protongerjesztésnél körülbelül a hatáskeresztmetszet-görbe meglehetősen lapos tejetjén vagyunk, így ha a bombázó energiát 0,8 MeV-re csökkentjük, a hatáskeresztmetszet csökkenése nem számottevő. Kalciumnál viszont 2 MeV pro-

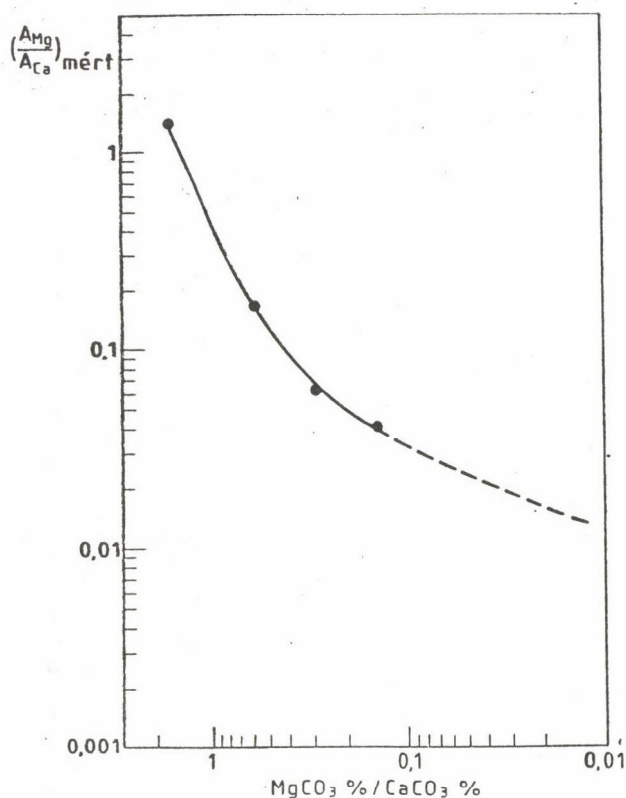


5. ábra

Ismert összetételű mesterséges CaCO_3 és MgCO_3 keverékminták röntgenspektruma

Рентгеновские спектры искусственных смесей CaCO_3 и MgCO_3 известного состава

X-ray spectra from artificial samples of CaCO_3 and MgCO_3 mixtures with known composition

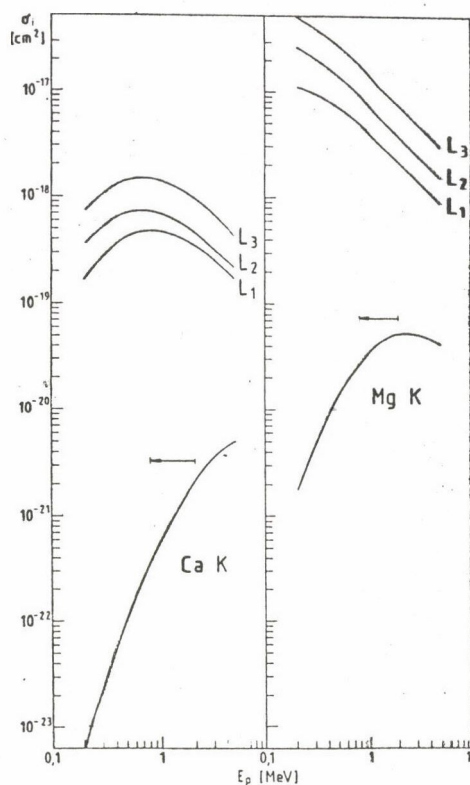


6. ábra

Az 5. ábra spektrumaiból származtatott kalibrációs görbe

Калибровочная кривая, построенная на основании спектров рисунка 5.

Calibration curve derived from the spectra shown in figure 5.



7. ábra

Ca és Mg K és L héjának ionizációs hatáskeresztmetszete protonerjesztésnél, mint a bombázó energia függvénye (BEA számolás)

Сечения ионизации K и L оболочек атомов кальция и магния в зависимости от энергий протонов, рассчитанные в бинарном приближении (BEA)

The ionization cross section of Ca and Mg K and L shells for proton excitation as a function of bombarding energy (BEA calculations)

energia némileg csökkentett háttérrel is eredményez a csúcsok alatt. Így az ionizációs hatáskeresztmetszet energiatfüggésének kihasználásával jobban mérhetjük a magnézium kis mennyiségeit sok kalcium mellett, ami éppen a mészkövek dolomitizálódási fokának mérésekor jelentkező feladat. A 4. ábra alsó részén azt a spektrumot láthatjuk, amely ugyanazon mészkődarabkának a 0,8 MeV-os protonnal való bombázásakor kaptunk, mint amelyiket az ábra felső részén látható spektrum felvételekor 2 MeV-os protonnal bombáztunk. Figyeljük meg a nagyobb Mg K_{α} csúcsot a 0,8 MeV-es bombázás esetén.

További javulás érhető el, ha tekintetbe veszünk különböző abszorpciós hatásokat: a kisebb energiájú Mg K_{α} sokkal jobban elnyelődik, mint a körülbelül háromszor olyan energiájú Ca vonal, akár a mintában magában, akár a különböző anyagokban a minta és a detektor közt (pl. a detektor ablakában).

Ahhoz, hogy a módszert viszonylag olcsó, pontos, gyors, versenyképes módszerre fejlesszük, még további mérésekre és valószínűleg további technikai fejlesztésre van szükség (többek közt egy helyzetérzékeny detektor használata ebből a szempontból is fontos lenne).

A mészkövek dolomitizálódási foka természetesen más, hagyományosabb módszerekkel is mérhető, de úgy véljük, módszerünk sok szempontból előnyös. A nedves kémiai módszer túl sok időt kíván, kényelmetlen, és kérdéses a pontossága. A hagyományos REA vagy PIXE Si(Li) detektorokkal nem teljesen megfelelő a kis energiájú Mg K_{α} vonal mérésére, mivel a detektor ablaka és a detektor felületén lévő holtréteg viszonylag vastag. Csak mostanában kaphatók speciális vékony ablaku Si(Li) detektorok, amelyek jó hatásfokkal mérik a könnyű elemek K_{α} vonalait. Még ezzel szemben is sok szempontból versenyképes a mi módszerünk a nagy energiafelbontás miatt. Az ismertetett méréssorozat lehetőséget adott, hogy bemutassuk, milyen mérési jellemzőket lehet elérni, és milyen lehetőségei vannak az optimalizálásnak a nagy felbontású, kristályspektrométeres PIXE-ben.

BEFEJEZŐ MEGJEGYZÉSEK

Az elmúlt évtizedben a világ sok táján lévő intézetből jöttek jelzések, hogy keresik a megfelelő alkalmazást nagy felbontóképességű PIXE berendezéseikhez (pl. ^{7,8}). Mindmostanáig nem túl sok olyan feladatot találtak, amely határozottan ezt a módszert kívánja. Az elsőnek említett dolgozatban ⁷ ismertetett példa csak néhány tiszta elem spektrumát mutatja be, és a másik példa ⁸ kb. 1% foszfortartalom roncsolás nélküli mérését adja amorf szilíciumban, amit más módszerekkel is lehet mérni. A szerző szívesen fogad bármilyen ígéretes ötletet együttműködésre a nagy felbontóképességű PIXE módszer alkalmazására.

*

Köszönet illeti Türk Zsuzsanna középiskolai fizikatanárt, aki segítette a minták készítésénél, a mérésekben és a spektrumok kiértékelésében, továbbá a Van de Graaf generátoros csoportot az ionnyalábok biztosításáért. A munkát az MTA-OTKA 1184-1185 sz. szerződés támogatta.

IRODALOM

1. I. Török, B. Tóth, ATOMKI Annual Report, 1986, 60
2. I. Török, B. Tóth, ATOMKI Annual Report, 1987, 66
3. I. Török, ATOMKI Annual Report, 1988, 49
4. I. Török, Acta Phys. Hung. 65 (1989) 218
5. I. Török, B. Tóth, J. de Phys. 48 12 suppl. (1987) C9-79
6. J. H. McGuire, P. Richard, Phys. Rev. A8 (1973) 1374
7. F. Folkmann, F. Frederikson, Annual Report, Aarhus, 1986, 35
8. H. Hamanaka, M. Ohura, Y. Yamamoto, S. Morita, K. Iwamura, K. Ishii, Nucl. Instr. Meth. B35 (1988) 75

A közelmúltban az ATOMKI 5 MV-os Van de Graaff generátora ionnyalábjára sikkristályos röntgenkristály-spektrométert telepítettünk. Ez lehetővé teszi PIXE vizsgálatok végzését olyan esetekben, amikor a főbb összetevő elemek röntgenvonalait nem lehet feloldani Si(Li) detektorokkal. Példaként mészkövek dolomitizálódási fokának egy mérési lehetőségét mutatjuk be.

PIXE (ИНДУЦИРОВАННОЕ ПРОТОНОМ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ) ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ
НА КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ДЕТЕКТОР-СПЕКТРОМЕТРЕ

Тёрёк, И.

Недавно разработанный дифракционный спектрометр с плоским кристаллом-анализатором был установлен на пучке ионов электростатического ускорителя типа Ван де Графа 5 МэВ в АТОМКИ. Прибор можно использовать в работах по элементному анализу когда невозможно разрешать рентгеновские линии основных элементов полупроводниковыми детекторами. Как пример даны измерения степени доломитизации известняков.

HIGH-RESOLUTION PIXE WITH A CRYSTAL SPECTROMETER

Török, I.

A plane crystal X-ray spectrometer has been installed recently on the ion beam lines of the 5 MV Van de Graaff generator of the ATOMKI. It can be used for PIXE investigations where the interfering X-ray lines of major elements cannot be resolved by Si(Li) detectors. As an example measurements of dolomitization grade of limestones are given.

KOVÁSZNA (SZÉKELYFÖLD - ROMÁNIA) SZÉN-DIOXID-TARTALMU "GŐZLŐINEK" TERMÉSZETES RADIOAKTIVITÁSA*

Szabó Endre

Orvosi és Gyógyszerészeti Intézet, Biofizikai Tanszék, Marosvásárhely, Románia

BEVEZETÉS

Kovászna a Székelyföld délkeleti részében, a Keleti-, illetve Déli-Kárpátok hajlatában, 560 m tengerszint feletti magasságban fekvő, évezredes multra visszatekintő település. Már az első ezredévforgató előtt is Kovászna környékén lakott, főleg avar és szláv - esetleg dák - települések voltak, de a közelben római castrumot is feltártak a kutatók^{1,2}.

A Kovászna név szláv eredetű, a kvász - savanyu szóból adódik, ami a környéken nagy számban előforduló savanyu-szénsavas ásványvizek jelenlétére utal. Jelenleg Kovászna nemzetközileg is elismert fürdőváros, ahol kiterjedt fürdőgyógyászati tevékenység folyik, főleg szív-érrendszeri megbetegedések hatásos kezelésére^{3,4}.

Ezen nagy multra visszatekintő fürdőgyógyászati tevékenység alapjait ma is a város és környékén nagyszámban feltörő szénsavas ásványvizeknek és szén-dioxid tartalmú gázfeltöréseknek - mofettáknak vagy "gőzlőknek" - tulajdonítjuk, amelyek az e területre jellemző vulkáni utóműködések következményeiként jöttek létre.

Ujabb az egyre növekvő hazai és nemzetközi betegforgalom szükségessé tette korszerű gyógyintézmények, szállodák és szanatóriumok létrehozását, valamint ezekkel egyidejűleg furt ásványvizkutak, valamint szén-dioxid gázkutak (szondák) furását, mivel a meglévők már nem tudták fedezni az egyre növekvő szükségletet⁴.

A szerző több mint 30 éven keresztül vizsgálta a kovásznai ásványvizek és gázömlések fizikai-kémiai tulajdonságait, különös tekintettel a szén-dioxid tartalmú gázfeltörések kémiai összetételére⁵⁻¹⁹. Ezen vizsgálatok alapján kiderült, hogy a föld mélyéből feltörő szén-dioxid gáz kisebb-nagyobb mennyiségben egyéb gázokat is (H_2S , N_2 , O_2 , CH_4 , He ^{222}Rn stb.)^{16,17} tartalmaz.

A száraz szén-dioxid gázfürdőkben (mofettákban) szabadon érvényesül a CO_2 -gáz erőteljes, azonnali értágító hatása, azonban a létrejövő bonyolult terápiás hatásmechanizmus kialakulásában - a szerző szerint - a szén-dioxid gáz hatásai mellett, igen fontos szerepe van a mofetták ^{222}Rn -tartalmának is^{13-15,17}.

*XV. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyamon (Balatonkenese, 1990. május 2-4) tartott előadás

Ezen körülmény készítette arra a szerzőt, hogy a jelen tanulmány keretében foglalkozzon a Kovászna területén jelenleg (1989) létező, gyógyászati célból használt mofetták természetes radioaktivitásával.

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS EREDMÉNYEK

A kovásznai mofetták természetes radioaktivitását ^{222}Rn -tartalmuk, valamint ennek radioaktív bomlástermékei okozzák. A ^{222}Rn jelenléte mindegyik kovásznai gázfeltörésben kimutatható, és mennyiségileg különféle módszerekkel pontosan meghatározható.

A ^{222}Rn -méréseket az 1960-as években Wulf-f. kétszálás elektométerrel összekapcsolt α -ionizációs kamrás készülékkel (Leybold-Nachfolger, Köln, illetve Spindler-Hoyer, Göttingen), áramoltatásos, saját módszerünkkel végeztük^{8,9,20}. Az 1970-es évektől kezdve a méréseinkhez saját készítésű α -szcintillációs kamrát²¹⁻²³ használtunk, áramoltatásos módszert alkalmazva. Egyes esetekben ezen mérésekkel párhuzamosan membránszűrős módszert²⁴⁻²⁶ alkalmaztunk. Ez utóbbi módszer lehetővé tette a ^{222}Rn rövid felezési idejű bomlástermékeinek (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi) a pontos meghatározását is.

Méréseink eredményeit, időrendi sorrendben, az 1. táblázat tünteti fel.

Amint a táblázat adataiból kitűnik, az 1960-1989 között vizsgált nagyszámú gázforrás ^{222}Rn -tartalma 1,96 és 19,53 kBq/m³ között változik. Nagyobb aktivitásokat általában a város központjában észleltünk, a Pokolsár közelében, amely kb. két egymásra merőleges geológiai törésvonal metszéspontjában található²⁷. Kimutatható, hogy a fontosabb radioaktív ásványvizek, illetve CO₂-gázfeltörések nagyjából ezen törésvonalak mentén helyezkednek el²⁸. Ez alól kivételt - a szerző mérései szerint - csak bizonyos geológiai mélyfurások szondagázai, mint pl. a Hankó-völgyi illetve Tündér-völgyi szondák képeznek, ahol a körzet geológiai viszonyai, illetve a furások mélysége és hozama döntően befolyásolják a kapott aktivitásértékeket. (Kovászna területének geológiai szerkezete igen változatos, legnagyobb mennyiségben meszes üledékes kőzet, kemény vulkánikus réteg és negyedkori kőzet fordul elő nagyobb mennyiségben².)

A ^{222}Rn és annak rövid felezési idejű bomlástermékei között (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi) nem találtunk egyetlen esetben sem a radioaktív egyensúlyi értéknek megfelelő aktivitást, mivel a gázforrásokból a gázok állandó kiáramlásban vannak. A bomlástermékek között a radioaktív egyensúlyhoz közelebbi aktivitásokat csak ott találtunk, ahol a gáz pangása volt észlelhető (pl. a Tündérvölgyben lévő egyes szondák, illetve mofetták esetében).

1. táblázat

Kovásznai szén-dioxid tartalmu "gőzlők" (mofetták) természetes radioaktivitása (kBq/m³).

Естественная радиоактивность (кБк/м³) "мофет", содержащих дву-окси угля в г. Ковасна

Natural radioactivity (kBq/m³) of "mofettas" containing carbon dioxide at Kovászna

Sorszám	M e g n e v e z é s	Dátum	²²² Rn	²¹⁸ Po	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	Módszer
1	Bene J. Mária mofettája	1960. I. 29	10,02	-	-	-	E
2	Közp. fürdő mofettája I.	1960. I. 30	11,84	-	-	-	E
3	Bardócz Árpád mofettája	1960. I. 30	8,28	-	-	-	E
4	Erdészeti H. mofettája	1960. I. 31	13,20	-	-	-	E
5	CO ₂ -gyári palackozó I.	1960. II. 1	4,73	-	-	-	E
6	Hankó-völgyi geológiai mélyfurás I.	1960. II. 2	1,96	-	-	-	E
7	Központi fürdő mofettája II.	1961. II.20	10,65	-	-	-	E
8	Szivkórházi közp. mofetta	1974.VII.25	9,62	4,08	1,92	1,02	Sz,M
9	Szivkórházi geológiai mélyfurás I.	1974.VII.25	1,03	-	-	-	Sz
10	Megyei Turisztikai Hivatal mofettája	1974.VII.25	12,27	-	-	-	Sz
11	Szivkórházi uj mofetta Tündérvölgy	1977. VI.29	3,27	1,18	1,16	0,75	Sz,M
12	Bene Mária mofettája	1977. VI.29	13,69	6,95	4,12	2,05	Sz,M
13	Bardócz Árpád mofettája	1977. VI.29	11,24	4,73	1,12	2,05	Sz,M
14	Uncap mofetta	1977. VI.29	19,53	9,79	8,38	3,97	Sz,M
15	CO ₂ -gyári uj palackozó	1982. X. 4	4,09	-	-	-	Sz
16	Országos Szaktanácsi Üdülők mofettája	1984. X. 6	2,53	-	-	-	Sz
17	Szivkórházi mofetta	1988. IV.10	2,32	-	-	-	M
18	Fenyő szálloda mofettája	1988. IV.15	4,72	-	-	-	Sz
19	Szivkórházi mofetta	1989. X. 23	3,08	2,06	2,94	2,65	M
20	Fenyő szálloda mofettája	1989. X. 24	2,16	1,27	1,96	1,18	M
21	Hankó-völgyi uj geológiai mélyfurás	1989. X. 25	16,78	1,67	65,06	20,08	M
22	Cascom mofetta	1989. X. 28	4,25	1,26	0,68	0,74	M

Megjegyzés: E = Elektrométer, Sz = Szcintillációs kamra, M = Membránszűrős módszer

I.	Kovászna központjának levegője (10 mérés átl.)	1982 X.1-5	5,43.10 ⁻³	-	-	-	M
II.	Marosvásárhely központjának levegője (1000 mérés átl.)	1972-1982	4,37.10 ⁻³	-	-	-	M

1.a táblázat

A Kovásznai Szivkórház uj mofettájának gázösszetétele (Tündérvölgy, 1977. VI. 29.)

Компоненты газа в новой "мофете" Кардиологической больницы в г. Ковасна (Тюндервэлдь, 29 июня 1977)

Components of the new mofetta of the Cardiological Hospital in Kovászna (Tündérvölgy, June 29, 1977)

szén-dioxid	=	85,6%
nitrogén	=	10,9%
oxigén	=	2,8%
metán	=	0,69%
vizgőz	=	11,0 g/m ³
²²² Rn	=	3,27 kBq/m ³
²¹⁸ Po	=	1,18 kBq/m ³
²¹⁴ Pb	=	1,16 kBq/m ³
²¹⁴ Bi	=	0,75 kBq/m ³

AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A ^{222}Rn -tartalmu szén-dioxidos gázfürdőkben a fő terápiás tényezőt a nagy koncentrációju (közel 100%-os) CO_2 gáz képezi. A CO_2 gáz élettani hatásai ma már közismertek, és azokat az elmúlt évtizedek során részletesen tanulmányozták^{29, 30}. Ezért ezekre itt most nem térünk ki részletesen, csupán megemlítjük, hogy a "száraz" CO_2 gázt tartalmazó mofettákban a betegek többségénél szinte másodpercek alatt igen erőteljes testfelületi hiperémia lép fel, a CO_2 gáznak a kapilláris erekre gyakorolt erős értágító hatása révén. Ennek következtében csökken a betegek vérnyomása, fokozódik a légzés szaporasága és mélysége, ami főleg a szivbetegek és egyes ízületi megbetegedések esetében fontos természetes gyógytényező. Ismételt alkalmazás során az erek visszanyerhetik rugalmasságukat, és a betegek a kúra végén - a legtöbb esetben - egészségileg jobb állapotban távoznak²⁹.

Egy másik fontos gyógytényezője a kovásznai mofettás kezeléseknek a felhasznált CO_2 gáz ^{222}Rn -tartalmával van kapcsolatban. A CO_2 gáz nélküli, ^{222}Rn tartalmu száraz légfürdők hatásmechanizmusával az elmúlt évtizedek alatt főleg osztrák szerzők³¹⁻³⁵ foglalkoztak részletesen a badgasteini, böcksteini ^{222}Rn -tartalmu száraz gázfürdőkben végzett vizsgálataik során, hogy csak a fontosabakat említsük. Ezen szerzők alapvető megállapításait e tanulmány szerzője is felhasználta az egyes CO_2 tartalmu mofettákra vonatkoztatva, kiegészítve azokat saját méréseivel és számításaival. Mivel az erre vonatkozó eredményeket a szerző régebbi munkáiban már közölte, ezért itt most a számítások részletezése nélkül, csupán a végső eredmények közlésére szorítkozunk.

A mofettázó betegek Kovásznán a CO_2 gáz ^{222}Rn -tartalma következtében a népesség nem ellenőrzött csoportjaihoz képest természetes többletsugárterhelésben részesülnek. Ez a sugárterhelés két részre bontható: külső sugárterhelésre és belső sugárterhelésre.

A külső sugárterhelés a betegek testfelületével érintkező ^{222}Rn , valamint a rövid felezési idejű radon-bojlástermékek α -, β -, illetve γ -sugárzásának a külső testfelületre gyakorolt hatásából tevődik össze. Átlagosan $11,10 \text{ kBq/m}^3$ ^{222}Rn -aktivitást véve alapul, egy kezelés alatt (max. 30 perc), Kovásznán a betegek a következő természetes sugárterhelésben részesültek^{9, 14}, amelynek dózisteljesítmény-egyenértékét a 2. táblázat tünteti fel.

Mint a táblázat adataiból kitűnik, a külső sugárterhelés dózisteljesítmény-egyenértékének legnagyobb részét az abszorbeált α -sugárzásból származó dózis-egyenérték (minőségi tényező = 10) teszi ki, "standard emberre" vonatkoztatva. Mivel az α -sugárzás zöme a bőr szaruhártyájának legkülső rétegében gyakorlatilag teljesen elnyelődik, ezért igen csekély a valószínűsége annak, hogy ez belsőleg a β -, illetve γ -dózisegyenértékét jelentősen befolyásolja. Ennek ellenére a testfelületen adszorbeálódó α -sugárzó izotópoknak igen fontos másodlagos hatása van, amely a kovásznai mofettás kezelést igen komplexé teszi, mivel az α -sugárzás, nagy energiájánál fogva (5-7 MeV), erőteljesen ionizálja a betegek

testfelületével érintkező légrétegeket. Ennek következtében a betegek testfelületét egy főleg negatív ionokban dúsz, ionizált levegőréteg, ún. "ionköpeny" veszi körül, amely a mofettázás megszűnte után is még kb. 4 órán keresztül jól mérhető⁹⁻¹¹.

2. táblázat

Külső és belső sugárterhelés dózisteljesítmény-egyenértékei egy mofettázás kezelés során

Эквивалентные значения мощности доз от внешней и внутренней нагрузки в ходе одной процедуры в мofette

Dose rate equivalents of external and internal burden during a treatment in a mofetta

Külső sugárterhelés átlagértéke (a fej kivételével):

$$\dot{H}_{\alpha} = 4,50 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/h/teljes test}$$

$$\dot{H}_{\beta} = 4,78 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/h/teljes test}$$

$$\dot{H}_{\gamma} = 8,98 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/h/teljes test}$$

$$\dot{H}_{\alpha+\beta+\gamma} = 4,55 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/h/teljes test}$$

Belső sugárterhelés maximális értéke:

$$\dot{H}_{\alpha+\beta+\gamma} = 8,78 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/h/teljes test}$$

vérnyomáscsökkentő hatás, a vér alkalinizálódása, valamint az indukált enzim- és hormonaktivitás fokozódása, antiszerotonin képződése stb.) igen hatásos módon egészítik ki a CO₂ hatását^{36,37}.

A betegek belső sugárterhelésének a megállapítása a kovásznai mofetták esetében sokkal bonyolultabb, mivel itt számos, más biológiai tényező is szerepet játszik, mint pl. a testalkat, nem, életkor, a betegek általános fiziológiai állapota stb. A szerző régebbi tanulmányaiban ezekkel^{15,38} részletesen foglalkozott, ezért itt is csak a végeredmény közlésére szorítkozunk.

A betegek belső sugárterhelése két összetevőre bontható fel:

1. A légzés révén a szervezetbe bejutó ²²²Rn és annak bomlástermékeiből származó dózisterhelésre,
2. a betegek bőrén átdiffundáló és a vérárammal a szervezet minden részébe eljutó ²²²Rn, valamint a belőle ott keletkező bomlástermékek által okozott sugárterhelésre.

Ezek megállapítása érdekében a szerző kísérletileg és számítással meghatározta a betegek által belélegzett ²²²Rn-mennyiségét, normális mofettázás közben. A bőrön keresztül átdiffundáló ²²²Rn mennyiségét kezdetben inaktív levegővel táplált, gázmaszkkal ellátott betegek kilélegzett leheletének (ún. "leheletrádon") mérése alapján végeztük¹⁵, azonban erről a nehezen kivitelezhető módszerről, annak bonyolult volta miatt, a későbbiekben lemondtunk.

Jobb és egyszerűbben meghatározható eredményeket szolgáltatott a betegek vérének merülő β-γ G.M. csöves (EFKI, Bp.) mérése¹⁹, azonban ezen módszer nem volt eléggé érzékeny és specifikus a kis aktivitások mérésénél.

A szerző régebbi mérései szerint^{9-11,13,17} a mofetták egész gáztere, a jelenlévő, főleg α-sugárzó izotópok következtében, erősen ionizált állapotban van, és a mofetták negatívion-koncentrációja kb. 2 nagyságrenddel nagyobb, mint a külső légkörben.

A negatívion-koncentráció igen kedvező élettani hatásai (pl. idegrendszerre gyakorolt nyugtató hatás,

A legjobb eredményeket E. Pohl^{32,33} módszere alapján a betegek vére ²¹⁴Pb-tartalmának γ -spektrometriás meghatározása szolgáltatta (NK-350 spektrométer+ nagy méretű NaI(Tl) üreges kristály, Gamma Művek Bp.).

Méréseinket - az általános szokásnak megfelelően - az un. "standard emberre" vonatkoztattuk, 30%-os átlagos ²²²Rn-retencióval számolva a lágy szövetekben. A mérési előírások szigorú betartása mellett, a kapott eredményeink^{36,46} jól egyeztek E.Pohl és munkatársainak^{32,34} hasonló esetekre vonatkozó egyes megállapításaival, miszerint pl. nőknél a radonretenció jelentősen nagyobbak adódott a férfiakénál, amelynek az a magyarázata, hogy a nőkben - általában nagyobb mennyiségű zsírszövettel rendelkezvén - a ²²²Rn sokkal jobban oldódik.

Számításaink eredményeként a belső sugárterhelés dózisteljesítmény-egyenértéke a legaktívabb kovásznai mofettát (UNCAP) véve alapul:

$$\dot{H}_{\alpha+\beta+\gamma} = 8,78 \cdot 10^{-8} \text{Sv/h/teljes test}$$

és ez zömmel (kb. 70%-ban) a légzéssel a szervezetbe bejutó ²²²Rn-ből és bomlástermékeiből adódik. (A ²²²Rn bőrön keresztül történő diffúziójából méréseink szerint, csupán ezen érték kb.30%-nak megfelelő értéket kapunk, ha a külső gáztérben a ²²²Rn egyenletes eloszlása.)

Ujabbán egyes kutatók, mint pl. W. Hofmann és munkatársai,^{39,40} kísérleti állatokon nagy pontossággal ismételtén kimérték és ezáltal bebizonyították azt az egyes régebbi mérésekből már ismert tényről, miszerint az élő szervezetben az inhalált ²²²Rn és bomlástermékei nem egyenletesen, hanem szervspecifikusan halmozódnak fel. Ennek következtében olyan szervspecifikus mikro dózis-eloszlások jöhetnek létre, amelyek egymástól - még egy adott szerven belül is - igen eltérő nagyságúak lehetnek.

A kovásznai viszonyok között ezen kérdést még nem sikerült megfelelő módon megoldanunk, mivel az állatkísérleti adatoknak az emberi szervezetre való extrapolálása - egészsztestszámlálás mérések hiányában - igen könnyen hamis eredményekhez vezethet. A kérdést azonban nem tekintjük lezártnak, és így megfelelő megoldása még - többek között - a jövő kutatási feladatait képezik.

Összefoglalva: a betegek sugárvédelmének a szempontjából a mofetták ²²²Rn-tartalma - jelenlegi tudásunk szerint - nem jelent potenciális veszélyt, mivel mind a külső, mind a belső sugárterhelés értéke az engedélyezett szint alatt van (a lakosság ellenőrzés alatt álló csoportjainak az engedélyezett évi dózis-egyenértéke $H = 5 \cdot 10^{-3} \text{Sv/év/teljes test}$ ^{41,42}). Ha figyelembe vesszük a kapott dózisok időbeli eloszlását is, akkor előbbi megállapításaink még egyértelműbbé válnak.

Sugárbiológiailag ezen kis dózisoknak, melyeket a betegek a mofettás kezelés alatt kapnak, kedvező, stimuláló hatása figyelhető meg, amely hatásosan hozzájárul - többek között - a betegek általános állapotának és közérzetének a javulásához, mintegy természetes α -terápiát valósítván meg^{43,45}.

A korszerű mofettás kezeléseknek a lényege abban van, hogy a betegeknek kedvező gyógyhatást minden gyógyszeres beavatkozás nélkül, csupán a természetes gyógytényezők alkalmazásával érik el, s ezt megfelelően alkalmazott gyógyszeres kezeléssel még hatásosabbá lehet tenni.

Ma, amikor a természetes gyógymódoknak világszerte reneszánszát észleljük, úgy véljük, hogy a Székelyföldön ennek az ősi, népgyógyászati multra visszatekintő mofettás kezelésnek a jelentősége állandóan fokozódik. A jelen munka keretében igyekeztünk ezen kezeléseknek korszerű, fizikailag is megalapozott magyarázatát adni.

IRODALOM

1. *Orbán B.*, A Székelyföld leírása történeti, régészeti, természetrajzi és népismereti szempontból, Pest, 1869
2. *Gh. Sîrbu, S. Pop*, Covasna megye turisztikai évkönyve, Sport-Turism, Bukarest, 1978
3. *Hankó V.*, Székelyföld, Budapest, 1896
4. *H. Rosner, Benedek G. jr.*, Covasna, Sport-Turism, Bucureşti, 1978
5. *Balogh L., Szabó E., Soós P.*, Kovászna egyes jellegzetesebb ásványvizeinek Rn-tartalma, Orvosi Szemle (Marosvásárhely) 2 (1960) 252
6. *Barabás B., Balogh L., Szabó E.*, Kovászna fontosabb ásványvizeinek rádi-umtartalma, Marosvásárhelyi Orvosi és Gyógyszerészeti Intézet III-ik Tudományos Ülésszaka, 1960
7. *Balogh L., Szabó E., Barabás B.*, Kovászna "gőzlőinek" Rn-tartalma és radioaktív szén-savfeltöréseinek jelentősége, Orvosi Szemle (Marosvásárhely) 2 (1960) 254
8. *Szabó E.*, Determinarea conţinutului de radon al surselor naturale (mofetelor) cu caracter balneoterapeutic, Institutul de Fizică Atomică, Bucureşti, Sesiunea C.U.I.R., 1960
9. *Balogh L., Szabó E.*, Egyes kovásznai és hargitafürdői mofetták radioaktivitásának tanulmányozása Geiger-Müller-csőves számlálóval és szcintillációs számlálóval, Orvosi Szemle (Marosvásárhely) 3 (1961) 283
10. *L. Balogh, B. Barabás, E. Szabó*, Radioactivitatea apelor minerale și a gazelor naturale din Covasna, Studii și Cercetări Științifice, Fizica și Științe Tehnice, Academia R.P.R., Filiala Iași, 12 (1962) 23
11. *Balogh L., Szabó E., Bachner J., Filep Gy.*, Egyes kovásznai és hargitafürdői mofetták gázterének ionizációs vizsgálata, Orvosi Szemle (Marosvásárhely) 3 (1962) 232
12. *Szabó E., Balogh L.*, Az Olt-völgy néhány természetes szén-dioxid-feltörésének radontartalma, Orvosi Szemle (Marosvásárhely) 2 (1962) 179
13. *L. Balogh, E. Szabó*, L'étude de la radioactivité des certaines mofettes à l'aide de l'électromètre Wulf, du compteur Geiger-Müller et du compteur scintillation, Archive de l'Union Médicale Balcanique, Bucureşti, 4-5 (1963) 685

14. Szabó E., Természetes sugárterhelés Románia Szocialista Köztársaság fontosabb szénsavas "gőzlőiben", Atomtechnikai Tájékoztató 10 (1967) 71
15. Szabó E., Bocsárdi Páll Méda, Ujabb adatok egyes kovásznai ásványvizek és szénsavas gázömlések radioaktivitásával kapcsolatban, Orvostudományi Társaság, Közegészségügyi Szakosztály, Marosvásárhely, tudományos ülészak 1975
16. Szabó E., Kovásznafürdő természetes radioaktiv gyógytényezőinek vizsgálata, Izotóptechnika 21 (1978) 128
17. Szabó E., Szabó-Selényi Zsuzsánna, Ujabb fiziko-kémiai vizsgálatok a torjai Búdösbarlangban, ALUTA, Sepsiszentgyörgy 12-13 (1981) 329
18. E.Szabó, Date noi fizico-chimice referitoare la atmosfera mediului exterior din Covasna, Sesiunea Anuală de valorificare a cercetării științifice, Tg. Mureș, 14 mai 1983
19. E.Szabó, Factori naturali terapeutici în orașul Covasna, Simpozionul Tratatamentul Complex al Șterilității, Covasna, 14 iun 1984
20. E.Szabó, Metoda electrometrică pt. determinarea radonului din apă. Indicații metodologice și tehnici radiotoxicologice pentru uzul Secțiilor de Igiena Radiațiilor din cadrul Inspectoratelor de Stat, Ministerul Sănătății, București, 1969
21. E.Szabó, Dispozitiv cu scintilații pt. determinarea radonului, Igiena, București (1969) 625
22. Szabó E., Alacsony háttérű nagyérzékenységű alfaszcintillációs kamra radon és rádium mérésére, ATOMKI Közlemények, 15 (1973) 217
23. E.Szabó, Dispozitiv pentru mărirea sensibilității și eficacității camerelor de scintilație alfa pt. măsurarea gazelor radioactive, OSIM, București, Invenția Nr: 7706, Brevet de invenție Nr: 77006/17.03.1981
24. Tsivoglou E.C., Ayer H.E., Holoday G.A., Nucleonics 11 (9) (1953) 40
25. Virágh E., Laboratóriumok levegőjében lévő radontartalom meghatározása a bomlástermékek alfa-sugárzásának mérése alapján, Orvos és Technika 6 (1968) 77
26. Virágh E., Urbán A., Radon Concentration Measurements in Caves of Budapest, 2nd I.R.P.A. Congress, Brighton (1970)
27. A.Pricăjan, Apele minerale și termale din Romania, Ed.Tehnică, București, 1972
28. Szabó E., Személyes megfigyelés, Kovászna, 1959
29. Hargita megye természetes gyógytényezői, Csikszereda, 1974
30. K.E.Schaefer, Médecine sous-marine, Das Medizinische Prisma, C.H. Boehringer Sohn, Ingelheim am Rhein, 3 1978
31. Johanna Pöhl, F.Schemintzky, Das Konzentrationverhältnis Blut/Luft bei Radon-Inhalation und die Radon-Aufnahme in dem menschliches Körper im radioaktive Thermalstollen von Badgastein/Böckstein, Strahlentherapie 95 (1954) 267
32. E.Pöhl, Die Strahlenbelastung bei der Inhalation von Radium-Emanation, Strahlentherapie 119 (1962)

33. *E.Pohl*, Biophysikalischen Untersuchungen über die Inkorporation der natürlich radioaktiven Emanationen und deren Zerfallsprodukte, Springer, Wien, 1965
34. *E.Pohl, Johanna Pohl-Rüling*, Die Strahlenbelastung bei der Inhalation von Radon, Thoron und deren Zerfallsprodukten, *Strahlentherapie*, 136 (1968)
35. *W.Jacobi, A.Schraub*, Interne Strahlenexposition durch ^{222}Rn , ^{220}Rn und ihre kurzlebige Zerfallsprodukte. Die natürliche Strahlenexposition des Menschen, Thieme, Stuttgart, 1978, 118
36. *F.G.Sulman*, Health, Weather and Climate, Karger, Basel, 1976
37. *A.Varga*, Biologische Wirkungen von Luftionen, Verlag für Medizin Dr. E. Fischer, Heidelberg, 1986
38. *Szabó E.*, Adatok az emberi szervezet ^{222}Rn -felvételéről szén-dioxid-tartalmu száraz gázfürdőkben, Orvostudományi Társaság, Közegészségügyi Szakosztály tudományos ülészsaka, Marosvásárhely, 1986. jun. 6.
39. *W.Hofmann, F.Steinhäusler*, Die Mikrodosimetrie der Alphastrahlung des Radon und seine Zerfallsprodukte zur Erklärung biologischer Strahlenreaktionen auf zellulärer Ebene, *Zschr. angew. Bäder- und Klimaheilkunde* 4 (1979) 399
40. *W.Hofmann, F.Steinhäusler, E.Pohl*, Dose Calculation for the Respiratory Tract from Inhaled Natural Radioactive Nuclides As a Function of Age. I. Compartmental Deposition, Retention and Resulting Dose, *Health Phys.* 35 (1979) 517
41. Safety Series, No.9, Basic Safety Standard for Radiation Protection, I.A.E.A., Vienna, 1982
42. *Virágh E.*, Sugárvédelem, dozimetria, Budapest, 1987
43. *D. Tauchert*, Aspekte der Radontherapie in der Sowjetunion, *Z. Physiotherapie* 24 (1972) 73
44. *I.I.Gusarov*, Vortragsreihe über aktuelle Fragen der Radontherapie, *Z. Physiotherapie* 24 (1972) 413
45. "75 Jahre Radontherapie in Bad Brambach - geowissenschaftliche Voraussetzungen - Medizinische Ergebnisse und Probleme" in Bad Brambach von 11-14 Mai 1989
46. *Szabó E.*, Nem közölt adatok, Kovászna, 1989

*

A kovásznai mofetták jelentős ^{222}Rn -tartalommal rendelkeznek, amelyek aktivitása $1,03 \cdot 10^3 - 19,53 \cdot 10^3 \text{Bq/m}^3$ értékek között változik a környék geológiai adottságai függvényében.

A mofettákban végzett orvosi kezelésük során a betegek természetes külső és belső többlet-sugárterhelésben részesülnek, ami a ^{222}Rn , illetve annak bomlás-termékei (^{218}Po , ^{214}Pb illetve ^{214}Bi) α -, β - illetve γ -sugárzásból adódik.

Méréseink és számításaink szerint, a külső sugárterhelés dózisegyenérték-teljesítménye $\dot{H} = 4,55 \cdot 10^{-4} \text{Sv/h/test}$, a belső sugárterhelés dózisegyenérték-teljesítménye $\dot{H} = 8,78 \cdot 10^{-8} \text{Sv/h/test}$, és azok az engedélyezett szint alatt vannak.

ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ВЗРЫВОВ, СОДЕРЖАЩИХ ДВУОКСИ УГЛЯ В Г. КОВАСНА
(ЗЕМЛЯ СЕКЕЙОВ, РУМЫНИЯ)

Сабо, Э.

Газы мофет содержат значительное количество ^{222}Rn активностью от $1,03 \cdot 10^3$ до $19,53 \cdot 10^3$ Бк/м³ в зависимости от геологической формации окружности.

Больные под лечением подвержены внешней экспозиции от естественного фона, а также внутренней добавочной экспозиции от α -, β - и γ - излучения абсорбированного ^{222}Rn и его продуктов распада (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi). По нашим измерениям и расчетам экспозиция, эквивалентная дозе от внешней нагрузки - $4,55 \cdot 10^{-4}$ Св/ч/тело, а от внутренней экспозиции - $8,78 \cdot 10^{-8}$ Св/ч/тело. Оба значения ниже предельно допустимым.

THE NATURAL RADIOACTIVITY OF MOFETTE-TYPE CARBONIC ACID EMANATIONS IN
KOVÁSZNA (SZÉKELY LAND - ROMANIA)

Szabó, E.

Mofettes of Kovászna possess a significant content of ^{222}Rn with an activity between $1.03 \cdot 10^3$ and $19.53 \cdot 10^3$ Bq/m³ depending on the geological characteristics of the environment.

Patients under medical treatment are exposed to surplus external natural radiation exposure, as well as to an internal exposure, the latter resulting from the α -, β - and γ -radiations of the absorbed ^{222}Rn and its decay products (^{218}Po , ^{214}Pb and ^{214}Bi , resp.) According to our measurements and calculations the dose equivalent exposure from external radiation burden amounts to $4.55 \cdot 10^{-4}$ Sv/h/body and that from internal exposure to $8.78 \cdot 10^{-8}$ Sv/h/body. Both represent values under admissible level.

A RADIOIZOTÓPOS NYOMJELZÉSTECHNIKA IPARI ALKALMAZÁSA ALBÁNIÁBAN (1983-88)

J. Thereska, T. Cuci, P. Spahiu, E. Plasari

Nukleáris Fizikai Intézet Nyomjelzéstechnikai Csoportja, Tirana, Albánia

(Érkezett 1990. augusztus 24-én)

BEVEZETÉS

A radioizotópos nyomjelzéstechnikai módszereket mintegy öt éve alkalmazuk Albániában ipari célokra. A többnyire a tiranai Nukleáris Fizikai Intézetben kifejlesztett nyomjelzéses módszereket a kohászatban, a vegyiparban és egyéb iparágakban használjuk különféle technológiai problémák megoldására.

Az alkalmazások célja általában az üzemi folyamatok vizsgálata, a technológiai berendezések teljesítményének ellenőrzése és a hatásfok növelése, energiamegtakarítás és a nyersanyagok jobb hasznosítása révén.

A legfontosabb alkalmazási területek a következők: szakaszos keverési folyamatok minősítése; tárolóberendezések és vezetékek szivárgásának vizsgálata; nagyolvasztó kemencék falazatkopásának vizsgálata; anyagáramlás mérése forgó kemencékben; hibafeltárás és diagnózis ipari feldolgozóberendezésekben; technológiai folyamatok anyagmérlegének meghatározása stb.

Évente átlagosan mintegy tíz ilyen problémát oldunk meg. A radioizotópok megválasztásában azonban korlátozottak a lehetőségeink, mivel importból szerezzük be őket; ezért csak néhány napos vagy hetes felezési idejű radioizotópokat használunk, mint például ^{131}I , ^{51}Cr , ^{198}Au , ^{140}La , ^{133}Xe , ^{86}Rb , ^{59}Fe , ^{124}Sb , ^{46}Sc , ^{192}Ir , ^{58}Co stb. Az elmúlt két év során indiumgenerátort is beszereztünk (1 GBq $^{113\text{m}}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$) ami rendkívül kényelmes eszköze a radioizotópos nyomjelzésnek technológiai folyamatok elemzésére, ipari alkalmazásra.

Az iparban alkalmazott radioaktív nyomjelző anyagokra évente mintegy tízezer dollárt költünk. Az eredményeknek tulajdonítható megtakarítást több száz ezer dollárra becsüljük, így a ráfordítás aránya a hozamhoz 1:10.

A gazdasági hasznon felül a radioizotópos nyomjelzéstechnikának az iparban való alkalmazása az általános műszaki haladás szempontjából is jelentős tényező, kiterjeszti a műszaki ismereteket, és növeli a vele foglalkozók képzettségét. Ennek hasznát nem lehet számokban kifejezni, mégis jelentősen hozzájárul a gazdasági haszonhoz.

RADIOIZOTÓPOS NYOMJELZÉSTECHNIKA ALKALMAZÁSA TECHNOLÓGIAI FOLYAMATOK TANULMÁNYOZÁSÁRA

1. KEVERÉSI FOLYAMATOK

A keverékek homogenitásának tanulmányozására használt módszerek két csoportba sorolhatók: statikus mérési módszerek, amelyek a végtermék homogenitásának és a szükséges keverési időnek a meghatározását teszik lehetővé és dinamikus mérési módszerek, amelyekkel a keverőberendezéseken áthaladó anyagáram tengelyirányú diszperziója határozható meg¹⁻³.

Számos vizsgálatot végeztünk a statikus módszerrel mind egyedi keverőegységekben, mind keverőegységek sorozatában a keverési paraméterek meghatározása végett.

1.1 A KEVERÉSI KÖRÜLMÉNYEK JAVÍTÁSA A TŰZÁLLÓANYAGOK GYÁRTÁSÁNÁL

Az olivinit-kromit előállítási folyamatánál az optimális keverési időt 4-5 percnél találtuk 3-5%-os inhomogenitás mellett. A homogenizálási idő több mint kétszeres csökkentése jelentős gazdasági haszonnal járt⁴.

1.2 ÁLLATI TAKARMÁNY KEVERÉSI PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA

Az előkeverő berendezésnél a mérés során 90-95%-os homogenitáshoz mérünk, míg a kombinált takarmánykeverőnél ez az érték 80-85%-nak adódott három perces keverési időt alapul véve. Még ez utóbbi érték is belül van a termékre meghatározott homogenitáshoz.

Keverési vizsgálatokat végeztünk még kopásálló anyagoknál, detergensknél, peszticideknél stb. is. A legtöbb esetben tekintélyes keverési időcsökkenést sikerült elérnünk.

A dinamikus mérési módszerrel az alábbi vizsgálatokat végeztük.

1.3 A ZAGY ÁRAMLÁSI JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATA SZUPERFOSZFÁTGYÁRTÓ BERENDEZÉSBN

A szilárd fázis ⁵¹Cr radioizotóppal végzett impregnálásával a zagy tartózkodásiidő-eloszlását (RTD) határoztuk meg a keverőberendezésben. Ez a berendezés, amelyben az őrölt foszforitot keverik össze a kénsavval, fontos szerepet játszik az egész szuperfoszfátgyártó folyamat hatékonyságában.

A kísérleti adatok eloszlása alapján szerkesztett matematikai modell a reaktor helytelen üzemelésére utalt⁶. A kísérleti eredményekre a kevert kaszkádmodell volt legjobban illeszthető, ahol a kaszkádsor tagjainak számát $N = 1,5$ -nek találtuk. Ily módon a három mechanikai keverővel ellátott berendezés a fele annyi ideális keverőnek megfelelő eredményt mutatta. Ez a hatékonyság fele az elvárt, és széles tartózkodásiidő-eloszlást okoz, aminek következtében a zagy nagy része csak igen rövid ideig tartózkodik a keverőkamrában. Ez az idő viszont nem elegendő a szilárd fázisnak a kénsavval való összekeveredéséhez.

Ennek a hibának a kiküszöbölésére azt javasoltuk, hogy a mechanikus keverőberendezések közé betétgyűrűket helyezzenek el az egyes kamrákban folyó műveletek részleges szeparálása céljából. Ez a kismértékű szerkezeti módosítás az N paraméter növekedését okozza, ezáltal csökken az anyagnak az a hányada, amely tulságosan korán hagyja el a keverőkamrát.

Néhány más vizsgálatnál a dugattyus áramlásra jellemző diszperziós modellt alkalmaztuk. Az üzem különböző keverőberendezéseire jellemző homogenitásértékek összehasonlítására a reciprok Peclet-szám szolgált, ami a keveredés mértékének mérőszáma⁷.

1.4 A JÓD ÉS SÓ HOMOGENIZÁLÁSI FOLYAMATÁNAK VIZSGÁLATA

A jódtartalmu só gyártására szolgáló berendezésnél a forgó szárítón áthaladó anyagáram axiális diszperzióját tanulmányoztuk ^{131}I nyomjelzővel. Valamennyi kísérletnél az bizonyosodott be, hogy az anyagáram a dugattyuáramlásra jellemző módon halad keresztül a forgó szárítón, nagy Peclet-számmal ($Pe > 100$). Ebben az esetben az RTD Gauss-eloszlást követ⁷. A szárítóban éppen ez a kis axiális diszperziós koeficiens kívánatos, hogy a sószemcsék tökéletesen kiszáradjanak.

A homogenitásfok növelésével további statikus keverőkamra beépítését javasoltuk a kaszkádsor utolsó elemeként, a forgó szárító és az őrlőberendezés után.

2. ZÁRTSÁGELLENŐRZÉS

Számos ilyen vizsgálatot végeztünk tárolóberendezések és vezetékek zártságának ellenőrzése céljából, ^{131}I vizes oldatát használva nyomjelzőként folyadéktárolóknál és ^{133m}Xe gázt a földalatti távközlő kábeleknél, amelyek egyrészt ólombevonattal vannak ellátva^{8,9}.

A zártság ellenőrzése, meglehetősen kényes kérdés, és néhány esetben nem is lehet a problémát teljesen megoldani.

3. NAGYOLVASZTÓK KOPÁSÁNAK ELLENŐRZÉSE

A radioizotópos nyomjelzéstechika gazdaságosságára jó példa a nagyolvasztók kopásának mérése radioizotóp felhasználásával, amikor a hőálló bélés kopásának követése lehetővé teszi a nagyolvasztó optimális működtetését és a béléscsere megfelelő előre tervezését. Acélüzemeinkben két nagyolvasztó tűzálló bélésébe építettünk be 1-2 mCi aktivitású ^{60}Co zárt sugárforrást. Ugyanezt tettük egy krómolvasztó kemencében és két mészkőégető kemencében is¹⁰. Ez a módszer több hónapnyi időt takarít meg minden egyes kemencénél a leállási idő helyes meghatározása révén.

4. A SZILÁRD FÁZIS ÁRAMLÁSI DINAMIKÁJA IPARI BERENDEZÉSEKBE

Számos ipari termelőberendezésben szilárd fázisu nyersanyagok feldolgozása folyik. Ezen folyamatok teljesítménye, a nyersanyagok hasznosítási foka, a berendezések hatásfoka, valamint a termékek minősége nagymértékben függ a szilárd fázis mozgásának jellemzőitől.

4.1 SZUPERFOSZFÁTŐRLŐ-BERENDEZÉS ÁRAMLÁSTANI PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA

Egy szuperfoszfátőrlő-berendezés üzemeltetési paramétereit a berendezés teljesítményével összefüggésben úgy határoztuk meg, hogy az őrlendő szuperfoszfátot ^{51}Cr -ot tartalmazó oldattal jeleztük. A nyomjelző anyag aktivitása minden kísérletben 400 MBq volt¹¹.

Vizsgáltuk az átlagos tartózkodási időt, az anyag áramlási sebességét, a recirkuláltatott hányad mennyiségét, a berendezés töltési tényezőjét, a beesési szöveget és az axiális diszperziós koefficiensét.

A mért értékek figyelembevételével meghatároztuk az őrlőrendszer optimális teljesítményét, és az adatokat felhasználtuk egy nagyobb kapacitású, új őrlőberendezés tervezéséhez is.

4.2 A ZAGY SEBESSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA PAPIRGYÁRTÓ GÉPEN

A papirzagy mozgását tanulmányoztuk egy papirgyártó gépsoron. Azt találtuk, hogy a papir huzási sebessége a többi paraméter lényeges torzulása nélkül a kétszeresére növelhető.

4.3 A LATERIT SZEMCSÉK ERÓZIÓJÁNAK MEGHATÁROZÁSA FLUIDÁGYAS KALCINÁLÓ BERENDEZÉSBEN

Megbecsültük a laterit eróziójának sebességét egy fluidágyas kalcinálóberendezésben.

Az ásványi frakciót un. tömegjelzéssel nyomjeleztük, kétféleképpen:

- a 20, 70 és 125 μm -es finom szemcséket $^{58}\text{CoCl}_2$ oldattal impregnáltuk,
- a 350, 750 és 4500 μm -es durva szemcséket neutronbesugárzásnak vetettük alá atomreaktorban, melynek eredményeként ^{59}Fe , ^{46}Se , ^{60}Co és ^{51}Cr radioizotóp keletkezett.

Az erózió révén rombolt frakció részaránya két tényezőtől függ: a fajlagos felülettől és a fluidágy tartózkodási idejétől. A frakció közepes átmérőjének növelésével a fajlagos felület csökken, miközben az átlagos tartózkodási idő növekszik.

Mivel szinte lehetetlen a kalcináló berendezésben végbemenő eróziós folyamat leírására olyan egyszerű matematikai modellt felállítani, amelyet könnyen lehetne alkalmazni a termelés körülményeire, ezért az eredményeket csak grafikus adjuk meg. A görbékből kiszámítható a keletkezett por tömege is, amit az

erózió mértékéből vezettünk le a kalcináló berendezésbe belépő ásvány ismert szemcseösszetételének figyelembevételével¹².

A görbékéből számított eredmények azt mutatják, hogy az erózió a porképződés fő oka. A gázsebesség csökkentése mind az erózióval keletkező por mennyiségét, mind a berendezés felső kijáratához jutó por mennyiségét csökkenti. Mindezek alapján azt javasoltuk az üzemnek, hogy 20-30%-kal csökkentsék a kalcinálóba bevezetett levegő mennyiségét.

5. ANYAGÁRAMLÁS FORGÓKEMENCÉKBEN

A radioizotópos nyomjelzéstechnikát vetettük be a cementiparban és a vegyipar különböző ágaiban üzemeltetett forgókemencék áramlási dinamikájának tanulmányozására is.

5.1 ANYAGÁRAMLÁS NEDVES ÜZEMŰ KLINKERGYÁRTÓ KEMENCÉKBEN

A forgókemence tulajdonképpen kémiai reaktor, egyuttal keverőberendezés. Az általunk vizsgált forgókemencék több zónából álltak, melyekben bonyolult gyártási folyamatok játszódnak le¹³.

A klinkergyártó forgókemence anyagáramlási paramétereinek meghatározásához ¹⁹⁸Au nyomjelző oldatot használtunk, amit a forgókemence bemeneti oldalán az anyagáramba adagoltunk.

A mérési eredmények azt mutatták, hogy a kemencén átáramló klinker lineáris sebessége a kemence hőeloszlásától függ.

Néhány forgókemencénél a hőeloszlás nem megfelelő, ezért nem alakul ki a maximális áramlási sebesség a kalcináló berendezés középső zónájában; ennek következtében a termék minősége és mennyisége elmarad az optimálistól¹⁴.

6. A TÖLTET ÁRAMLÁSA NAGYOLVASZTÓBAN

Ezek a vizsgálatok a kohászati ipar számára bírnak nagy fontossággal.

6.1 A RÉZERC FELDOLGOZÁSÁRA SZOLGÁLÓ NAGYOLVASZTÓ VIZSGÁLATA

A rézolvasztó kemencében lezajló folyamatoknak két fő terméke van: a rézolvadék és a salak. Hogy a nyersanyagban lévő rézből és más értékes anyagokból (pl. aranyból) mennyi kerül a salakba, s megy veszendőbe, legnagyobb mértékben azon tartály működésétől függ, amelyben a rezet ülepitik.

Az anyagáramlást tanulmányoztuk az olvasztókemencében és az ülepitőtartályban radioaktív arannyal (¹⁹⁸Au). Meghatároztuk a réz kinyerési hatásfokát, valamint a rézolvadékban és a salakban lévő jelzett réz arányát.

A kísérleti módszer a nyomjelző megoszlásán alapul. A jelzőanyag beadagolása után mintákat vettünk mind a rézolvadékból, mind a salakból, egyidejűleg

mértük a radioanyag koncentrációjának időfüggését az olvasztókemence kimeneti pontján.

A nyomjelző anyagnak a salakban mért koncentrációjából világos, hogy az anyagvesztés főleg mechanikus eredetű, mivel a salakba esetenként rézcseppek kerülnek be¹⁵. A mérési eredmények szerint azonban az arany vesztése igen kis mértékű, kisebb mint 1%, alatta marad a rézvesztésnek, amelyet hozzávetőlegesen 2%-ra becsültünk az ilyen típusu olvasztóberendezések esetén; következőképpen a réz kinyerése az ércből 98% körüli hatásfokkal megy végbe.

7. IPARI TECHNOLÓGIÁK FOLYAMATELEMZÉSE

Ez a tevékenység ipari üzemek fontos technológiai-műveleti kérdéseinek vizsgálatát foglalja magába.

7.1 RTD MEGHATÁROZÁSA ÜVEGOLVASZTÓ KEMENCÉBEN

Az olvadt üveg mozgása az olvasztókemencében lényeges tényezője a termelés hatékonyságának és a termék minőségének. Egész sor olyan technológiai paraméter hatását értékeltük, amelyek jelentősek a kemence hatékony működtetése szempontjából.

A kemence tényleges kapacitása, azaz az a térfogat, amelyben az üvegolvadék homogenizálódása és kémiai reakciói mennek végbe, a fizikai térfogatnak mindössze 25%-át teszi ki, a fennmaradó 75% holtter.

A kísérletek révén szerzett adatokat a konstrukció tökéletesítésére és a kemence paramétereinek beállítására használtuk fel¹⁶.

7.2 PERNYELEVÁLASZTÓ CIKLON HATÁSFOKÁNAK ÉRTÉKELÉSE

A hőerőművek nagyméretű kazánjainál a pernyét légáram szállítja a ciklonokhoz, melyekben a pernye nagy hányada leválik, és kisebb része jut ki a környezetbe.

Kétféle ciklon leválasztási hatásfokát tanulmányoztuk három pernyeszemcseosztály esetében (0-40 μm , 40-80 μm és 80-100 μm) ⁵¹Cr radioaktív nyomjelzővel. A ciklonok összes hatásfokát a szemcseosztálynkénti hatásfok és a szemcseméret-eloszlási görbe kombinációjaként számítottuk¹⁷.

Eredményeink azt mutatják, hogy az újonnan módosított ciklonok leválasztási hatásfoka mintegy 76% volt, 15%-kal nagyobb, mint a régi ciklonoké (61%). A hatékonyság növekedését a finom (0-40 μm -es) pernyeszemcsék leválasztásának fokozódása eredményezte.

A ciklonba belépő pernyeszemcsék lognormál szemcseeloszlási görbéje alapján az újabb típusu ciklonok által leválasztható legkisebb szemcseméret 10 μm körül van, míg a régi típusu ciklonoknál ez az érték 20 μm körüli.

A pernye tökéletesebb leválasztása céljából további porleválasztó rendszert kell felszerelni a ciklonsor után.

A RADIOIZOTÓPOS NYOMJELZÉS IPARI ALKALMAZÁSÁNAK TÁVLATAI ALBÁNIÁBAN

A modern technológiák egyik leglényegesebb kérdése a szilárd fázisu áramlások és ennek dinamikai kérdései termelő ipari berendezésekben. A szilárd fázis mozgásának jelenleg ismert legfontosabb kérdései a következők¹⁸:

- a nyersanyagok őrlése
- a fűtőanyagfelhasználás
- a termék minősége
- a szemcsés anyagok homogenizálása (nyersanyagok, tüzelőanyagok és ipari termékek, többkomponensű keverékek)
- szemcsés anyagok áramlása ipari reaktorokban (forgókemencékben, olvasztókemencékben).

Az RTD és elemzése radioizotópos nyomjelzéssel csaknem valamennyi iparágban folyik¹⁹.

Az anyagáramlás jellemzőinek ismerete a vegyiparban a folyamatok optimalizálásának és automatizálásának alapvető feltétele. Nagy mennyiségű és részletes információ kapható a helyi dinamikai tulajdonságokból, melyeket multi-detektoros mérőrendszerrel határozzunk meg a radioizotópos nyomjelzést követően. Ezeknek a problémáknak a megoldása a folyamatelemzés modern módszereit igényli. Ehhez olyan számítógépi programokra van szükség, melyek lehetővé teszik a helyszíni vizsgálatok azonnali kiértékelését²⁰⁻²⁴. Albániában csupán néhány hónapja állnak rendelkezésünkre ilyen adatfeldolgozó rendszerek multi-detektoros mérőrendszerekkel együtt a helyszíni nyomjelzéses vizsgálatokhoz. Programjaink Apple IIe STANDUP típusu mikroszámítógépen futtathatók.

A számítógépes mérő és adatfeldolgozó rendszer elvégzi a nyomjelzéses RTD adatainak rögzítését és feldolgozását a vizsgált rendszer műveleti jellemzése és optimalizálása céljából. Ez az adatelemzés a következő műveleteket foglalja magába:

- RTD görbék előállítása a mérési adatokból,
- matematikai modell kiválasztása, amely jól leírja a vizsgált rendszert;
- a modell illesztése a kísérleti görbékre.

1988. első felében kérdőíveket küldtünk szét mintegy 100 vállalathoz, melyek tartalmazták a nyomjelzéses módszerek rövid leírását is. Célunk az volt, hogy megismerjük a termelésben tevékenykedő szakemberek véleményét a radioizotópos nyomjelzéses módszereknek az ipar különböző ágazataiban való alkalmazhatóságáról, egyúttal mi is minél több ipari problémát ismerjünk meg, hogy biztosítsuk ennek a tevékenységnek országunkban való folyamatos fenntartását.

Ennek a tájékozádnak az eredménye igen pozitív volt. A válaszokból mint-

egy 50 megoldandó problémát, lehetséges alkalmazást választottunk ki az ipar legkülönbözőbb ágazataiból. Néhány példa ezek közül.

A rézkohászatban számos probléma megoldására használható fel a radioizotópos nyomjelzéstechnika: az érc feldolgozási folyamatától kezdve az elektrolitikus réztisztításig.

Ugyancsak számos kérés érkezett be az anyagáramlási folyamatok tanulmányozására a golyósmalmokat és forgókemencéket üzemeltető vállalatoktól. Igény mutatkozik kémiai anyagmérlegek felállítására kohászati folyamatoknál, a szeparációs folyamatoknál és a hidrometallurgiában stb.

Hamarosan szemináriumot fogunk szervezni olyan mérnökök közreműködésével, akik válaszoltak az előbb említett kérésekre, és számos kétoldalu konzultációra kerítünk sort előre meghatározott menetrend szerint.

A radioizotópos nyomjelzéstechnika ipari alkalmazásának elősegítésére országunkban egy 250 kW teljesítményű kísérleti atomreaktor építését tervezzük, amely többek között elő fogja állítani azokat a rövid felezési idejű radioizotópokat, melyeket nyomjelzőanyagként használunk az ipari folyamatok vizsgálatánál.

IRODALOM

1. *J. Thyn*, Evaluation of Mixing of Particulate Solids by Radiotracer Method, *ZfI Mitteilungen* 69 (1983) 114
2. *R. Margrita*, Traceurs et génie chimique, *La revue information-chimie*, 1973
3. Laboratory Manual on the Use of Radiotracer Techniques in Industry and Environmental Pollution, Technical Report Series, No. 161, IAEA, Vienna, 1975
4. *T. Cuci, J. Thereska*, Improvement of Mixage Conditions in the Refractory Material Production Plant by Means of Radiotracers, *Buletini Shkencave të Natyrës* 2 (1985) 109
5. *J. Thereska, T. Cuci*, The Determination of Homogeneity Parameters of the Feed-Stuff for Livestocks by Using Radiotracers, *Buletini Shkencave Zoeternike e Veterinare* 4 (1985) 35
6. *E. Plasari, J. Thereska, T. Cuci*, Radiotracer Investigation of the Pulp Flow Characteristics in the Superphosphate Production Chamber, *J. Radioanal. Chem. Lett.* (megjelenés alatt)
7. *J. Villiermaux*, Genie de la réaction chimique. Conception et fonctionnement des réacteurs, *TecDoc*, Chapter 6, 1983, Paris
8. *S. Ahmataj, J. Thereska*, Metal-Plastic Reservoir Tightness Checking by Means of I-131 Dissolved in Reservoir Water, *Buletini Institutit Fizikës Bërthamore* 2 (1983) 157
9. *J. Thereska, T. Cuci*, Underground Telecommunication Cables Tightness Checking by Using Xe-133m Gaseous Radiotracer, *Buletini Shkencave Teknike* 2 (1984) 51

10. P. Spahiu, J. Thereska, Blast Furnace Refractory Lining Wearing Control by Means of Sealed Sources of Co-60, *Revista Tehnika* 3 (1983) 35
11. T. Cuci, J. Thereska, E. Plasari, Radiotracer Determination of Dynamic Parameters of a Superphosphate Granulator, *J. Radioanal. Chem. Lett.* (megjelenés alatt)
12. J. Thereska, P. Spahiu, E. Plasari, The Investigation of Laterit Powdering in a Fluidized Bed Calciner by Means of Radiotracer, *Buletini Shkenecave Teknike* 3 (1985) 76
13. K. Akerman, Anwendung radioaktiver Indikatoren für Untersuchung der Materialbewegung in Drehrohrofen, *Naturisotop, Serie 80, Monographien 26*, 1973
14. J. Thereska, P. Spahiu, The Determination of Clinker Flow Parameters in the Clinker Rotary Kiln by Means of Radiotracers, *Buletini Institutit Fizikës Bërthamore* 1 (1984) 52
15. J. Thereska, T. Cuci, E. Plasari, Radiotracer Determination of the Gold Recovery in a Copper Melting Process, *J. Radioanal. Chem. Lett.* (megjelenés alatt)
16. J. Thereska, P. Spahiu, The Determination of RTD of Glass Melt in Glass Furnaces by Means of Tracers, *Buletini Institutit të Fizikës Bërthamore* 2 (1985) 62
17. J. Thereska, P. Spahiu, Radiotracer Evaluation of Coal-Ash Dust Cyclone Efficiency, *J. Radioanal. Chem. Lett.* (megjelenés alatt)
18. J.S. Michalik, Industrial Applications of the Radioisotope Technique, IAEA 2015/DN/I/A, Warszawa, 1985
19. J. Thyne, Process Analysis with Nuclear Techniques, *ZfI Mitteilungen* 69 (1983) 408
20. J. Guizerix, V. Markovic, P. Airey, Radioisotopes and Radiation Technology in Industry, IAEA Bulletin 2 (1987) 20
21. A. Merz, Axial Dispersion and Homogenization in Chemical Engineering Systems, *ZfI Mitteilungen* 69 (1983) 442
22. J.S. Charlton, J.A. Healap, P. Johnson, Radioisotope Techniques for the Investigation of Process Problems in the Chemical Industry, Proceedings of IOIARRT, IAEA, Vienna, 1982
23. A.J. Niemi, Residence Time Distributions of Variable Flow Processes, *Int. J. Appl. Rad. Isot.* 28 (1977) 855
24. R.P. Gardner et al., Short-Lived Radioactive Tracer Methods for the Dynamic Analysis and Control of Continuous Comminution Processes by the Mechanistic Approach, *Int. J. Appl. Rad. Isot.* 28 (1977) 28

*

ПРИМЕНЕНИЕ В АЛБАНИИ МЕЧЕНИЯ РАДИОИЗОТОПАМИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Тхереска, Й., Цуци, П., Спахиу, П., Пласари, Е.

INDUSTRIAL USE OF RADIOTRACER TECHNIQUE IN ALBANIA
Thereska, J., Cuci, T., Spahiu, P., Plasari, E.

A TALAJVÍZ MOZGÁSÁNAK ÉRZÉKENY ÉS GYORS FELDERÍTÉSI MÓDSZERE: A RADIOIZOTÓPOS NYOMJELZÉSTECHNIKA

Baranyai Lajos

Az MTA Izotópkutató Intézete, Budapest, Pf.: 77, 1525

(Érkezett 1990. szeptember 7-én)

BEVEZETÉS

A talajvíz mozgásának tanulmányozása több szempontból is alapvető fontosságú a vízgazdálkodásért felelős hatóságok számára: egyrészt a vízkészletek feltárásához és a vízminőség megővéséhez megfelelő alapadatokat szolgáltat, másrészt elősegíti a különféle talaj- és vízépitmények áramlást módosító hatásának értékelését.

Viztároló rétegben a talajvíz mozgásának felderítésére a hagyományos eljárás szerint legalább három furt kutra van szükség: a középső kutból kiszivattyúzzák a vizet, és mindhárom kutban mérik a vízszint változásának sebességét. A talajvíz áramlási sebessége és iránya azonban egyetlen furt kutban is meghatározható radioizotópos nyomjelzéssel. A kutba injektált nyomjelző anyag koncentrációjának csökkenése ugyanis a talajvíz kilugozó hatásának következménye, mértéke az áramlás sebességével arányos. Az áramlás irányát pedig a kutból elszivárgó radioaktív nyomjelző anyag térbeli eloszlása jelzi. A radioaktív nyomjelzéses mérési módszer ugyan több évtizede ismert, nagy sorozatu terepi alkalmazását azonban csak speciális mérőszondák kifejlesztése tette lehetővé¹⁻³.

A MÉRÉSI ELV

A talajvíz áramlási *sebessége* a nyomjelző anyag hígulása alapján határozható meg. Q elfolyású talajvízáramlás esetén t idő alatt az alábbi koncentrációcsökkenés következik be:

$$dc/dt = - Q c/V \quad (1)$$

melyben V a jelzett vizoszlop térfogata, c a nyomjelző anyag koncentrációja t időpontban. Az (1) egyenlet integrálása után az áramlási sebességre

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{V}{Ft} \cdot \left(- \ln \frac{c(t)}{c(0)} \right) \quad (2)$$

adódik, melyben F a kut belső keresztmetszete. A vizsgált csőszakaszba pillanatszerűen injektált radioaktív nyomjelző anyag koncentrációjának változását a kutba leengedett detektor folyamatosan méri, és korszerűbb mérőrendszerek esetében azonnal értékeli. Egy kut mérésének időigénye kis áramlási sebességeknél ($v = 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$) néhány óra, míg nagy áramlási sebességeknél ($v = 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$) egy órára tehető.

A talajviz áramlási irányának meghatározása a kutból elszivárgó nyomjelző-anyag-csóva sugárzásán, annak irányonként eltérő értékén alapul. A kut körül kialakult csóva sugárintenzitását a kutban körbeforgatott, adott irányba kollimált detektor érzékeli. A mérés időigénye hasonló a sebességméréshez.

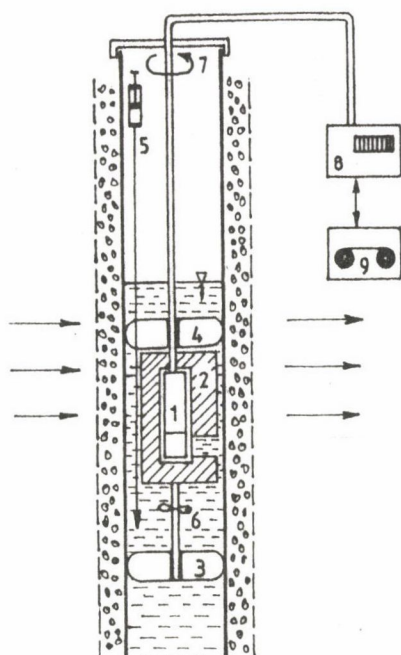
A RADIOAKTÍV NYOMJELZŐ ANYAG

Talajvizmozgás vizsgálatára rövid felezési idejű, gyorsan lebomló radioizotópokat alkalmaznak. Közülük a $K^{82}\text{Br}$ vizes oldata bizonyult a legkedvezőbbnek, mivel a talajokban való megkötődése elhanyagolható, és nukleáris tulajdonságai minden szempontból megfelelnek az elvárásnak (felezési ideje rövid, mérési határfoka nagy, előállítása nagy hozamu és egyszerű). 36 órás felezési ideje biztosítja, hogy aktivitása néhány nap alatt elhanyagolható szintre csökkenjen, miközben a szivárgó talajviz rendszerint száz méternél kisebb utat tesz meg. Mindezen előnyökkel együtt a módszert nem javasolják vizkivételi helyek közvetlen környezetében. Felszíni vizekbe való csatlakozás általában nem zavaró körülmény, mert a lebomlást nagymértékű hígulás kíséri. Az egy-egy kutba injektált radioaktív nyomjelző anyag aktivitása 10^9 Bq nagyságrendű.

A MÉRŐSZONDA

Az áramlási sebesség mintavételezéssel és a minták radioaktív koncentrációjának mérésével is meghatározható, azonban az áramlás irányának kimutatásához a kutba lebocsájtott, kollimált (a sugárzást csak egy irányban érzékelő) detektor körbeforgatására és a sugárintenzitás irány szerinti mérésére van szükség. Ez a detektor alkalmassá tehető a radioaktív koncentráció időbeni változásának követésére is, ily módon korszerű mérőszondával mindkét mérés egyetlen folyamatban végezhető.

Az 1. ábrán bemutatott mérőszonda mintegy 1,5 m hosszú hengeres test, melynek felső és alsó része felfújható tömítésből van kialakítva. A tömítések elszigetelnek egy mérési térfogatot, ezáltal a talajviz mozgása különböző mélységekben figyelhető meg. A mérőtérfogatba fecskendezzük a radioaktív nyomjelző folyadékot, amelyet keverő tart állandó mozgásban, biztosítva homogén eloszlását. Méréshez először a nyomjelző anyag hígulási diagramját veszik fel az áram-



1. ábra

Forgatható mérőszonda

Поворотный измерительный зонд

Rotable measuring probe

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1- scint. detektor | 6- jelzőanyag-keverő |
| 2- ólom árnyékoló | 7- detektor-iránybeállító |
| 3-4- záróballon | 8- impulzusszámláló |
| 5- jelzőanyag-injektáló | 9- adattároló |

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1- scintillator detector | 6- tracer mixer |
| 2- lead shielding | 7- detector collimation |
| 3-4- sealing hoses | 8- ratemeter |
| 5- tracer injection | 9- data logger |

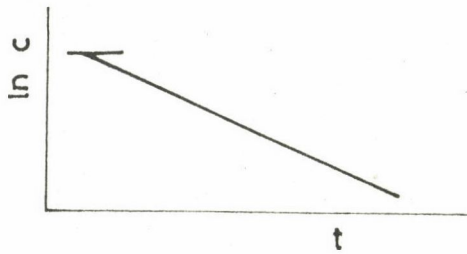
- | | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 1- сцинтиляционный детектор | 6- смеситель индикатора |
| 2- свинцовая защита | 7- детектор учтановки по направлению |
| 3-4- инсультационные баллоны | 8- счетчик |
| 5- введение индикатора | 9- память |

lási sebesség értékeléséhez, majd az eloszlási diagramot az áramlás irányának meghatározásához. Terepi mérések tapasztalatai alapján a sebességmérés pontossága $\pm 10\%$, míg az iránymeghatározásé $\pm 20\%$. A detektor excentrikus körbeforgatásával ez utóbbi pontosság is javítható, mivel ily módon a hasznos jelnek a háttérjelhez viszonyított aránya nő.

TEREPI MÉRÉSEK

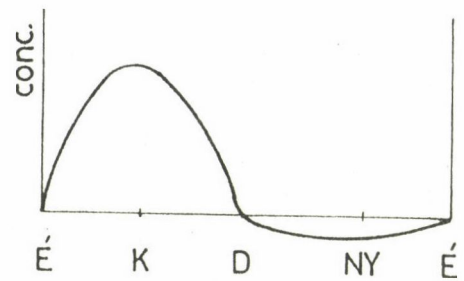
A talajviz mozgásának fenti módszerrel való meghatározásáról számos közlemény jelent meg; mi csak az összefoglaló jellegűeket emeltük ki. Nagyszabású terepi alkalmazásokról W. Drost¹ számol be: az NSZK-ban e módszereket több mint 150 létesítménynél alkalmazták talajvizfeltárásnál, talajvizvédelemnél, valamint talaj- és vízépitményeknél. Az általa megadott mérési diagramokat a 2. és 3. ábrán mutatjuk be.

Az MTA Izotópkutató Intézete kifejlesztett egy kísérleti mérőszondát, és a fentiekben ismertetett mérőmódszer alapján terepi próbaméréseket végzett Ajka térségében, a vörösiszaphányók védelmére épített résfalak környezetében. A mérési eredményeket a 4. és 5. ábrán mutatjuk be. A görbéket egyetlen, tetszőlegesen választott mélységben vettük fel. A mérések mélység szerinti elvégzéséhez és a mérési eredmények értékelésének meggyorsításához a mérőszonda és az



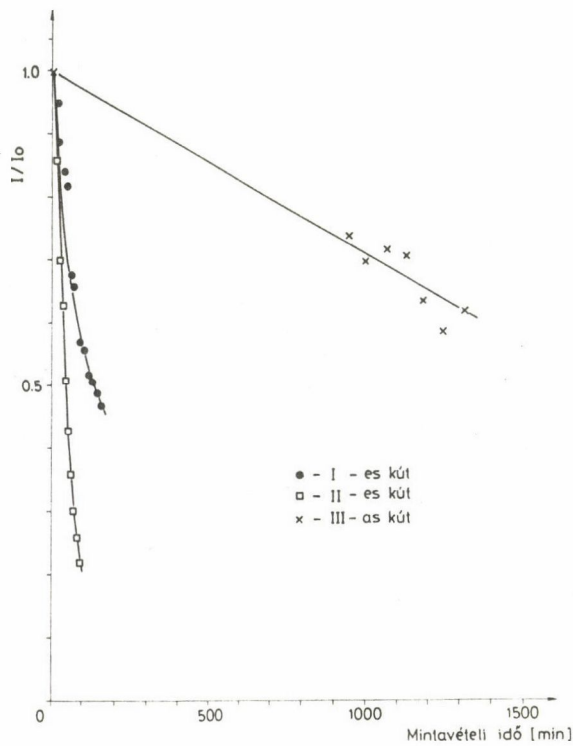
2. ábra

Hígulási diagram sebességméréshez
 Диаграм дилуции для измерения скорости
 Dilution diagram for velocity measurement



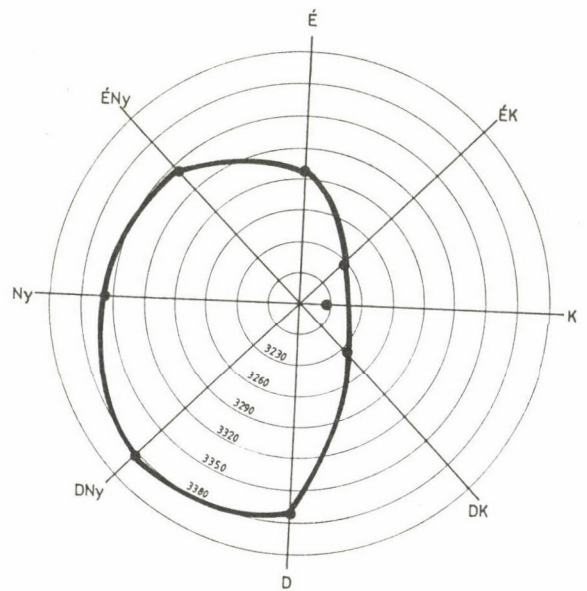
3. ábra

Eloszlási diagram irányméréshez
 Диаграм распределения для измерения направления
 Distribution diagram for directional measurement



4. ábra

A jelzőanyag koncentrációjának időbeni változása
 Изменение концентрации радиоактивного индикатора по времени
 Time dependence of tracer concentration



5. ábra

A jelzőanyag koncentrációjának irány szerinti eloszlása
 Распределение концентрации радиоактивного индикатора по направлениям
 Directional distribution of tracer concentration

adatfeldolgozó rendszer a terepi sorozatmérés igényeinek megfelelően továbbfejleszhető. Rövid felkészülést követően képesek vagyunk az ismertetett nyomjelzéses módszerrel az ilyen mérési feladatoknak - az eddig használt módszerekhez képest - gyorsabb és megbízhatóbb elvégzésére.

IRODALOM

1. *W. Drost*, Die Anwendung von Radionukliden beim Grundwasserschutz, Strahlung und Radionuklide in der Umwelt, AGF, München, 1984, 39-42
2. International Atomic Energy Agency: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, IAEA, Vienna, 1983
3. *Erdélyiszky Zs., Rákóczi L.*, Izotóptechnikai módszerek alkalmazása a vizgazdálkodásban, OAB, Budapest, 1966

*

Hagyományos módszerekkel a talajviz mozgásának felderítéséhez legalább két kutra van szükség. A talajviz áramlási sebessége és iránya azonban egyetlen kútban is meghatározható radioizotópos nyomjelzéssel. A nyomjelző anyag koncentrációváltozása a kútban az áramlási sebesség térbeli eloszlása, a kút környezetében pedig az áramlási irány meghatározását teszi lehetővé. A mérési módszert és terepi alkalmazását ismertetjük.

РАДИОИЗОТОПНАЯ ИНДИКАЦИЯ - ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ И БЫСТРЫЙ МЕТОД РАЗВЕДКИ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ
Бараньяи, Л.

Для определения характеристики движения грунтовой воды с традиционными методами нужны по крайней мере два колодца. Метод радиоактивных индикаторов позволяет определить скорость и направления потока грунтовой воды в одном колодце. Изменение концентрации в колодце дает скорость, а распределение его вокруг колодца направление потока. Излагаются метод измерения и его применения на месте.

RADIOISOTOPIC TRACING: A SENSITIVE AND RAPID METHOD OF FOLLOWING UP GROUND WATER MOTION
Baranyai, L.

For determining movement characteristics of the groundwater by traditional methods at least two wells are necessary. But the groundwater flow rate and flow direction can be determined in a single well by means of the radiotracer technique. Concentration change of the tracer in the well yields flow rate, and the spatial distribution of the tracer around the well the flow direction. The measuring method and its application in field measurements are discussed.

NUKLEÁRIS KÖRNYEZETVÉDELEM RADIOANALITIKAI MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI

VERŐCEMAROS, 1990. OKTÓBER 3-5.

ELŐADÁS-KIVONATOK

A Magyar Kémikusok Egyesületének Radioanalitikai Szakcsoportja, az MTA Analitikai Bizottsága Radioanalitikai Munkabizottságával és a Radiokémiai Bizottság Izotóptechnikai és Izotópanalitikai Munkabizottságával együttműködésben tartott ülésén 28 előadás hangzott el a nukleáris környezetellenőrzés jelenlegi rendszeréről és tervezett országos hálózatáról, a Paksi Atomerőmű Vállalat nukleáris környezetvédelmi rendszeréről, környezeti komponensek radioaktív szennyezettségének méréséről, mérési eszközeiről, módszereiről és értékeléséről, atomerőművi szűrőberendezések kinetikai vizsgálatáról és fejlesztési eredményeiről, környezeti folyamatok radioizotópos nyomjelzés-technikai módszerrel történő követéséről, valamint toxikus elemek környezeti mintákban való eloszlásának radioanalitikai módszerekkel végzett meghatározásáról.

A tudományos ülésen sor került az Izotópalkalmazási Munkabizottság, az Izotóptechnikai Munkabizottság és a Radioanalitikai Munkabizottság elnökének és tagjainak megválasztására. A résztvevők titkos szavazással Dr. Nagy Lajos Györgyöt, Dr. Lengyel Tamást és Dr. Solymosi Józsefet választották elnökké.

A tudományos ülésen a Canberra cég és a MicroVacuum Kiszövetkezet tartott termékismertetőt és termékbemutatót.

Baranyai Lajos
Az MTA Izotópkutató Intézete

A KFKI NUKLEÁRIS KÖRNYEZETELLENŐRZÉSI K+F PROGRAMJA

Fehér István

Központi Fizikai Kutató Intézet

Egy esetleges atomerőmű-baleset (házaai vagy országhatáron túli) következményeként a korai fázisban várható lakossági sugárterhelés meghatározása csak folyamatosan működő, megbízható országos sugárzás-távmérő hálózat segítségével lehetséges. A lakosság sugárterhelésének csökkentésére irányuló első óvóintézkedések megtétele is csak a sugárzás-távmérő hálózat mérési adatai alapján képzelhető el. A várható sugárterhelést pontosabban mozgó laboratórium segítségével lehet megbecsülni.

A KFKI és a PAV sugárzás-távmérő hálózatainak tervezésével, megépítésével és üzemeltetésével szerzett sokéves tapasztalatra támaszkodva, az OKKFT G-11/8 alprogram keretében, kidolgoztuk az országos sugárzás-távmérő hálózat alapelvét, megterveztük, és kipróbáltuk a hálózat egyes elemeit. A program keretében mozgó laboratórium is készül. Ezek a munkák képezik az alapját a következő évek K+F programjának.

Az előadásban ismertetjük a tervezett országos sugárzás-távmérő hálózat célját, valamint az ennek érdekében elvégzendő feladatokat. Rámutatunk arra, hogy a hálózat alapja lehet a nem radioaktív légszennyeződések ellenőrző rendszerének is.

*

GAMMA-SPEKTROMETRIAI MÓDSZER A KIHULLOTT RADIOAKTIVITÁS TALAJBELI ELOSZLÁSÁNAK GYORS MEGHATÁROZÁSÁRA

Zombori Péter, Németh István, András Andor

Központi Fizikai Kutató Intézet

A nukleáris balesetek következtében a légkörből a talajra hullott radioaktivitás minőségi és mennyiségi meghatározására az in situ γ -spektrometriai mérések módszere a legalkalmasabb. A spektrumvonalak intenzitásának konverziója felületi aktivitáskoncentrációra függ attól, hogy a radioaktivitás hogyan helyezkedik el a talajon, illetve a talaj felső rétegeiben. A csernobili baleset tanulsága szerint már kezdetben is tapasztalható bizonyos mértékű beha-

tolás a talajba, amely aztán az idő múlásával, a bemosódás következtében, tovább fokozódik.

A talajbéli eloszlást általában hosszú és fáradságos mintavétel és mintamérés alapján szokták meghatározni. Vizsgálataink során azt a célt tűztük ki, hogy a radioaktív izotópok koncentrációjának mélységfüggésére úgy adhassunk jó becslést, hogy ahhoz mintavételre ne legyen szükség. Elméleti megfontolások és a kísérletek azt mutatták, hogy a környezeti γ -spektrumok tartalmazzák azokat az információkat, amelyek alapján a fenti becslés megtehető.

Megvizsgáltuk, hogy különféle (n-, illetve p-típusu) Ge detektor használata esetén a talajbéli fotontranszport következtében milyen spektrumdeformációk lépnek fel. Kísérleti körülmények között kimértük azokat a spektrumadatokat, amelyek érzékenyen függenek a radioaktivitás talajbéli eloszlásától. Módszert dolgoztunk ki ezen spektrumadatok kalibrációval történő meghatározására.

Az elmúlt év folyamán nagy szennyezettségű területeken (Ausztriában, Belorussziában és Ukrajnában) végzett mérésekkel ellenőriztük a kidolgozott módszerek alkalmazhatóságát.

*

NUKLEÁRIS KÖRNYEZETELLENŐRZÉS A KFKI-BAN

Lőrinc Mária, Lancsarics György, Sági László
Központi Fizikai Kutató Intézet

Hazánkban és a környező országokban megnövekedett a lakosság érdeklődése a környezetvédelem kérdései iránt. A közvélemény szerint a potenciális környezetszennyezők között előkelő helyet foglalnak el a nukleáris berendezéseket üzemeltető és az ionizáló sugárzást kibocsátó anyagokkal dolgozó munkahelyek. Az itt dolgozó sugárvédelmi szakembereknek fontos feladata a lakosság alapos tájékoztatása a reális kép kialakításához. Ismertetjük a KFKI környezetellenőrzési programját. Bemutatjuk a korábbi évek főbb mérési eredményeit. Megadjuk a kutatóközpont környezetében élő lakosságra a radioizotóp-kibocsátásból származó sugárterhelést.

*

KÖRNYEZETI RADIOAKTIVITÁS MÉRÉSI ESZKÖZEI, MÓDSZEREI, EREDMÉNYEI A FM RADIOLÓGIAI HÁLÓZATÁBAN

Kiss Béla, Tóth Vilmosné, Tarján Sándor

Állategészségügyi és Élelmiszervizsgáló Szolgálat Élelmiszervizsgáló Intézet,
Radiológiai osztály

A mezőgazdaság és élelmiszeripar területén rendszeres vizsgálatok folynak a környezetben jelenlévő természetes és mesterséges radioaktív koncentráció figyelemmel kísérésére.

Az 1986-ban bekövetkezett rendkívüli szennyezettség a szokásostól eltérő feladatokat adott. A szerzők beszámolnak:

- a rendkívüli viszonyok igényelte módszertani változásokról,
- a környezeti szennyezettség utóbbi négy évben tapasztalt változásairól,
- a vizsgálati program szempontjainak ez évi átalakításáról.

*

$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ AKTIVITÁSARÁNY MEGHATÁROZÁSA CSERNOBILI EREDETŰ RADIOAKTIV SZENNYEZŐDÉS TARTALMU AEROSOL MINTÁKBAN, KÉMIAI ELVÁLASZTÁS NÉLKÜL

Papp Zoltán, Daróczy Sándor, Dezső Zoltán, Pázsit Ágnes, Nagy József
KLTE Izotópalkalmazási Tanszék

Olyan módszert ismertetünk, amely bizonyos feltételek esetén alkalmas lehet két vagy több β -sugárzó izotóp aktivitásarányának meghatározására olyan mintában, mely néhány ismert izotópot tartalmaz, de ismeretlen arányban. E módszer kémiai elválasztást nem igényel, csupán egy egyszerű β -számlálót tesz szükségessé.

A módszer a minta össz β -sugárzásának mérésén alapul. Első fázisában annak meghatározására kerül sor, hogy a mérhető össz β -intenzitás mekkora része származik az egyes izotóptól. Ez a minta abszorpciós görbéjének dekomponálásával történik. Megmérjük a mintától származó β -intenzitást néhány abszorbens közbeiktatásával rögzített geometriában, majd ugyanilyen méréseket végzünk olyan - mesterségesen elkészített - mintákon is, melyek alakjukra nézve megegyeznek a vizsgálandó mintával, de az abban lévő β -sugárzó izotópok közül csak

az egyiket tartalmazzák. Amennyiben az egyes izotópok abszorpciós görbéi elegendő mértékben különböznek egymástól, és a mérések véletlen hibája elegendően kicsi, a fent leírt mérések eredményeiből matematikai illesztési eljárással az egyes izotópok intenzitásjáruléka elfogadható hibával meghatározható. Az így kapott részintenzitások arányaiból az egyes β -csoportok abszorpciójának és önabszorpciójának eltérő mértékét, valamint a bomlást az ismert felezési idők alapján precízen figyelembe véve, származtathatók az aktivitások arányai a mintavétel időpontjában.

E módszert alkalmaztuk $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ aktivitásarány meghatározására olyan levegőszűrő-minták esetében, amelyekben csernobili eredetű radioaktivitást hordozó aeroszolrészecskéket fogtunk fel a balesetet követően. A módszer alkalmazhatóságának feltétele ez esetben az, hogy a méréseket legalább 1-2 évvel a baleset után végezzük el, amikor már csak a néhány hosszú felezési idejű izotóp ($^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, $^{106}\text{Ru}+^{106}\text{Rh}$, ^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{137}Cs) található meg a mintában. Három mintát vizsgáltunk, melyeket 1986. máj. 1. - máj. 8. között vettek, és a mérés időpontjában kb. 20-40 Bq volt az összaktivitásuk. A kis aktivitás és egyéb körülmények miatt a meghatározás hibája viszonylag nagy; a $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ aktivitásarányra 0,005 és 0,028 közötti értéket kaptunk.

*

KÖRNYEZETI MINTÁK α -AKTIVITÁSÁNAK MÉRÉSE SZILÁRDTEST-NYOMDETEKTORRAL

Kocsis Zsuzsanna, Lengyel Tamás, Somlai János
Veszprémi Egyetem Radiokémiai és Fizikai Tanszék

Az előadás a Dunántulról származó növényi minták és a Balatonfelvidékről származó forrásvizek α -aktivitásának méréséről számol be. Az első növényi mintákat közvetlenül a csernobili reaktorbaleset után gyűjtöttük.

A mérés CR-39 szilárdtest-nyomdetektorral történt, közvetlen kontaktusu autoradiográfiás elrendezésben.

Természetes urán felhasználásával standard mintákat készítettünk a célból, hogy vizsgáljuk a mintamatrixnak a nyomsűrűség és az aktivitáskoncentráció közötti korrelációra gyakorolt hatását. Összehasonlítottuk a kísérleti és az elméleti uton kapott érzékenységi faktort.

A standard mintákkal meghatározott érzékenységi faktor alapján számítottuk a minták össz α -aktivitáskoncentrációját. Az 1989-90-ben gyűjtött forrásvizminták össz α -aktivitáskoncentrációja 0,05-0,4 Bq/l között, a fűhamumintáké 0,15-0,23 Bq/g között változott. Az 1986 tavaszán gyűjtött mintáknál ez az érték 3-5-ször nagyobb.

INSTABILITÁS TRICIUMOS BETONMINTÁK GÁZÁTÁRAMLÁSOS SZÁMLÁLÓVAL VALÓ MÉRÉSÉNÉL; A MÉRÉSEK KIÉRTÉKELÉSE

Gaál Sándor*, Házi Endre*, Bérci Károly**

*Veszprémi Egyetem Radiokémiai és Fizikai Tanszék

**ERŐTERV

Az atomerőművek üzemeltetésével kapcsolatos hulladéktárolás szükségessé teszi számos radioaktív elem betonban való diffúziójának vizsgálatát.

A tríciumos betonminták gázátáramlásos számlálóval végzett párhuzamos mérésénél kapott impulzusszám bizonyos szabályossággal változik. A nem egy átlagérték körül ingadozó mérési értékek átlagolása csak közelítő aktivitást adhat. Célszerű az átlagoláshoz a mért értékeknek csak egy részét figyelembe venni. A mérési értékek szelektálásához a detektorban és a mintában a mérés során lejátszódó folyamatok vizsgálata nyújthat támpontot.

A tríciumos betonminta nem tekinthető állandó aktivitású szilárd mintának. A mérés közben a felületről a trícium távozik, és a felület aktivitása a minta belső térfogatából diffúzióval utánpótlást kap.

A vizsgálatokban különböző víztartalmu minták mérésére is sor került. Míg a mintából kidiffundálódó vizsgó el nem távozik a detektorból, rontja a detektor határfokát.

A detektor belső szennyeződése miatt a háttér is változik. Az egyes minták mérése után megnövekedett háttérrel a detektor minta nélküli üzemeltetésével lehetett csökkenteni. A minta nélkül folyamatosan mért háttérértékek csökkenésének időbeli változása kapcsolatba hozható a különböző eredetű szennyeződésekkel (adszorpció a detektor falán, a betonmintából a detektorba kerülő por).

*

A HASADÁSI TERMÉKEK AKTIVITÁSCSÖKKENÉSÉNEK VIZSGÁLATA

Solymosi József*, Zagyvai Péter**, Nagy Lajos György*, Baumler Ede***

*BME Fizikai Kémiai Tanszék

**BME Nukleáris Technikai Intézet

***Gamma Művek

Összefoglalóan ismertetjük a ^{235}U , ^{238}U és ^{239}Pu hasadási termékei aktivitáscsökkenési sebességének nyomonkövetésére irányuló vizsgálatainkat. Bemutat-

juk továbbá a hasadványoknak a külső sugárterhelésként fellépő, elnyelt dózis értékeléséhez elengedhetetlen dozimetriai paraméterei gyors helyszini meghatározására alkalmas, általunk kialakított, univerzális mérési eljárást.

Vizsgálataink során 2-1000 órai méréssel folyamatosan követtük a hasadványok intenzitását, és ily módon meghatároztuk az egyes hasadási termékfeleségek sajátos és általános aktivitáscsökkenési jellemzőit, továbbá az egyes dozimetriai paraméterek változását a maghasadáستól eltelt idővel.

A vizsgálati eredmények alapján olyan általános érvényű eljárást dolgoztunk ki, amely még a különböző időből származó és ismeretlen arányban keveredett, eltérő típusu hasadási termékek elegyére is reális, előre jelzett dózisértéket szolgáltat. Az eljárás lényege, hogy kombinálva alkalmazunk valamilyen alkalmasan megválasztott görbeillesztési eljárást (pl. a legkisebb négyzetek módszerét), illetve a fokozatos közelítés (iteráció) módszerét, továbbá a mérőrendszer energiadiszkriminációs küszöbszintjének (base line) az előzetes kalibráció során meghatározott optimális értékre történő beállítását.

Az eljárással a dózisteljesítmény folyamatos méréséből származó összes adat felhasználásával a gyakorlatban elfogadhatóan rövid idő alatt kapunk értékelhető eredményt.

*

GAMMA-SPEKTRUMKIÉRTÉKELŐ PROGRAMRENDSZER IBM AT KOMPATIBILIS SZÁMÍTÓGÉPEN

Zagyvai Péter*, Gujgiczer Árpád**, Zsille Ottó**, Hartmann Péter**, Solymosi József**, Nagy Lajos György**

*BME Nukleáris Technikai Intézet

**BME Fizikai Kémiai Tanszék

A PROGRAM RÉSZEI

1. Kapcsolattartás a kezelővel (grafikus menükezelés)
2. Adatátvitel - Canberra analizátorok "read out" üzemmódjával
3. Adattárolás - naplózási adatok
 - csatornatartalmak
 - kalibrációs adatok
4. Csucskeresés 2. simított differencia képzésével
5. Csucshatár-kiválasztás átfedések kijelölésével
6. Intenzitások meghatározása: alakfüggvény-illesztés, hibaszámítás
7. Szignifikanciatesztek: hamis csucok kiejtése;
 - visszacsatolás a csucshatár kiválasztásához (5.)
8. Első eredménylista: csucsenergiák, intenzitások és becsült hibájuk
9. Minőségi azonosítás
 - Kritériumai:

- .1. Mért és könyvtári energiák egyezése
 - .2. A feltételezett izotóp referenciacsucsának jelenléte
 - .3. A talált és a referenciacsucs intenzitásának hányadosa egyezzen meg várható értékével.
 - .4. Anya- vagy leányelem referenciacsucsának jelenléte
 - .5. A hűtési időhöz képest megfelelően hosszú felezési idő
10. Mennyiségi meghatározás: radioaktív koncentrációk és becsült hibájuk, bomláskorrekció
11. Második eredménylista:
- azonosított izotóp neve
 - mért és könyvtári energia
 - aktuális és bomláskorrekcióval számított aktivitás
 - nem azonosított csucok jegyzéke
12. Detektálási határ számítása (3. eredménylista)
Detektálási határ (LD) számításának menete:
- .1. Izotópok kijelölése
 - .2. Várható γ -vonalak és γ -gyakoriságok kikeresése
 - .3. Energia-csatornaszám konverziók
 - .4. Hatásfokok és félértékszélességek számítása
 - .5. Iteratív LD-számítás valamennyi γ -vonalra (I=1,2....)
13. Kalibráció
- Energiakalibráció
- Félértékszélesség-kalibráció
- Hatásfok-kalibráció
- Függvényillesztés spektrum alapján vagy a paraméterek bevitele kézzel

*

BÉTA-SUGÁRZÓ RADIOAKTÍV IZOTÓPOK FELÜLETI ÉS TÉRFOGATI RADIOAKTÍV KONCENTRÁCIÓJÁNAK MÉRÉSE INTENZÍV GAMMA-HÁTTÉRBE

Solymosi József*, Zagyvai Péter**, Gujgiczer Árpád*, Nagy Lajos György*,
Pintér Tamás***

*BME Fizikai Kémia Tanszék

**BME Nukleáris Technikai Intézet

***Paksi Atomerőmű Vállalat

A β -sugárzó radioaktív komponenseket is tartalmazó minták mennyiségi elemzésének ideális feltételeiként az alábbiakat jelölhetjük meg:

- a detektorrendszer érzéketlensége a mintából származó más (pl. γ) sugárzásokra, illetve ezen érzékenység pontos, számszerű meghatározása;

- a mérés körülményei (pl. a minta sűrűsége, homogenitása, alakja, elemi összetétele) által a számlálási hatásfokra gyakorolt hatás pontos, számszerű ismerete;
- az egyes komponensektől származó sugárzást szelektíven, jól definiált számlálási hatásfokkal mérni képes detektorrendszer.

A felületi és térfogati radioaktív koncentráció meghatározására általunk javasolt és alkalmazott módszer a fenti kérdésekre közelítő megoldást kínál. A minta γ -sugárzásának pontos korrekcióját a γ -sugárzás energiaszelektív, nagy érzékenységgű méréséből kiinduló, kalibrációs függvények alkalmazásán alapuló számítási algoritmussal oldjuk meg. A mérési körülményeket úgy alakítjuk, hogy a mintából a detektorba érkező β -részecskék száma és energiaeloszlása független legyen a forrás alakjától, ha a minta sűrűsége adott intervallumon belül van. A minőségi elemzés, azaz az egyes β -energiák ismerete nélkül a plaztik szcintillátorral detektált tapasztalati energiaeloszlást kalibrációs adatokkal összehasonlítva olyan effektív számlálási hatásfokot definiálunk, mellyel több komponensű minta esetén is jól közelíthető a felületi vagy térfogati radioaktív koncentráció.

Az előadásban részletesen ismertetjük a számítógépes programmal megvalósított adatfeldolgozás menetét, áttekintjük a szükséges kalibrációs paraméterek meghatározását, és bemutatjuk a Paksi Atomerőmű Vállalatnál telepített mérőrendszerre érvényes érzékenységi adatokat.

*

"BNS-90" SUGÁRSZENNYEZETTSÉG-MÉRŐ MŰSZER

Baumler Ede*, Sarkadi András*, Gujgiczler Árpád**, Solymosi József**, Zagyva Péter**

*Gamma Művek

**BME Fizikai Kémiai Tanszék

A terepi hordozható eszközként, laboratóriumban, járműfedélzeten és automata mérőhálóban egyaránt alkalmazható mikroprocesszoros mérőberendezés kiválasztható üzemmódjai az alábbiak:

- γ -dózisteljesítmény mérése széles tartományban kis energiafüggés mellett, gyors és pontos változatban
- Kijelzés: Gy/h egységben

- Felületi β -szennyezettség mérése nagy zavaró γ -háttér esetén is.
Kijelzés Bq/cm²-ben, ismeretlen β -forrás esetén is.
- Térfogati radioaktív koncentráció mérése β -sugárzó izotópokra. A mérés nagy zavaró γ -háttér esetén is elvégezhető, nem igényel ólomtoronyot, mintaelőkészítést.
Kijelzés Bq/kg-ban, ismeretlen β -forrás esetén is.
- α -sugárzó izotóptól származó szennyezettség indikálása nagy γ -háttér esetén is.
Kijelzés Bq/cm²-ben.
- Urán és transzurán hasadványtermékek elegye korának (a maghasadáستól eltelt időnek) meghatározása.
Kijelzés órában.

A műszer α -, β - és γ -sugárzás egyidejű jelenlétében is használható, ebben az esetben a sugárzásfajták mennyiségéről külön információt szolgáltat.

*

NUKLEÁRIS DETEKTOROK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS ALKALMAZÁSA SZEMÉLYI ÉS KÖRNYEZETVÉDELMI MŰSZEREKBE

Erdélyi Katalin

MikroVákuum Kiszövetkezet

A MikroVákuum Kiszövetkezet a Videoton Fejlesztési Intézettől átvett és továbbfejlesztett technológiával gyárt lítiummal driftelt szilíciumdetektorokat. A detektorok két fő csoportba sorolhatók:

- a.) γ -sugárzás mérésére alkalmas, zárt tokozású, u.n. G-sorozatu detektorok;
- b.) nyitott ablaku, A-sorozatu detektorok α -, β - és γ -sugárzás mérésére.

Az előadásban részletesen ismertetjük mindkét sorozat elektromos és nukleáris paramétereit. A környezetvédelmi alkalmazást nagymértékben elősegíti az a tény, hogy a detektorok nagyon szélsőséges környezeti körülmények között is (-30°C - +50°C; 95%-os páratartalom, mechanikai ellenállóság, légmentes zárás stb.) megbízhatóan működnek.

A detektorok gyártásán kívül foglalkozunk ezen detektorok felhasználásával készülő műszerek fejlesztésével; a műszerekben az Si(Li) detektorok következő előnyös tulajdonságait használjuk ki:

1. lehetővé teszik az α -, β -sugárzás mérését nagy γ -háttér esetén is;

2. a detektorokkal energiaszelektíven lehet mérni; megfelelő elektronika alkalmazásával egyes energiatartományok kiemelhetők;
3. töltéserősítéssel elektronikai megoldással nagyon kis háttérsugárzás is észlelhető és fény(hang) formában kijelvezhető.

Az előadásban részletesen ismertetjük a következő műszerek tulajdonságait:

1. ALIMACT - élelmiszerek radioaktív szennyezettségének mérésére;
2. GABEX - α -, β -, γ -sugárzási szint mérése háttérsugárzástól katasztrófaszintig
3. SVR-1, SVR-2 - a háttérsugárzás és ahhoz közeli γ -sugárzás intenzitás-tartományban sugárzási szint indikálása.

Az előadásban röviden ismertetjük a BME Fizikai Kémiai Tanszék kutatóival együtt indított új fejlesztési témánkat, melynek célja: széles méréshatáru proporcionális számlálócső és elektronika előállítás.

*

A PAKSI ATOMERŐMŰ NUKLEÁRIS KÖRNYEZETELLENŐRZÉSE

I. AZ ALKALMAZOTT FŐBB BERENDEZÉSEK ÉS MÓDSZEREK

Virágh Elemér

BME Nukleáris Technikai Intézet

Az atomenergia hazai alkalmazását tekintve a Paksi Atomerőmű a legnagyobb nukleáris létesítmény. A 4 atomerőművi blokk normál üzemmódban is bocsát ki radioaktív anyagokat, de a lakosság ebből eredő sugárterhelése elhanyagolható. Ezt a tényt a Paksi Atomerőmű nukleáris környezetellenőrző tevékenységéből származó eredményei is bizonyítják.

A PAV kibocsátás- és környezetellenőrzése a sugárvédelmi osztály feladata, s elsősorban a dozimetriai laboratóriumban (kibocsátás-ellenőrzés), illetve a környezetellenőrző laboratóriumban történik, 4 diplomás és 10 laboráns, illetve szakmunkás kolléga közreműködésével.

A kibocsátás- és környezetellenőrző rendszer fő eleme az u.n. távmérő rendszer, amelyet az alábbi egységek alkotják:

- KALINA-rendszer, amely a levegőbe való kibocsátás ellenőrzésének műszere;
- a nemesgáz aktivitáskoncentrációját mérő berendezés (BME fejlesztés);
- a Dunában a melegviz-, hidegviz- és fekáliás csatornában elhelyezett automatikus mérőberendezések;
- 8 un. "A típusu mintavevő és mérőállomás", amely az atomerőmű körül

1,5 km-es távolságban helyezkedik el, s automatikus, γ -dózisteljesítményt mérő műszert és jódtáv mérőt (a ^{131}I mérésére) tartalmaz.

A távmérő rendszer adatait a központi adatfeldolgozó rendszer (KAR) összegzi, amelynek mérési ciklusa 10 perc.

Az ÜKSER (üzemi környezetellenőrző rendszer) részletesebb ismertetésére az előadásban kerül sor.

A rendelkezésre álló mérési eredmények és terjedési modellszámítások alapján az atomerőmű közvetlen környezetében élő lakosság évi többletbesugárzása $0,1 \mu\text{Sv}$ nagyságrendű.

*

II. A FOLYÉKONY ÉS LÉGNEMŰ KIBOCSÁTÁS ELLENŐRZÉSÉNEK EREDMÉNYEI 1989-BEN

Volent Gábor, Ormai Péter
Paksi Atomerőmű Vállalat

Az erőmű területéről három utvonalon bocsátanak radioaktív anyag tartalmú közeget:

1. légnemű kibocsátás,
2. mérlegfeletti és hulladékviz kibocsátása a Dunába,
3. radioaktív anyaggal szennyezett, de radioaktív hulladéknak nem minősülő szilárd hulladék kibocsátása.

Az előadás az első két kibocsátási utvonal ellenőrzésének 1989. évi tapasztalatait ismerteti.

1. Légnemű kibocsátás

Az üzemi távmérő rendszer és a laboratóriumi mérések alapján megállapítható, hogy a hasadási termékek közül a nemesgázok kibocsátása a legjelentősebb. Emelett csak ^{131}I -ot sikerült detektálni néhány esetben.

Az aeroszolfrakcióban történő kibocsátásban az előző évekhez hasonlóan az $^{110}\text{Ag}^m$ dominált. Nagyságrenddel kisebb mennyiségben bocsátottak ki ^{60}Co -ot, ^{54}Mn -t, ^{58}Co -ot, ^{51}Cr -ot. Ellenőriztük a légtérbe kibocsátott ^3H és ^{14}C aktivitását.

2. Mérlegfeletti és hulladékvizek kibocsátása a Dunába

Az előző évek gyakorlatának megfelelően a kibocsátott vizek ellenőrzése kémiai és radiológiai ellenőrzést foglal magába. Ez alapján a kibocsátott akti-

vitás döntő komponense a ^3H volt, amelyre vonatkozó hatósági korlát 50%-át használta fel az erőmű.

A tríciumon kívüli aktivitás döntő hányadát az aktivációs termékek, s ezen belül a $^{110}\text{Ag}^m$ tette ki. A hasadási termékek közül ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{131}I fordult elő esetenként, illetve a ^{90}Sr éves kibocsátása 5,79 MBq volt.

*

III. A KÖRNYEZETELLENŐRZÉS EREDMÉNYEI 1989-BEN

Barnabás István, Germán Endre
Paksi Atomerőmű Vállalat

Az előadás felöleli az atomerőmű környezetében 1989-ben mért legjellemzőbb légköri és felszíni víz-aktivitáskoncentráció adatait, illetve a környezeti dózisteljesítmény-értékeket. A PAV környezetellenőrző laboratóriuma aeroszolos, tapadóhálós, illetve fall-out mintavétellel rendszeresen méri a földfelszíni légtérben a radionuklidok aktivitáskoncentrációját. Ezekből bemutatjuk a csemobili eredetű ^{137}Cs -ra, valamint az erőművi származású $^{110}\text{Ag}^m$ -re vonatkozó eredményeket. A felszíni vizekben mért aktivitáskoncentrációs adatok közül megadjuk az erőművi hulladékvizekkel legnagyobb mennyiségben kibocsátott radionuklidra, a ^3H -ra vonatkozó adatokat; ismertetjük továbbá az 1989-ben mért kibocsátási, illetve meteorológiai és hidrológiai, valamint környezethasznosítási adatok és fogyasztási szokások alapján számítással becsült átlagos lakossági sugárterhelési értékeket is.

*

MÉRŐBERENDEZÉS ATOMERŐMŰ PRIMER ÉS SZEKUNDER KÖRE KÖZÖTTI SZIVÁRGÁS ELLENŐRZÉSÉRE

Bódizs Dénes*, Dési Sándor*, Fehér Ákos*, Molnár Ferenc*, Pataki György*,
Vajda Nóra*, Pintér Tamás**

*BME Nukleáris Technikai Intézet

**Paksi Atomerőmű Vállalat

Egy egyszerű, félautomatikus, nagyrészt hazai sorozat-gyártású műszerekből felépített mérőberendezést állítottunk üzembe a Paksi Atomerőmű II. blokk-

jánál. Az atomerőművek üzemeltetési előírása szerint a primer körből a szekunder körbe a gőzfejlesztőknél igen kis mértékű szivárgás engedhető csak meg. Az átszivárgás ellenőrzése nem csupán környezetvédelmi okokból szükséges, hanem hozzásegít a hőcserélő nagyobb mérvű meghibásodásának előrejelzéséhez, és így lehetővé válik annak megelőzése.

A berendezés az eddig alkalmazott, más feladatokkal is tulterhelt, drága mérőberendezést váltja ki.

A hat gőzfejlesztőből származó, szekunder körű hűtött vizmintát a berendezés automatikusan juttatja egy nagy érzékenységgű NaI szcintillációs detektorhoz, mintaváltó segítségével. A detektor jelei kétcsatornás diszkriminátorra kerülnek. Az egyik csatorna a ^{40}K , a másik a ^{24}Na aktivitáskoncentrációját figyeli. A háttérre és a két izotóp áthallására korrigált végeredményt Commodore-64 számítógép szolgáltatja. A berendezés érzékenysége 10 Bq/l körüli, a háttértől függően.

*

A KÖRNYEZETI LEVEGŐ TRICIUMTARTALMÁNAK VIZSGÁLATA

Csaba Eszter, Uchrin György, Kozák Kristóf
MTA Izotópkutató Intézete

Az MTA Izotópkutató Intézetében (IKI) az elmúlt években kb. 150 TBq triciált gázt használtak fel, amelynek kb. 10%-a kerül a levegőbe. 1987-től rendszeresen ellenőrizzük a különböző formában (HT, HTO) kibocsátott trícium mennyiségét az e célra kifejlesztett szilikagél alapú HT-HTO mintavevővel. A tríciumkibocsátás sebessége a hetenkénti mintavétel alapján 1-100 GBq/nap (HTO) és 1-1000 GBq/nap (HT).

Az IKI környezetvédelmi laboratóriumában évek óta mérjük a csapadék és a levegő páratartalmának tríciumkoncentrációját. A környezeti levegőben az e célra kifejlesztett molekulaszitára alapozott HT-HTO mintavevő segítségével követjük nyomon a HT és HTO koncentrációértékét 1988 óta. A mért adatok HTO-ra 0,06-0,6 Bq/m³, HT-re 0,02-2 Bq/m³. A környezeti levegőben mért koncentrációértékek változása jól korrelál az IKI kibocsátás adataival.

A pestlőrinci meteorológiai állomáson gyűjtött havi csapadékmintákban is rendszeresen mérjük a trícium koncentrációját, melynek tipikus értéke kb. 3-6 Bq/l.

*

ATOMERŐMŰVI LEVEGŐTISZTÍTÓ BERENDEZÉSEK (JÓDSZŰRŐK) IN SITU IMPREGNÁLÁSA

Gimesi Ottó*, Segesváry Gábor*, Ormai Péter**, Pungor Ernő*

*BME Általános és Analitikai Kémiai Tanszék

**Paksi Atomerőmű Vállalat

Az urán fűtőelemekkel működő atomreaktorok üzemelése során a maghasadás eredményeként nagy aktivitási hányaddal keletkeznek különböző tömegszámu radioaktív jódiszotópok. Ezek elemi jódként keletkeznek, a másodlagos hatások következtében, azonban különböző kémiai formákban jelennek meg (I_2 , I^- , IO^- , IO_3^- alkil-jodid). A fűtőelemekből a primerkörbe jutó, majd szivárgás, illetve esetleges baleset során a légtérbe kerülő radiojódot a technológiai szűrőberendezések szűrik ki. A szűrőbetétek hatásos élettartama - az alkalmazott típustól függően - korlátozott. Az erőművi reaktorok jódszűrő berendezéseiben leggyakrabban alkalmazott szorbensek:

- natur, illetve impregnált aktiv szén,
- ezüst-nitráttal impregnált katalizátorhordozók,
- ezüstzeolitok,
- ezüst és rézhálók.

A szovjet gyártmányú erőművi reaktorok technológiai jódszűrőiben leggyakrabban natur aktiv szenet alkalmaznak. Ezek garantált hatásos élettartama 3 év. A csökkent hatásfoku szorbens cseréje, regenerálása vagy impregnálása azonban - a szűrőrendszer kompakt kialakítása miatt - csak rendkívül drágán, és jelentős munkával végezhető el. Ezért merül fel az igény arra, hogy a regenerálást, illetve impregnálást in situ lehessen elvégezni, úgy, hogy a szűrő hatásfoka és hatásos élettartama lehetőleg jobb is legyen, mint az eredetié.

Előkísérleteink során reaktorból kivett, elszennyeződött aktiv szenet impregnálunk oly módon, hogy azt az aktiv helyekre erősen kötődő anyaggal telítjük, majd egy újabb reaktáns hozzáadásával ezt az anyagot radiojód megkötésére alkalmas vegyületté alakítjuk.

A laboratóriumi kísérletek eredményei alapján azt tapasztaltuk, hogy az impregnált szorbens alkalmas a légnemű közegben lévő radioaktív jódgőz és alkil-jodid megkötésére. Mivel a megkötés adszorpciót követő izotópcserén alapul, várható, hogy az így átalakított szűrő hatásos élettartama jóval meghaladja majd az eredetiét.

A TALAJVÍZ MOZGÁSÁNAK ÉRZÉKENY ÉS GYORS FELDERÍTÉSI MÓDSZERE: A RADIOIZOTÓPOS NYOMJELZÉSTECHNIKA

Baranyai Lajos
MTA Izotópkutató Intézete

(Az előadás teljes szövegét a 191. oldalon közöljük.)

*

RADIOIZOTÓPOK MIGRÁCIÓJA TALAJBAN

Baranyai Lajos, Pentz Gábor, Koppány Zsuzsa
MTA Izotópkutató Intézete

A veszélyes hulladékok felszinközeli tárolókban való elhelyezése szükségszerűen fölveti annak kérdését, hogy a tárolókból való kijutásuk esetén milyen mértékben és milyen sebességgel terjednek a befogadó közegben, illetve a különböző típusú befogadó közegek milyen visszatartást jelentenek az anyagok terjedése ellen.

A talajba került veszélyes anyagok terjedését a víz mozgása, a konvekció és a molekuláris diffúzió segíti elő. A talajban való vándorlásuk során azonban érintkezésbe lépnek magával a közeggel, és közöttük különféle kölcsönhatások - adszorpció, kemisorpció, ioncsere - játszódhatnak le. A veszélyes anyagok vándorlása, migrációja a fenti folyamatok eredője.

A veszélyes anyagok többsége radioaktív izotópjával nyomjelezhető, és a talajokban való terjedése ún. migrációs oszlopkisérletekkel tanulmányozható. A nyomjelző anyag terjedését a migrációs oszlopok rétegenkénti aktivitásmérésével határoztuk meg, és a kollimált detektor által felvett hisztogramokra egydimenziós migrációs modell görbéit illesztettük a jelzőanyag-talajpárokra jellemző migrációs állandók meghatározása céljából.

*

RADIOAKTÍV CÉZIUM-IONKONCENTRÁCIÓ ELOSZLÁSA SZERVETLEN IONCSERÉLŐ OSZLOPON

Pátzay György, Tóth Béla
BME Kémiai Technológiai Tanszék

1975 óta végzett kutatásaink során részletesen tanulmányoztuk radioaktív céziumonok szelektív eltávolítását különböző koncentrációju és összetételű hulladékoldatokból, hazai mordenites és klinoptilolitos riolittufák segítségével. Kimutattuk, hogy a legjobb eredményt az ammónium formába vitt zeolit adta. A vizsgálat során nemcsak a töltött oszlopról elfolyó, hanem az oszlopon megkötődött céziumkantrációt is mértük speciális kollimátoros szcintillációs mérőfej és precíziós mozgató mechanizmus segítségével. Az így az oszlop hossz tengelye mentén meghatározott céziumkantráció eloszlási frontjának alakját és meredekségét erősen befolyásolta a zeolitos töltet előkezelése. Ammónium formában éles, közel állandó meredekségű koncentrációfront, kezeltlen állapotban (Ca-, Na- és K-forma) elmosódott, ún. "proportionate pattern" típusu front alakult ki. Fenti méréstechnika is igazolta az ammónium formájú zeolit kedvező céziumkantrációs tulajdonságait és az ioncsérés irodalomban tárgyalt "kedvező" és "kedvezőtlen" ioncsere-egyensúlynak megfelelő koncentrációprofilok kialakulását.

*

AZ ^{110m}Ag , K, Al, Ca ÉS Fe KÉMIAI FORMÁJÁNAK VIZSGÁLATA TALAJBAN, KÜLÖNBÖZŐ EXTRAKCIÓS MÓDSZEREKKEL

Guczi Judit*, Kerekes Andor*, Robert A. Bulman**, Szabó Gyula*

*Országos Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet

**National Radiological Protection Board, Chilton, Egyesült Királyság

A talajra kerülő fémionok növényekbe való felszívódását nagymértékben meghatározza, hogy milyen kémiai formában fordulnak elő, illetve a talaj mely "fázisához" kapcsolódnak. Ennek megállapítására az irodalom számos olyan extraháló szert javasolt, amelyekkel az egyes elemek szelektíven kivonhatók a talajt alkotó ásványokból, illetve szerves komponensekből.

Munkánkban ^{110m}Ag -el jelzett talajon tizenegyféle extraháló szerrel határoztuk meg a K, Al, Ca, Fe és a ^{110m}Ag kötődését a talaj komponenseihez. Kísérleteinkben három új, az irodalomban nem használatos extrakciós eljárást al-

kalmaztunk; nevezetesen a talaj szerves komponenseinek *in situ* szililezését dimetilformamidban, dimetilditiokarbamát és 1,5,9,13-tetra-tio-ciklohexadecán-3-11-diol alkalmazását fémionok mobilizálására. Kísérleteink során az ^{110m}Ag kémiai formájának, illetve kötéseerősségének megállapítására szekvenciális extrakciós módszereket is alkalmaztunk. A szerves anyaghoz kötött ^{110m}Ag -t vizsgáltuk nagy hatékonyságu folyadékromatográfiával (HPLC) annak megállapítására, hogy mely molekulatömeg tartományu humuszfrakció köti a ^{110m}Ag -t.

Megállapítottuk, hogy a ^{110m}Ag közel 100%-ban a talaj humusz típusu anyagaihoz kapcsolódik. Kísérleti eredményeink szerint a huminsavhoz történő erős kötődést a huminsav komplexképzésre alkalmas kötőhelyei okozzák, míg az egyszerű karboxil csoportok ionos kötőhelyei a radbezüst adszorpciójában nem játszanak szerepet. Emellett megállapítottuk, hogy a K és az Al a zeolitfázisban helyezkedik el, és nehezen mobilizálható, míg a Ca közel 100%-ban könnyen kioldható a talajból, ami azt mutatja, hogy a talajban a gyenge ioncserélő helyekhez kötődik.

*

$^{110m}\text{Ag}(\text{I})$ ÉS $^{125}\text{I}(-\text{I})$ ADSZORPCIÓS TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA KÉMIAILAG KÖTÖTT HUMINSAVAS GÉLEN

Guczi Judit*, Antoaneta Angelova**, Robert A. Bulman***, Szabó Gyula*

*Országos Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet

**Institute of Nuclear Medicine, Radiobiology and Radiation Hygiene, Szófia

***National Radiological Protection Board, Chilton, Egyesült Királyság

Különféle kationok és anionok komplexképzése, adszorpciója a talaj szerves anyagaival, széleskörűen vizsgált folyamat az irodalomban. Kevés adat ismert az I^- és az Ag^+ ionokra, ami valószínűleg annak következménye, hogy természetes körülmények között ezek az ionok kis koncentrációban fordulnak elő a talajban. Habár számos szerző pozitív korrelációt állapított meg ezen ionok adszorpciója és a talaj szervesanyag-tartalma között, még megalapozott hipotézis nem alakult ki ezen adszorpció mechanizmusára.

Hogy a talajban lejátszódó adszorpciós, ioncserés folyamatok tanulmányozását egyszerűbbé tegyük, előállítottunk egy "modelltalajt", nevezetesen kémiailag kötött huminsavat tartalmazó szilikagélt. Előadásunkban tárgyaljuk ezen gélt előállítását és tulajdonságainak meghatározását (kation- és anionkötő kapacitás, szervesanyag-tartalom, karboxi csoport mennyisége). Részletesen tárgyaljuk az előállított gélen a ^{110m}Ag és a ^{125}I adszorpcióját különféle oldatokban és pH-kon, valamint ezen radionuklidok adszorpciós kinetikáját, össze-

hasonlítva a kiindulási szilikagélen lejátszódó folyamatokkal.

Kísérleteinkből megállapíthatjuk, hogy az általunk előállított "modell-talaj" használható a ^{110m}Ag és a ^{125}I környezeti mozgásának tanulmányozására, illetve az ezen gélen megállapított adszorpciós koefficiens alkalmas a radio-nuklidok környezeti modellezésére.

*

VAS ÉS KOBALT MEGHATÁROZÁSA ELEKTROKÉMIAI MÓDSZEREKKEL "SZABAD SZINTŰ" RADIOAKTÍV VIZEKBEN

Szentgyörgyi Pál, Rakiás Ferenc, Bodor Elekné
Országos Gyógyszerészeti Intézet

Különbéle eredetű, radioaktív anyagokat tartalmazó vizekben igen kis koncentrációban előforduló nehézfémek meghatározása egyre több területen válik szükségessé.

E célra atomabszorpciós, spektrometriás, voltametriás, neutronaktivációs analitikai eljárások alkalmazhatók. A neutronaktivációs analízis helyhez, reaktorhoz kötött, az atomabszorpciós spektrometria drága műszerigénye miatt kevésbé terjedhetett el a rutin ellenőrzésben, míg a kis műszerigényű, de teljesítőképességében összevethető adottságu voltametriás módszerek elterjedése várható.

Differenciál-impulzuspolarográfián és stripping analízisen alapuló módszerrel dolgoztunk ki a vas és kobalt "szabad szintű" radioaktív vizekben történő meghatározására. A stripping analízisre munkaelektrodként platina pont-elektrodot használtunk. Az elektrolitikus vezetőképesség biztosítására elektrolitot adagoltunk az analizálandó mintához, oxálsavat a polarográfiás és sósavat a stripping analízis esetében. Az adagolt elektrolit mennyiségét úgy választottuk meg, hogy a vizminta oxálsavkoncentrációja 0,1 M, illetve sósavkoncentrációja 0,01 M legyen. A kísérleti görbéket a Symphony-számítógépprogrammal értékeltük ki, melyet a célnak megfelelően alkalmaztunk. Módszerünkkel ppm és ppb koncentrációsintű vas és kobalt meghatározását végeztük "szabad szintű" radioaktív vizmintákban.

*

KÜLÖNBÖZŐ SZÉNPERNYEFRAKCIÓK NEUTRONAKTIVÁCIÓS ANALITIKAI VIZSGÁLATA

Baranyainé Fliszár Rózsa, Sziklainé László Ibolya, Rausch Henrik, Zemplénné Papp Éva

Központi Fizikai Kutató Intézet

A nukleáris analitikai módszereket egyre szélesebb körben alkalmazzák a környezetvédelemben, de alkalmasak az ipari üzemekből kikerülő szennyező anyagok minősítésére és ellenőrzésére is. A módszerek elterjedését elősegítette, hogy multieleemes jellegüknél fogva egy mintavételből több, a környezetre káros elem határozható meg.

A környezeti minták rendkívüli bonyolultsága miatt, mint ez a következő előadásban ismertetett szénpernyékre is érvényes, olyan analitikai módszert célszerű választani, amely megfelelően érzékeny, specifikus, pontos, és egyaránt alkalmazható fő, mellékkomponensek és nyomelemek meghatározására. Ezeknek a követelményeknek a reaktor-neutronaktivációs analízis nagy felbontású γ -spektrometriával és számítógépes adatfeldolgozással eleget tesz. További előnyt jelent a módszer roncsolásmentessége, így a mintaelőkészítésből, feltárásból adódó pontatlanság kiküszöbölhető.

Négy széntüzelésű erőműben keletkező, a porleválasztóból, illetve a kéményből vett pernyefrakciókat vizsgáltunk neutronaktivációs analízissel. Előadásunkban ezen vizsgálatok eredményeiről számolunk be.

*

SZÁLLÓ SZÉNPERNYE, MINT KÖRNYEZETSZENNYEZŐ HULLADÉK: TOXIKUS ELEMELŐZLÁSA KÜLÖNBÖZŐ PERNYEFRAKCIÓKBAN

Rausch Henrik, Sziklainé László Ibolya, Baranyainé Fliszár Rózsa, Sándor Szvetlana, Zemplénné Papp Éva

Központi Fizikai Kutató Intézet

A hazai széntüzelésű hőerőművek elsősorban kis fűtőértékű, azaz nagy közetartalmu lignitet és szenet égetnek el, többnyire portechnológiai eljárással. Ennek következményeként tetemes mennyiségű, finom szemcseeloszlású szállópernye keletkezik, amelynek mintegy 95-96%-át a beépített szűrőrendszerek leválasztják ugyan, de az ezeken túl jutó 2-5% is több ezer tonna pernyeport jelent, amely a környezetben szétszóródik.

A szénpernyében, de különösen a környezetet szennyező finomabb szemcsefrakcióban jelentős mértékben feldusulnak a biológiai élet szempontjából ártalmas toxikus elemek, amelyek a savas esők hatására kioldódnak, és lomb- vagy gyökérfelszívódás révén növényekben, illetve talajvizben feldusulnak. Eből a szempontból a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által koordinált nemzetközi projekt résztvevőinek legutóbbi munkaértekezlete (1989. november, Jakarta) a V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Sb, Hg, Tl és Pb elemeket emelte ki és javasolta részletes vizsgálatra.

Előadásunkban a négy jelentősebb hazai széntüzelésű hőerőmű (Ajka, Borsod, Mátra, Pécs) különböző helyeiről vett szállópernyeminták vizsgálatának első kétéves periódusában kapott eredményekről számolunk be. A fizikai tulajdonságok közül a pernyeszemcsék méreteloszlását, jellemző morfológiáját és a szemcsefrakciók fajsúlyát mértük, míg kémiai összetétel vonatkozásában közel 40 elem eloszlását vizsgáltuk, a fent említett toxikus komponenseket is beleértve.

Vizsgálatainkhoz fénymikroszkópiai, képanalitikai, SEM és SEM mikro-Röntgen fluoreszcens analízis, valamint INAA, ICP-AES és AAS eljárásokat használtunk.

Ezuton is köszönetet mondunk a Budapesti Műszaki Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszéknek az ICP-AES és AAS méréssel nyújtott segítségért, valamint a BME Nukleáris Technikai Intézetének jelentős számú pernyeminta neutronbesugárzásáért.

*

ANYAGSZIGETELÉS NAGY AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKTÁROLÓKHOZ

A nagy aktivitású hulladékok, így az atomerőművek kiégett fűtőelemeinek tárolására az egyik lehetőség: a hulladékot tartalmazó fémtartályt bentonit szigetelő réteggel veszik körül, majd gránitos vagy egyéb szilárd kőzetbe furt lyukakba süllyeszti. Ilyen célra használt bentonitról tartottak szemináriumot Lundban 1988. október 5-6-ig, ennek anyagából áll az Engineering Geology 28. kötetének (1990) 3/4. száma.

A bentonit fizikai és kémiai tulajdonságait a benne lévő agyagásványok: a szmektitiek szabják meg. A szmektitiek az Al, Mg, Fe és más, átmeneti fémek duzzadó rétegszilikátjainak széles csoportja. Hőtani, hidrotermális és oldással szembeni stabilitásuk fajtáról fajtára változik, ami erősen befolyásolja a bentonit duzzadását, permeabilitását, plaszticitását és adszorpciós képességét.

A 19 cikk foglalkozik

- a szigetelőn keresztül történő viz- és gázáramlás elméletével;
- a nedvességnek a tárolóban fejlődő hő hatására létrejövő vándorlásával, az agyag átalakulásával, a bentonit szigetelőréteg hosszú idejű stabilitásával;
- az U és Pu diffúziójának mérésével, az iondiffúzió elméletével;
- a szigetelő anyag minősítésével, mechanikai tulajdonságainak mérésével;
- a bentonit tulajdonságainak javításával (ultrahangos kezelés, őrlés, szárítás);
- a szmektitiek alkalmazásával a kőzetrepedések tömitésére;
- a kőzetben fellépő elmozdulások hatásával.

Nagy Géza

Az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriuma
Budapest, Budaörsi ut 45., 1112

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

309.024

HU ISSN 0865-0497

14.

1990

4

itd

izotóptechnika, diagnosztika

Felelős szerkesztő: Veres Árpád

A szerkesztőség címe:

Az MTA Izotópkutató Intézete
Budapest, Pf. 77, 1525

Felelős kiadó: Földiák Gábor

Készült az MTA Központi Fizikai
Kutatóintézete házi sokszorosí-
tójában.

Felelős vezető: Gonda Péter

Törzsszám: KFKI-1991-104

A szerkesztőbizottság:

Bába Miklós, Baranyai Lajos, Fehér
László, Földes János, Illy József,
Jánoki Győző, Kárteszi Mihály, Ke-
szei Csaba, Köteles György, Len-
gyel Tamás, Márton József, Máté
Ferenc, Medveczky László, Molnár
Gyula, Szilvási István

1990-től terjeszti az
MTA IZOTÓPKUTATÓ INTÉZETE

Megrendelésükre számlát küldünk.
Cimünk:

BUDAPEST, Pf. 77, 1525

Előfizetési díj egy évre 320 R
Egyes szám ára 80 R

Megjelenik évente négyszer.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE!

A kéziratot két példányban, magyar
nyelven, magyar, orosz és angol
nyelvű címmel, ábra- és táblázat-
felirattal, eredeti közlemény ese-
tén pedig ugyancsak e három nyel-
ven készült, kb. 100 - 150 szónyi
kivonattal kérjük. A helyesírás
az akadémiai helyesírás szabályait
kövesse, a mértékegységek pedig az
SI-t.

Rajzos ábrát tussal kihuzva vagy i-
gen fekete vonalú gyorsmásolatban,
fényképet eredetiben kérünk. A ké-
peket, rajzokat kivánságra vissza-
küldjük.

A szerkesztőség a stiláris és he-
lyesírási változtatás jogát fenn-
tartja magának. A szerzők korrektu-
rát és 50 különlenyomatot, valamint
egy tiszteletpéldányt kapnak.

Hirdetést felvesszünk, kongresszusi
felhívást, értesítést, hirt szive-
sen fogadunk.

*

Az IZOTÓPTECHNIKA, DIAGNOSZTIKA a
hazai izotópkalkuláció és klinikai
kémiai fejlesztés szerteágazó terü-
leteiről és aktuális elvi, valamint
módszertani eredményeiről kíván le-
hetőleg teljes képet adni a hazai
szakembereknek. Célja, hogy a stabi-
lis és radioaktív izotópok és nem
aktív diagnosztikumok orvosi, mező-
gazdasági, ipari felhasználásában el-
ért alap- és alkalmazott kutatási
eredményekről, a sugártechnika és
sugárvédelem időszakos és módszertani
kérdéseiről, a radioaktív hul-
ladék biztonságos kezeléséről és
más, hasonló területekről tájékoz-
tasson.

*

Utibeszmélő, konferenciabeszámóló,
összefoglaló tanulmány, könyvismert-
etés formájában tájékoztat az ér-
demesnek ítélt hazai és külföldi e-
redményekről. Ismertetést, vitacik-
ket, tájékoztatót közöl a hazai
szakmai körök életéről, problémáiról,
javaslatairól.

itd 1990 4

Izotóptechnika, diagnosztika

33. évfolyam

TARTALOMJEGYZÉK

- Asztácium előállítása a debreceni MGC-20E ciklotronnal
Szücs Z., Szelecsényi F. 221
- Получение астата на циклотроне МГЦ-20Е в г. Дебрецен
Сюч, Э., Селеченьи, Ф.
- Production of Astatine on the Cyclotron MGC-20E in
Debrecen
Szücs, Z., Szelecsényi, F.
- Összehasonlító SPECT és Planar γ -kamerás vizsgálatok ^{99m}Tc -
mal jelzett 2-metoxi-izobutil-izonitril és tercier-butyl-
-izonitril radiofarmakonokkal posztinfarktusos betegeken
Horváth M., Pszota Á., Kármán M., Szalai M., Németh
L., Környei J. 227
- Сравнительные осмотры, проведенные с помощью однофо-
тонного эмиссионного ЭМ томографа и планарной гамма-
камеры, с применением радиодармцевтических препара-
тов 2-метокси-изобутил-изонитрил и трееичный-бутил-
-изонитрил, меченных ^{99m}Tc , на постинфарктных пациен-
тах
- Comparative SPECT and Planar Gamma-Camera Examina-
tions with 2-methoxy-isobutyl-isonitrile and tertier-
-butyl-isonitrile Radiopharmaceuticals Labelled with
 ^{99m}Tc on Postinfarction Patients
Horváth, M., Pszota, Á., Kármán, M., Szalai, M., Né-
meth, L., Környei, J.
- Az atomerőmű hatósági környezeti sugárvédelmi ellenőrző
rendszerének eredményeiről, 1989 237
- Каняр В.
- О результатах в 1989. г. ведомственной системы конт-
роля окружающей среды АЭС Пакш
Каняр В.
- On the System of Radiation Protection Control in the
Environment of Paks Nuclear Power Plant: The 1989 Re-
sults
Kanyár, B.

II

$^3\text{H}/^{14}\text{C}$ kettős jelölés alkalmazása szteroidok identifikálására	
Szécsi M., Tóth I., Faredin I.	249
Применение двойного изотопного мечения $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ для идентификации стероидов	
Сечи, М., Тот, И., Фаредин, И.	
A $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ Double Isotope Dilution Method for the Identification of Steroids	
Szécsi, M., Tóth, I., Faredin, I.	
A liposzómák alkalmazásának perspektívái a klinikai orvostudományban	
O.A. Rozenberg, K.P. Hanszon, Jánoki Gy.	259
Перспективы применения липосом в клинической медицине	
Розенберг, О.А., Хансон, К.П., Яноки, Дь.	
Prospects of the Application of Liposomes in Clinical Medicine	
Rozenberg, O.A., Hanson, K.P., Jánoki, Gy.	
KONFERENCIABESZÁMOLÓ	267
Szabó S. A.	
MEGHIVÓ A MAGYAR ORVOSTUDOMÁNYI NUKLEÁRIS TÁRSASÁG VII. KONGRESSZUSÁRA	275

ASZTÁCIUM ELŐÁLLÍTÁSA A DEBRECENI MGC-20E CIKLOTRONNAL

Szücs Zoltán, Szelecsényi Ferenc

Az MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen, Pf.: 51, 4001

(Érkezett 1990. október 8-án)

BEVEZETÉS

Az asztácium azon kevés elemek közé tartozik, melyeknek nincs stabil izotópjuk. Radioaktív izotópjait is csak mesterséges úton, magreakcióval lehet előállítani. Éppen ezért sokáig kutatása is csak néhány nagyobb intézetre korlátozódott, ahol rendelkeztek megfelelő teljesítményű ciklotronnal. Az utóbbi évtizedben a ciklotronok számának rohamos növekedtével az asztáciummal foglalkozó kutatócsoportok száma is megnőtt. Kutatási célokra az elem izotópjai közül csak a három leghosszabb felezési idejű nuklidot alkalmazzák: a 209-es ($T_{1/2}=5,5$ h), a 210-es (8,3 h) és a 211-es (7,2 h) tömegszámút. Legfontosabb közülük az orvosbiológiai jelentőséggel is bíró ^{211}At izotóp, melynek lebomlása során gyakorlatilag csak α -részecskék szabadulnak fel, és a visszamaradó, egyetlen hosszabb felezési idejű leányelemének, a ^{207}Bi -nak a sugárterhelése 10 nagyságrenddel kisebb, mint az anyaelemé^{1,2}. A keletkező α -részecskék nagy LET-értékűek (lineáris energiaátadás) ($100 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$) és rövid hatótávolságuk ($65 \mu\text{m}$)² következtében, tumorspecifikus vivőanyaghoz kötve, igen effektív és jól körülhatárolt sejtölő hatást tudnak kifejteni rákos daganatban, a környező egészséges szövetek károsítása nélkül. Ezáltal még egyes metasztatizáló betegek gyógyítására is van remény. A monoklonális antitestek betölthetik a tumorspecifikus vivőanyag szerepét, így hordozóként szolgálhatnak a radioterápia számára ígéretes ^{211}At izotópnak. Az a tény, hogy az immunológia területén sikerült megoldani a monoklonális antitestek nagy tisztaságban történő preparálását³, még csak növelte a kémiai alap kutatások nagy lehetőségei által felkeltett, fokozódó érdeklődést az asztácium iránt. A világszerte megnyilvánuló érdeklődés vetette fel a kérdést, van-e reális alapja az asztácium hazai kutatásának.

Az asztácium tulajdonságainak alap kutatása is igen komoly feladat, hiszen, a már említett okok miatt, ismereteink elég hiányosak erről az elemről. Figyelembe véve az izotópok bomlási módját (1. táblázat), látható, hogy a kémiai alap kutatásokhoz - mérés technikai okok miatt - kényelmesebb a ^{209}At és a ^{210}At használata, mint a ^{211}At izotópé. Ezért még a medikális célú jelzések modellezésére is gyakran használják őket.

Áttekintve a lehetséges magreakciókat és a debreceni ciklotron paramétereit, el kellett vetnünk az orvosi célokra alkalmazható ^{211}At gazdaságos előállítását lehetővé tevő $^{209}\text{Bi}(\alpha, n)^{211}\text{At}$ magreakciót, mert ennek előállítási

körülményei nem biztosíthatók a debreceni ciklotronnal. Asztácium gazdaságos termelésére csak egy lehetőséget találtunk: a $^{209}\text{Bi} (^3\text{He}, 3n) ^{209}\text{At}$ magreakciót. Ez az egyetlen olyan magreakció, melynek képződési hatáskeresztmetszete már elegendően nagy⁴ a ciklotron által elérhető energiatarományban. Ez a nuklid alkalmas az alapkutatásokhoz, bár a legrövidebb felezési idejű a három alkalmazott izotóp közül. További biztatás lehet a hazai kutatások számára, hogy a dubnai Egyesített Atomkutató Intézetben befejezés előtt áll egy radioaktiv ne-mesgázizotópokat termelő rendszer. Egyik terméke a ^{211}Rn nuklid, mely az egyetlen lehetséges generátora a ^{211}At -nak. Ezzel lehetővé válna a ^{211}At izotóp importja, az eredmények hazai terápiás célú, orvosbiológiai felhasználása is.

1. táblázat

A ^{208}At , ^{209}At , ^{210}At és a ^{211}At izotóp néhány magfizikai adata

Некоторые ядерные данные изотопов ^{208}At , ^{209}At , ^{210}At и ^{211}At

Decay data of ^{208}At , ^{209}At , ^{210}At and ^{211}At radioisotopes

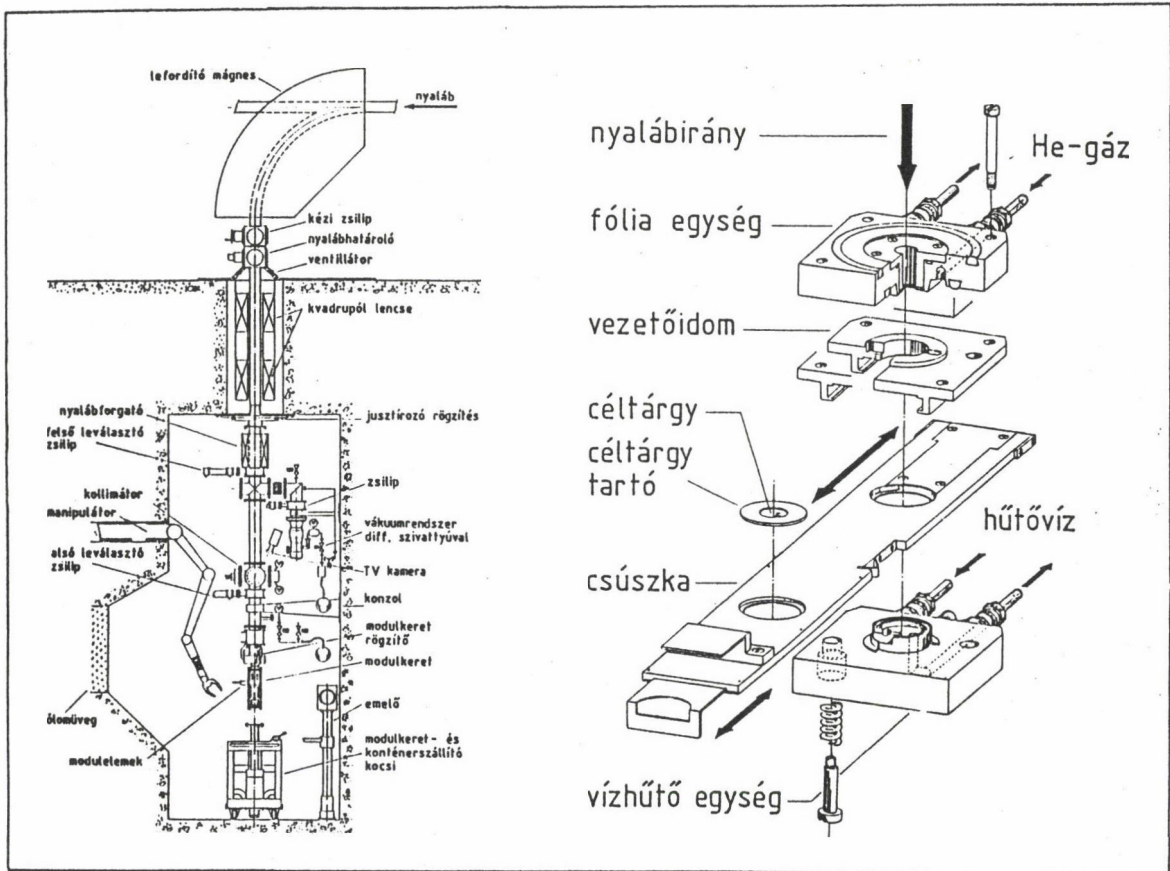
Radioizotóp	^{208}At	^{209}At	^{210}At	^{211}At
Felezési idő (h)	1,6	5,5	7,2	8,3
Bomlási mód	α (0,55%) EC+ β^+ (99,4%)	α (4,1%) EC (95,9%)	α (0,18%) EC+ β^+ (99,8%)	α (41,9%) EC (58,1%)
Jellemző γ -energiák (keV) és abszolút intenzitásai (%)	79 (45) 177 (50) 660 (92) 685 (99)	239 (13) 545 (62) 782 (58) 792 (37)	245 (79) 1180 (100) 1436 (29) 1482 (48)	670 (0,003)

KISÉRLETI RÉSZ

CÉLTÁRGYKÉSZÍTÉS, BESUGÁRZÁSI KÖRÜLMÉNYEK

Az asztácium radioizotópok vastagcélanyag-hozamainak meghatározására, valamint a termelési feladatokhoz 99,999%-os tisztaságú fém bizmutot használtunk. A célanyagot olvasztással vittük fel réz hátlapra, melyet a jó tapadás érdekében előzőleg foszforsavval kezeltünk. A hozamméréshez 300 μm vastag célanyagot alkalmaztunk, hogy az olvasztással készült célanyag esetleges egyenetlen vastagságából eredő hozamvesztései hibákat kiküszöböljünk. A termeléshez használt célanyag vastagsága a jobb hőelvezetés érdekében csak 200 μm volt. A besugárzásokat az MGC-20E ciklotron függőleges izotóptermelő nyalábján végeztük. (1. ábra). A hozammérési kísérletnél a ^3He -nyaláb energiája 28 MeV, intenzitása kb. 120 nA, a besugárzási idő pedig 15 perc volt. A célanyagba bevitt össztöltést a célanyag elé helyezett, 8 μm vastagságú ^{nat}Cu monitorfóliával és Faraday-kamrával mértük⁵. A termelési feladatokat az 1. ábra jobb oldalán látható, moduláris felépítésű célanyagkamrával oldottuk meg⁹. A kamrában elhelyezett célanya-

got a nyalábvég vákuumterétől 11 μm -es vastagságu speciális fémfólia választja el¹⁰. A töltött részecske-nyaláb ezen a fólián jelentősebb energia- és intenzitásvesztés nélkül képes áthaladni, ugyanakkor a fólia megakadályozza a nyalábvég radioizotópokkal való esetleges elszennyeződését. A céltárgy nyaláb felőli oldalának hűtésére a fólia és a céltárgy között héliumgázt áramoltattunk. A réz céltárgytartó hátoldalának hűtésére zárt körű ioncserélt vizes hűtést alkalmaztunk. A kamrában elérhető maximális nyalábáram 25 μA (kb. 700 W).



1. ábra

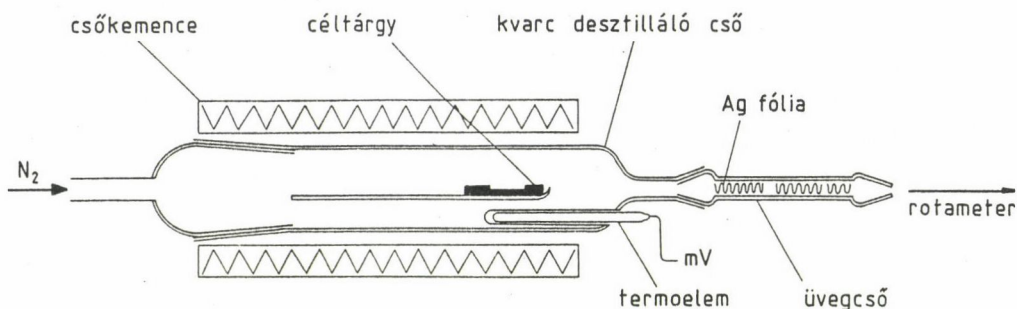
Az MGC-20E ciklotron függőleges izotópteremelő nyalábja és a szilárd céltárgyak besugárzásához használt céltárgykamra

Схема вертикального пучка циклотрона для производства изотопов и держательного устройства для облучения твердых мишеней

The vertical isotope production beam-line of the MGC-20E cyclotron and the target chamber used for solid target materials

A CÉLANYAG FELDOLGOZÁSA

A besugárzott céltárgyból száraz desztillációval nyertük ki a termelt izotópokat. A desztilláló rendszer felépítése a 2. ábrán látható. A céltárgyat a behelyezés előtt acetonnal és széntetrakloriddal lemostuk az esetleges szerves szennyezés eltávolítására. Erre azért van szükség, mert a desztillálás során a szerves anyagok és bomlástermékeik nagyban rontják a kinyerés hatékonyságát⁷. Az inert atmoszféra biztosítására a kvarcüvegből készült kemencén szobahőmérsékletű N_2 -gázt áramoltattunk keresztül $100 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ sebességgel 5 percig, majd a rendszert felfűtöttük 500°C -ra, és ezen hőmérsékleten tartottuk



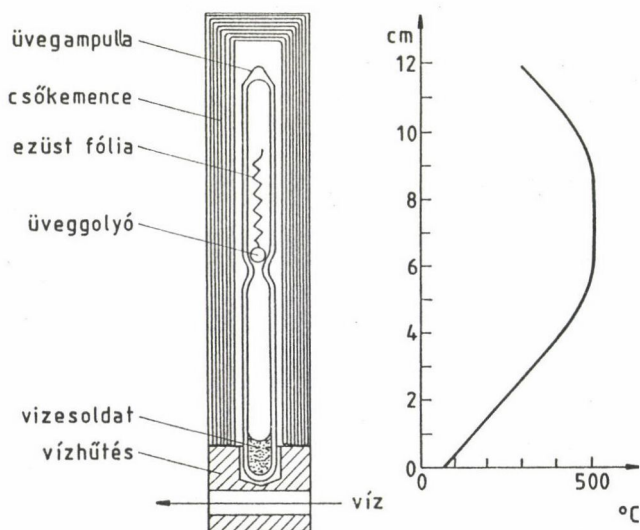
2. ábra

Asztáciumnak bizmut céltárgyból történő kinyerésére szolgáló szárazdesztilláló

Схема устройства для дистилляции астата из расплавленного висмута

Systematic scheme of the dry distillation system used for separation of astatine from metal bismuth target

20 percen át. Az ilyen módon megolvasztott bizmutból a vivőgáz elvitte az illanó asztáciumot, ami a jóval alacsonyabb hőmérséklettartományban (100-150°C) elhelyezett ezüst fólián adszorbeálódott. A kevés bizmutgőz még a kvarcedény alacsonyabb hőmérsékletű részén kondenzálódott. Az asztácium tetszőleges pH-ju és összetételű vizes oldatba történő átdesztillálására a 6 irodalom által közölt módszert használtuk. Az átdesztilláló készülék a 3. ábrán látható. A redesztillálás függőleges elhelyezésű csőkemencével folyik, melynek alsó végéhez vízűtéses ampullatartó illeszkedik. Az ezüstfólián lévő radioaktív anyagot a 3. ábrán látható módon ampullába zártuk. A



3. ábra

Asztácium ezüst fóliáról vizes oldatba való átdesztillálására szolgáló berendezés

Схема устройства для перегонки астата с серебряной фольги в водный раствор в закрытом объеме

System for redistillation of astatine from silver foil into water solution

lálás függőleges elhelyezésű csőkemencével folyik, melynek alsó végéhez vízűtéses ampullatartó illeszkedik. Az ezüstfólián lévő radioaktív anyagot a 3. ábrán látható módon ampullába zártuk. A kifűtés során (körülbelül 500°C) a fólián maradt a leányelemként jelenlévő 209-es és 210-es tömegszámú polónium izotóp. Az asztácium a hűtött vizes fázisba kondenzált. A kapott preparátum kiindulási alapja az asztáciummal végzendő kémiai kísérleteknek.

A magreakciók vastagcél tárgyhozamait, a célanyag kinyerési hatásfokát és radiokémiai tisztaságának a meghatározását 50 cm³-es HpGe félvezető detektorral és 4096 csatornás analizátorral mértük (Nucleus Personal Computer Analyser). A spektrumokat IBM PC-re adaptált FORGAMMA programmal dolgoztuk fel.

EREDMÉNYEK

A besugárzott célananyagban a gyakorlati szempontból is lényeges három asztácium izotóp mellett a 208-as tömegszámú izotóp is megtalálható volt. A vizsgált izotópok néhány magfizikai adatát⁸ foglaltuk össze az 1. táblázatban.

A különböző asztácium izotópokra vonatkozó vastagcél-tárgy-hozam mérésének eredményeit tartalmazza a 2. táblázat.

2. táblázat

A $^{209}\text{Bi}+^3\text{He}$ reakcióval előállított asztácium izotópok vastagcél-tárgy-hozamai

Выходы изотопов астага в толстой мишени при следующем ядерном реакции: $^{209}\text{Bi}+^3\text{He}$

Measured thick target yields of astatine isotopes produced via $^{209}\text{Bi}+^3\text{He}$ reaction

Radioizotóp	^{208}At	^{209}At	^{210}At	^{211}At
Vastagcél-tárgy hozam [$\text{MBq}(\mu\text{Ah})^{-1}$]	2,1 \pm 0,3	22,6 \pm 3,1	1,4 \pm 0,2	<0,3 \pm 0,1

Az asztáciummal végzendő kísérletek céljára - az igényektől függően - 1-2 órás besugárzásokat végeztünk 5-15 μA közötti nyalábáramokkal.

A ^{209}At termelési körülményeinek optimalizálása végett (figyelembe véve a mért és az irodalmi adatok közötti eltéréseket), célszerű lenne a

fenti magreakciók gerjesztési függvényeit pontosan meghatározni, mivel a hatáskeresztmetszeteket eddig csak néhány energia értékére mérték meg a 60-as évek legelején⁴.

A száraz desztillációt a 7 irodalomban leirt módszer általunk módosított változatával hajtottuk végre. A kinyerés hatásfoka 85 \pm 5% volt. A redesztillációt követő analízis alapján az oldatban csak az asztácium izotópok voltak kimutathatók. A művelet hatásfokára kisebb mint 95% adódott. Az eredményekből megállapítható, hogy a vizsgált $^{209}\text{Bi}(^3\text{He},3n)^{209}\text{At}$ magreakció alkalmas az asztácium tulajdonságainak vizsgálatához szükséges mennyiségű izotóp termelésére a debreceni ciklotronban.

IRODALOM

1. I.C.R.P. Publ., 30. Supp. to Pt 2.694 Pergamon Press, Oxford
2. A. Harryson, Radiochim. Acta 47 (1989) 157
3. A.M. Campbell, Monoclonal Antibody Technology, "Laboratory Techniques in Biochemistry and Molecular Biology", Vol. 13, (1987)
4. A.Th., Storm, Report UCRL-9732 (1960)
5. Tárkányi, F., Szelecsényi, F., Takács, S., Fifth Symp. Med. Appl. of Cycl., Turku, Finland, 1989, Abstracts (ed. Heselius, S.J.) Turku, 1989, 29
6. Ю.В., Норсеев, Дис. докт. хим. наук., ОИЯИ, Дубна (1983)
7. В. Доберенц, Д.Д. Нянь, Р. Драйер, М. Миланов, Ю.В. Норсеев, В.А. Халкин, Препринт Р6-82-93, Дубна (1982)

8. Table of Isotopes, 7th ed., Wiley, New York, 1978
 9. Szelecsényi F., Mahunka I., Tárkányi F., Andó L., Automatizálás 3 (1989) 23
 10. Duratherm 600, Vacuumschmelze GmbH, Hanau, BRD

*

Az asztáciumkutatás világméretű fellendülése vetette fel annak gondolatát, hogy megvizsgáljuk, vajon lehetséges-e asztácium izotópok termelése a debreceni MGC-20E ciklotronon. Az irodalmi adatok és a gyorsító paraméterei alapján egy perspektivikus előállítási módot találtunk, a $^{209}\text{Bi}({}^3\text{He}, 3n){}^{209}\text{At}$ magreakciót. Vastag céltárgyban a hozam $22,6 \pm 3,1 \text{ MBq}(\mu\text{A})^{-1}$. A céltárgyból való kémiai kinyerés hatásfoka $85 \pm 5\%$. Ismertetjük a céltárgykészítést, a besugárzást, a termék γ -spektrometriás analizisét és a termékek száraz desztillációs kinyerésének helyi adaptálását.

ПОЛУЧЕНИЕ АСТАТА НА ЦИКЛОТРОНЕ МГЦ-20Е В Г. ДЕБРЕЦЕН
 Сюч,З., Селеченьи,Ф.

Авторам удалось найти единственную ядерную реакцию, у которой довольно высокое сечение образования ^{209}At -а в диапазоне рабочих параметров циклотрона ИЯИ в Дебрецене: $^{209}\text{Bi}({}^3\text{He}, 3n){}^{209}\text{At}$. Авторы приготовили мишень из металлического висмута, провели измерения и обработки γ -спектр продуктов, определили выход описанной ядерной реакции: $22.6 \pm 3.1 \text{ MBq}(\mu\text{Ah})^{-1}$ и химический выход выделения астата из мишени: $85 \pm 5\%$. Таким образом доказались возможности исследования астата в Венгрии.

PRODUCTION OF ASTATINE ON THE CYCLOTRON MGC-20E IN DEBRECEN
 Szücs, Z., Szelecsényi F.

On the basis of the presented thick target yields of charged particle induced nuclear reactions leading to various astatine isotopes, and taking into account the parameters of the accelerator, the only economical production way was found to be the $^{209}\text{Bi}({}^3\text{He}, 3n){}^{209}\text{At}$ reaction. Our measured thick target yield was $22.6 \pm 3.1 \text{ MBq}(\mu\text{Ah})^{-1}$ using an incident ${}^3\text{He}$ particle-beam of 28 MeV. Dry-distillation method was used for separation of astatine from natural Bi target with 85 ± 5 per cent overall yield.

ÖSSZEHASONLÍTÓ SPECT ÉS PLANAR γ -KAMERÁS VIZSGÁLATOK ^{99m}Tc -MAL JELZETT 2-METOXI-IZOBUTIL-IZONITRIL ÉS TERCIER-BUTIL-IZONITRIL RADIOFARMAKONNAL POSZTINFARKTUSOS BETEGEKEN

Horváth Mihály*, Pszota Ágnes*, Kármán Miklós*, Szalai Marianna*, Németh László*, Környei József**

*Állami Szívkórház, Balatonfüred, 8231

**Az MTA Izotópkutató Intézete, Budapest, Pf. 77, 1525

(Érkezett 1990. október 19-én)

A tercier-butyl-izonitril (TBI) klinikai kipróbálására OGYI megbízás alapján, megadott protokoll szerint került sor, egy hasonló tájékoztató megbízást követően.

A radiofarmakológiai tisztasági adatokat Budapestről kaptuk, de egy esetben (a kontrolszemélynél tapasztalt vérpoolképet követően) magunk is ellenőriztük, és megfelelőnek találtuk. Az ismert szájiztól eltekintve a betegek másról nem panaszkodtak, klinikai szövődményt nem észleltünk.



^{99m}Tc TBI



TBI

ROI ADATOK:

	ÖSSZEG	MAXIMUM	MINIMUM	ELLENSZÁM	ÁTLAG	
1. ROI	30912	2000	0	92	336	
2. ROI	30912	2000	0	448	64	
3. ROI	56672	3808	0	124	448	
4. ROI	57120	3808	0	576	96	56672/57120 = 99,2%

ROI ADATOK:

	ÖSSZEG	MAXIMUM	MINIMUM	ELLENSZÁM	ÁTLAG	
1. ROI	37376	3664	0	84	432	
2. ROI	37712	3664	0	448	80	I. 99,1%
3. ROI	50800	3904	0	90	560	
4. ROI	51424	3904	0	512	96	II. 98,8%

1. ábra

A ^{99m}Tc (TBI) 99%-os jelzési hozamát bizonyító kromatográfiás képünk
Хроматографический снимок, свидетельствующий о 99%-ном выходе мечения ^{99m}Tc TBI

Chromatographic picture proving the 99% labelling yield of ^{99m}Tc TBI

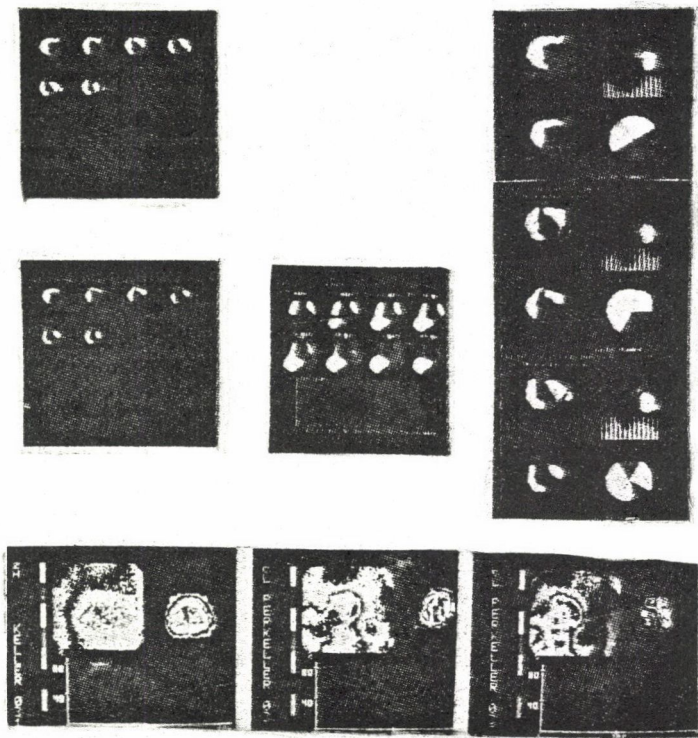
A betegeket posztinfarktusos megyei kataszterünkben választottuk ki, köztüjük miatt őket volt legkönnyebb beszervezni, másrészt korábbi felhasználható leleteik is rendelkezésre álltak (^{201}Tl és korábbi nyugalmi Cardiolite-vizsgálat cirkumferenciális értékelése, azonban természetesen nem szinkronban). Ez azonban, különösebb gondot nem okozott, mert a betegek jó állapotban voltak, egy beteg említett a megfelelő gyógykezelés mellett effort AP-t, és egynek volt nem jellegzetes AP panasza. A terheléses miokardperfúziós vizsgálat-hoz tartozó EKG-kontrol kapcsán 4 betegnél volt iszkémiás ST-változás megfigyelhető (egyikük volt az effort AP-os). Koronáriaörzönkben lévő akut betegek vizsgálatát nem kockáztattuk. Végül is 10 beteg vizsgálatára került sor, egy aláírt visszalépett, és egy élsportoló kontrolunk volt. Az önkéntességi nyilatkozatot aláírták. Betegeink diagnózisát külön táblázatban adjuk meg, nevük előtt feltüntetve az ergometriás terheléskori EKG ST-alakulást. A lokalizációs tagoltság ant. 1, ant.sept. 6, non-Q 2, inf. 7, post 1. Egy AS betegnél és egy non-Q MI betegnél sikeres aorto-koronáriás BP, 1 AS és post. recidiv MI betegnél sikertelen PTCA történt. A betegek kora 38-64 év közé esett 50 éves átlag életkorral.

Korábbi tájékoztató TBI sorozatunkban, cirkumferenciális kiértékelés alapján, azt jeleztük, hogy inf. post. lokalizációtól eltekintve eredményesség jegyében megkísérelhető a TBI vizsgálat, de az igazi megoldás, főleg az említett lokalizációkban, a SPECT lenne. Így hát jelen sorozatunkban erre koncentráltunk, párhuzamos polaroid felvételeket és Cardiolite esetében az egyes régiók-pontosítására ROI-kijelölésű ^{201}Tl módszert is felhasználva.

A SPECT vizsgálatot a Gamma Művek 9300 kamerájával és gantryjével Ketro-nic Medax N miokard perfúziós program számítógépes támogatásával végeztük. A sziv hossz tengelyére merőleges szeletekben létrejövő eloszlást 12 szektorban originál módban és háttérkorrekció után jeleníthettük meg. Kétszeri injekcióról lévén szó, nem volt használható a terheléskor és nyugalomban kapott Medax N oszlopoknak egybevetése, de a kétféle hisztogram alkalmas volt a perfúziós defektus nagyságának megítélésére (50%-nál nagyobb különbséget vettünk szignifikánsnak).

Már korábbi tájékoztató TBI vizsgálatainknál jeleztük a Cardiolite MIBI, és a TBI közti redisztribúciós különbséget sziv-máj, illetve sziv-tüdő viszonylatban (pixel-relációban). Miután terheléses MIBI és TBI viszonylatban rendelkezünk legtöbb adattal, erre vonatkozólag adjuk meg jelenlegi hányadosainkat: másfél óra múlva sziv-máj T-C1 $1,05 \pm 0,38$, T-TBI $0,64 \pm 0,43$, míg sziv-tüdő T-C1 $2,13 \pm 0,35$, T-TBI csak $1,44 \pm 0,1$. Sokkal jobban demonstrálják azonban ezt az irodalmilag közismert kinetikát Medax N sorozatképeink az 1 óra kapcsán. Véleményünk, hogy a TBI-felvétellel az injekció után legalább másfél óráig kell várni, és mint a MIBI-nél is, előtte zsiros ételt kell fogyasztani.

Sajnos 16 komplett vizsgálatot nem sikerült elkészíteni (T és Ny MIBI és TBI polaroid, százalékos planar ROI-k, T és Ny SPECT), részben azért, mert sugárvédelmi felelősünkkel egyetértésben a későbbiekben nem erőltettük a gyenge



2. ábra

Alul: korábban ^{99m}Tc Cardiolite-tal készült a planar miokardium perfúzió-képek és cirkumferenciális profil kiértékelésük (mely score alapjául is szolgál)

Felül baloldalt: Gamma Művek MB 9300 SPECT-jével Ketronic Madax N számítógép programmal kiértékelt original és háttér-korrigált szeletek a szív hossztenyelyére merőleges elrendezésben, ^{99m}Tc TBI-vel nyugalomban

Felül jobboldalt: Néhány szelet original és háttér-korrigált képe és mint a korábbi cirkumferenciális profilon, itt is, főleg a középső szeletben, 50%-ot messze meghaladó nyugalmi perfúziós defektus a korábbi inf. lokalizáció MI-hegnek megfelelően

Középen: Medax N programmal készült sorozat-képek, alatta alig látható idő-aktivitásgörbékkel, melyek jól mutatják a ^{99m}Tc TBI hosszas tartózkodását a tüdőben és főleg a májban

Внизу: Планарные изображения перфузии миокарда, сделанные раньше с ^{99m}Tc Cardiolite, и их оценка с помощью программы на ЭВМ периферического профиля

Наверху левая ст: Изображения, сделанные с помощью однофотонного эмиссионного ЭВМ-томографа MB 9300 Комбината Gamma (Венгрия)

Оригинальные и исправленные вычитанием фона сегменты, расположенные перпендикулярно к продольной оси сердца, анализированные с помощью программы ЭВМ Ketronic Medax N

Наверху правая ст: Оригинальные и исправленные вычитанием фона сегменты, показывающие перфузионный дефект, намного превышающий 50%, также обнаруженный в покое

Посередине: Серия, сделанная с помощью программы ЭВМ Медак И, под ней едва видные кривые активности в функции от времени, хорошо показывающие длительное пребывание ^{99m}Tc TBI в легких и особенно в печени

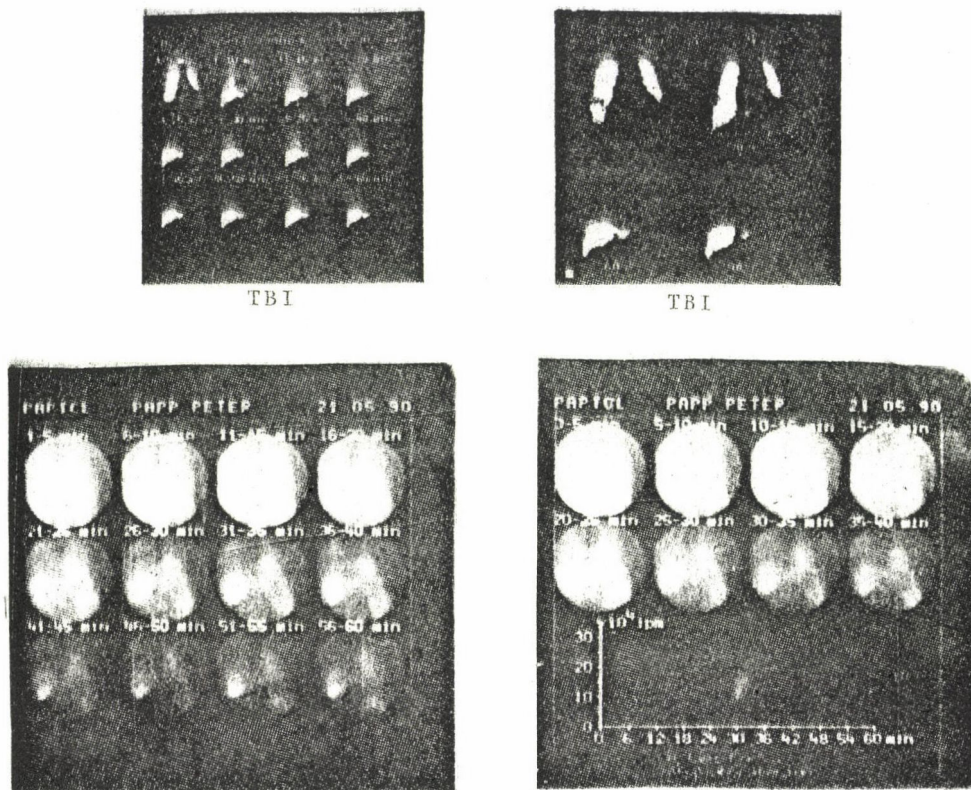
Bottom: Planar images of myocardium perfusion made earlier with ^{99m}Tc Cardiolite, and their circumferential profile analysis

Top left side: SPECT imaging with MB 9300 equipment of the Gamma Works (Hungary)

Original and background-corrected segments in an arrangement perpendicular to the longitudinal axis of heart, evaluated by Ketronic Medax N computer program

Top right side: Original and background-corrected segments referring to the perfusion defect far exceeding 50%, detected at rest as well

Middle: Series made by Medax N computer program, below them hardly visible time vs. activity curves showing well the long stay of ^{99m}Tc TBI in the lungs and mainly in the liver



^{99m}Tc Cardiolute (MIBI) regional kinetics

3. ábra

Felül: A ^{99m}Tc TBI redisztribúciós kinetikája 90 p. múlva még mindig jelentős zavaró máj-aktivitást jelezve, melynek csökkentésében éppen a SPECT segít

^{99m}Tc Cardiolute szerv-megoszlási képek és idő-aktivitás görbék, kiemelve a ^{99m}Tc MIBI kedvezőbb tüdő- és májbóli eliminációját

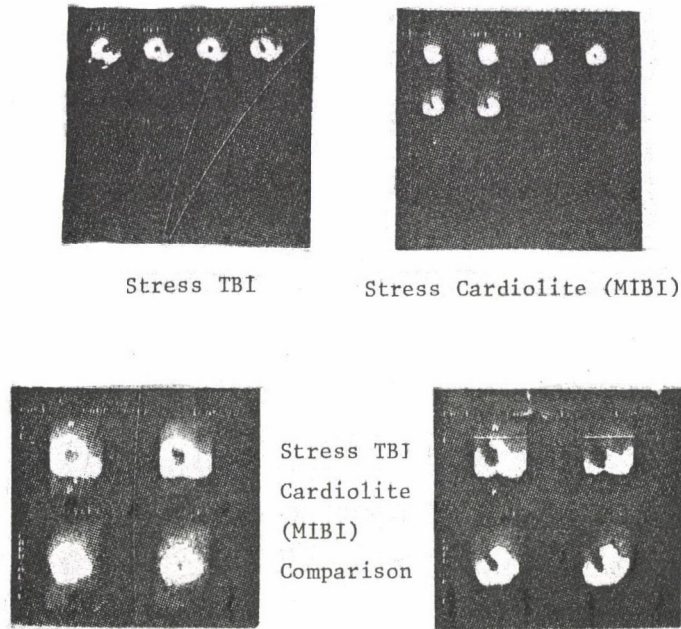
Наверху: Кинетика редистрибуции ^{99m}Tc TBI: 90 мин позже все еще показывает значительную мешающую активность в печени, которую можно понизить именно с помощью однофотонного эмиссионного ЭВМ-томографа

Внизу: Распределение ^{99m}Tc Cardiolute в органах, и кривые активности в функции от времени, показывающие более благоприятное элиминирование ^{99m}Tc MIBI из легких и печени

Top: Redistribution kinetics of ^{99m}Tc TBI: 90 min later still shows considerable disturbing liver activity, which can be decreased with the help of SPECT

Bottom: ^{99m}Tc Cardiolute biodistribution and activity vs. time curves demonstrating the more favourable elimination of ^{99m}Tc MIBI from the lungs and the liver

minőségű TBI polaroidok és az alig használható százalékos kiértékelés ismeretében a nyugalmi vizsgálatokat, kerülve az ezzel járó sugárterhelést, különösen a korábban már többször vizsgált betegeknél. A nyári vizsgálati kapacitás miatt az eddigi 16 vizsgálat résztapasztalatait foglaljuk össze, a kérdőíveken a kívántakon túl egyéb keringési adatokat is feltüntetve (RKG, RNV, echo, Holter stb.). 5 Ny CL vizsgálatot korábbi sorozatunkból vettük át, 11 mostani T ezeknek a T SPECT-je minden esetben megtörtént, míg a P és százalékos GK ér-



4. ábra

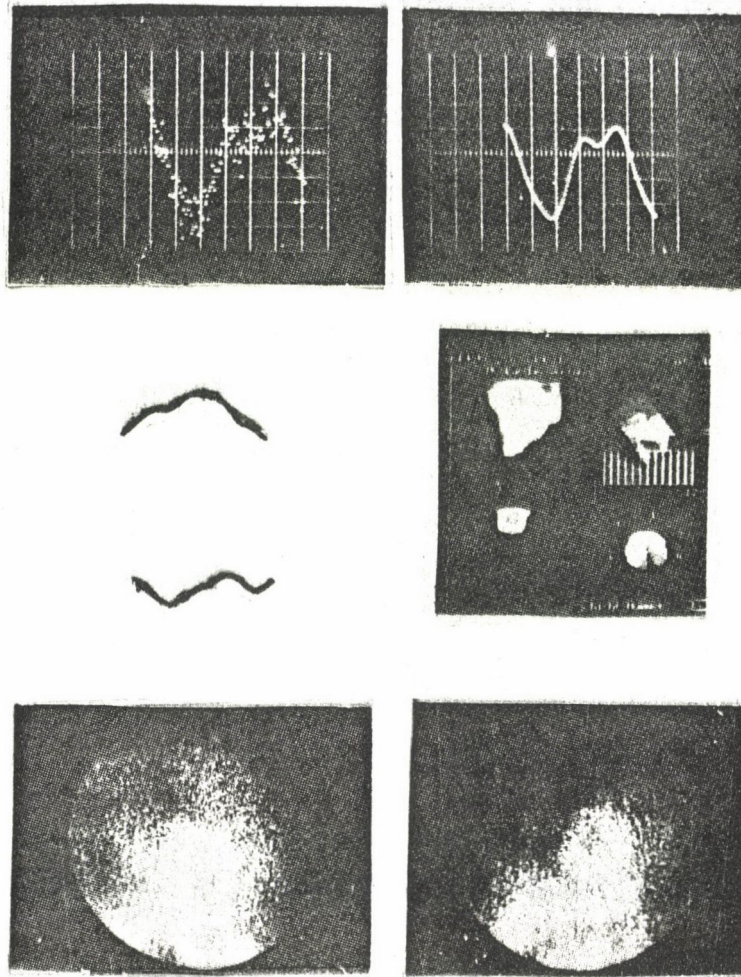
Összehasonlító terheléses ^{99m}Tc TBI és MBI-képek: alul a 6. szeleten láthatóan, hogy a TBI (SPECT-kiértékelésben) túlzottan kihangsúlyozza és kiterjeszti egyébként a Cardiolite-tal is kimutatható defektust

Сравнительные изображения, сделанные с TBI и MIBI: на сегменте №6 видно, что TBI (анализированный с помощью однофотонного эмиссионного ЭВМ-томографа) преувеличивает дефект, также обнаруживаемый с помощью Cardiolite

Comparative TBI and MIBI imaging: on segment no.6 it can be seen that TBI (evaluated by SPECT) overstresses and enlarges the defects detected by Cardiolite as well

tékeléssel 1 esetben voltak problémák. T TBI P 3 betegtől értékelhetetlen, T %-os TBI értékelés csupán 2 esetben volt megkísérelhető. Ny T P is csak 5 esetben volt használható, ebből 2 a korábbi sorozatból való. Mind a 16 betegről van T TBI SPECT-ünk, és a sugárvédelmi létszámredukció miatt 7-ről NY TBI SPECT-ünk 6 betegről van, ezek közül egyik a 45 éves effort AP-os, sikertelen PTCA-s betegünk, ^{201}Tl scannél összhangban AS és post.def.többletterhelés kapcsán. Vizsgálatainkban a hangsúlyt - már speciális adottságánál fogva is - a T CL-TBI összehasonlításra (9 értékelhető eset) és T és NY TBI összehasonlításra (7 értékelhető eset) helyeztük.

Egy inf. lokalizációju betegnél mind a CL, mind a TBI jól jelezte a T-ben fokozott, SPECT-tel a septumon is felismerhető deficittöbbletet. Egy ant.sept. és ant.lokalizációju betegnél a korábbi ^{201}Tl TBI SPECT-ek, EKG által jelzett lokalizációban és súlyossági foknak megfelelően, reverz redisztribúciót mutattak. Jó konkordancia volt T CL és TBI közt egy apicalis (non-Q) MI BP-betegnél csak a CL egyértelműbben jelzett, annak ellenére, hogy a beteg terheléses EKG-ja is szabályos maradt. Százalékos értékelésben a zónák egyeztek a SPECT-tel



5. ábra

Sportoló kontrolegyénről készült A-P polaroid képen már az egész szív-vetület egyformán aktív, a LAO 45° képen még felismerhető a miokardium alakzat
A jobboldali képen a histogram felett a balkamrai vérpool radiociklogram volt felvehető felül natívan és Fourier szerinti simítottan
A baloldali képen alig sejthető azon radiokardiogram, mely a miokardium mozgását ábrázolja és így fázisban el van tolva a balkamrai vér-pool radiociklogramhoz képest

На А-Р поляризационном снимке спортсмена-контроля уже полная проекция одинаково активна, на LAO 45° снимке форма миокарда еще различаема

Направо посередине Над гистограммой максимум активности обнаруживается в токе крови левого желудочка сердца. Это в соответствии с тем, что возможно было снять радиоциклограмму тока крови левого желудочка

Налево посередине: Радиоциклограмма показывающая движение миокарда едва видна

In A-P Polaroid picture of a sportsman control already the whole heart projection is equally active, in the LAO 45° picture the shape of the myocardium can still be recognized

Right middle: Above the histogram the activity maximum is in the blood-pool of the left ventricle. It is in agreement with the fact that it was possible to take the left ventricular blood-pool radiocyclogram

Left middle: The radiocardiogram showing the motion of the myocardium can hardly be seen.

(ant. és sept.), de post.bas. is kimutatható kisfoku perfuziódefektus. Egy ant. (non-Q) MI-t elszenvedett betegnél a korábbi ^{201}Tl -vizsgálattal lényegében megegyező lokalizációban - ugyancsak szabályos T és NY EKG mellett - sept. post. és ant. defektust detektáltunk, enyhe reverz redisztribúcióval.

A kipróbálási jegyzőkönyv 1. lapján - a rendelkezésre álló részadatok birtokában - teljesítőképességi szinopszist kíséreltünk meg az egyes esetekre.

BI-nél CL-ről csak NY százalékos értékelés van, melynél S, 1. ap és PB lokal. szerepel; ezt a T SPECT közelítette meg jobban, a korábbi ^{201}Tl -mal összhangban.

BI T iszkémiás betegnél TBI P és százalékos értékelés és T CL közt tehető összehasonlítás, a post.deficit kifejezettebb SPECT kiemelésével, CSJ-nél a P és százalékos értékelés, valamint a SPECT egyaránt jól jelezte a T-re fokozódó hipoperfuziót, azonos regionális eloszlásban.

FM, egyik terheléskor iszkémizálódó betegnél a T CL százalékos kiértékelésébe ant. defektus is belekerült (az EKG V_{1-2} QS-nek megfelelő sept. kiesés) a T CL, TBI SPECT-vizsgálattal egyaránt jól detektálható inf. és post. hipoperfuzió mellett (EKG-n post. hegjelek is vannak).

HJ-nél 3 érbetegség miatt sikeres BP műtét történt, MI AS lokalizációju volt, ezt az EKG V_{1-4} QS-sel összhangban egyaránt mutatta a planar % és a CL és TBI SPECT.

KM-nél teljes volt az egyezés a korábbi NY CL planar százalék és a kétféle TBI SPECT között, továbbá a korábbi ^{201}Tl scannel.

KA ugyancsak korábban NY CL-tal vizsgált betegünknel a Tl scannel összhangban az inf. heglokalizáció a várakozásnak megfelelően minden elvégzett vizsgálatnál jelentkezett, nyugalmi Cardiolite planar százalékos értékelés emellett még NY ant. ap. hipoperfuziót is jelzett.

KI BP-operált polaroid képei alig voltak használhatóak, százalékos kiértékelés sept., inf. ap. és post.bas.defektust mutatott, a T SPECT-ek jól hozták az ant. sept. hipoperfuziót, mégpedig a T-nek megfelelően.

MJ AS MI betegnél lényegében teljes egyezés mutatkozott az egész vizsgálati programban.

NM sikertelenül műtött PTCA-s recidiv MI betegnél (ant.sept., post.) csaknem teljes egyezés mutatkozott a korábbi NY CL planar százalék, mostani planar GK százalék P, valamint a SPECT TBI-k közt T-ben és NY-ban egyaránt, de a terheléses ant. hipoperfuzió SPECT-tel való erőteljesebb hangsúlyozottságával. Ez a beteg panaszkodott effort AP-ról.

NZ esetében a T CL SPECT egyértelműen jobb volt a T TBI SPECT-nél, mivel az ant. hipoperfuziót is jól jelezte az AS MI-t elszenvedett betegnél.

NI, terhelésre iszkémiás ST-eltávolozással reagáló inf. MI betegnél a T vizsgálatok planartechnikával (P és %), valamint SPECT-tel kongruensek voltak.

PP ant. MI betegnél összehasonlításhoz csak SPECT T és NY vizsgálatok maradtak, ezek az EKG V₁₋₅ QS-nek megfelelően ant.sept., later.(és post.) lokalizációval.

SS-nél a ²⁰¹Tl scannel talált hipoperfúzió T és NY planar és SPECT TBI képeken visszaigazolható volt, nála a T CL SPECT nem sikerült.

SB-nál lényegében egyeztek a T planar és SPECT TBI képek, NY nem volt SS-nál, akinél szabályos T EKG mellett jelzett a TBI SPECT reverz redisztribúciót, ant.sept. és inf.apic. ²⁰¹Tl lelet mellett, és a NY CL P is ennek megfelelően alakult, klinikailag nehezen értelmezhetően.

Mindenképp a sikertelen esetek közé tartozik KI sportoló kontrolunk esete sikertelen planar és balkamrai vérpoolnak megfelelő SPECT eredménnyel. Utóbbit nukleár sztetoszkóppal is felvett vérpool jellegű radiociklogram szintén bizonyította. Bár igaz, hogy relative kisebb aktivitást injiciáltunk, ami más korai képeknél is nehezítette a kiértékelést, de ott a radiofarmakon mégis a szivizomzatban dusult. Zavaró gyógyszerelésről nem tudunk, hogy vegyszertechnikai foglalkozása keretében kerülhetett-e olyan anyaggal kapcsolatba, ami a ^{99m}Tc TBI kötésre in vivo hatással lehet, nem tudjuk.

VÉLEMÉNY

A 16 részleges, de sokoldalú vizsgálat kapcsán csak a legeggyértelműbb tapasztalatokat levonva állithatjuk, hogy a TBI készlet veszélytelen, jelzése egyszerűbb mint a CL-MIBI-é, SPECT-tel főleg az ergometriás terheléskori hipoperfúziók és a korábbi hegek, inf.post. lokalizációban is kimutathatók, és Medax N programmal kvantifikálhatók, nyugalmi TBI SPECT vizsgálatnál vigyázni kell a post. régió erőteljesebb defektábrázolására.

A 2-metoxi-butyl-izonitril előnyösebb volta nem vitatható, de az a körülmény, hogy a TBI hazai forrásból bármikor rendelkezésre állhat (pl. instabil AP), főleg SPECT-re, forgalmazását célszerűnek tartjuk, és javasoljuk.

*

A TBI-készlet veszélytelen, jelzése egyszerűbb, mint a CL-MIBI-é, de csak SPECT-tel használható, mivel a májban erősen halmozódik, és kisebb a clearance-e, mint a MIBI-nek. A SPECT azonban, Ketrionic-Siemens Medax N programmal helyesbíteni tudja a máj és a hátsó régió átfedését, a posterior defektus azonban erőteljesebben ábrázolódik, mint talliumnál.

A MIBI ugyan előnyösebb, de mivel a TBI magyar gyártmány, bármikor beszerezhető, és SPECT-tel azonnali detektálásra használható (pl. latens iszkémiánál).

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОСМОТРЫ, ПРОВЕДЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ ОДНОФОТОННОГО ЭМИССИОННОГО ЭВМ-ТОМОГРАФА И ПЛАНАРНОЙ ГАММА-КАМЕРЫ, С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ 2-МЕТОКСИ-ИЗОБУТИЛ-ИЗОНИТРИЛ И ТРЕЕИЧНЫЙ-БУТИЛ-ИЗОНИТРИЛ, МЕЧЕННЫХ ^{99m}Tc , НА ПОСТИНАФРКТНЫХ ПОЦЕНТАХ

Хорват, М., Псота, А., Карман, М., Садаи, М., Немет, Л., Кэрньей, Й.

Набор ТБИ невредный, его мечение легкое, но рекомендуется только с однофотонным эмиссионным ЭВМ-томографом из-за высокого принятия радиофармакона и более медленной чем при МИБИ секреции в печени. Программа Кетроник-Сименс Медакс N уравнивает перекрытие печени внутри низнего региона, но дефект появляется в заднем регионе мискарда выразительнее чем при применении таллия.

Венгерский продукт ТБИ можно легко подучить, и использовать с томографом для обнаружении напр скрытой ишемии.

COMPARATIVE SPECT AND PLANAR GAMMA-CAMERA EXAMINATIONS WITH 2-METHOXY-ISOBUTYL-ISONITRILE AND TERTIER-BUTYL-ISONITRILE RADIOPHARMACEUTICALS LABELLED WITH ^{99m}Tc ON POSTINFARCTION PATIENTS

Horváth, M., Pszota, Á., Kármán, M., Szalai, M., Németh, L., Környei, J.

The TBI kit is harmless, the labeling easy, but the TBI can be used only with SPECT because of its high hepatic uptake and slower clearance than that of MIBI. Nevertheless the SPECT with dedicated Ketronic-Siemens Medax N programme could correct the hepatic overlap within the inferior region, but the posterior defect appeared more pronounced than with Tl.

The TBI as a Hungarian product is easy to obtain, and in SPECT regime can be used for instant detection of e.g. silent ischaemia.

AZ ATOMERŐMŰ HATÓSÁGI KÖRNYEZETI SUGÁRVÉDELMI ELLENŐRZŐ RENDSZERÉNEK EREDMÉNYEIRŐL, 1989

Kanyár Béla

Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet, Budapest, Pf.: 101, 1775

(Érkezett 1991. január 2-án)

BEVEZETÉS

A hazai előírás, a legtöbb országéhoz hasonlóan, a nukleáris létesítmények környezetének ellenőrzésére az üzemeltető intézményt és a hatóságot egyaránt kötelezi¹. A paksi atomerőmű esetén a hatósági szervek egyrészt folyamatosan ellenőrzik az üzemeltető sugárvédelmi vizsgálatait és mérési adatait, másrészt az üzemeltetőtől független méréseket is végeznek az erőmű környezetében. A hatósági előírások elkészítése és az ellenőrzés a Népjóléti Minisztérium (NM), a Földművelésügyi Minisztérium (FM) és a Környezetvédelmi és Településfejlesztési Minisztérium (KTM), illetve szakintézményeinek feladata. Az ellenőrzés hatékonyságának növelése végett a főhatóságok az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) koordinálása mellett alakították ki a vizsgálati programban egyeztetett Hatósági Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszert (HAKSER). Az egy főhatósághoz tartozó intézmények, laboratóriumok munkáját az un. bázisintézetek irányítják.

A HAKSER kialakítása során az érdekeltek részletesen is kifejtették a fontosabb feladatokat, célokat^{2,3}. A HAKSER un. normál üzemi ellenőrzésre vonatkozik, balesetre külön program rendelkezik, az előzőeknél több intézmény (Országos Meteorológiai Szolgálat, Központi Fizikai Kutatóintézet stb.) bevonásával.

Az ellenőrzésben érdekelt hatósági szervek, laboratóriumok együttműködése egymással és az atomerőmű üzemi környezeti ellenőrző rendszerével számos esetben közös mintavételi programban és egymás közvetlen, gyors tájékoztatásában is megnyilvánul.

A hatósági laboratóriumok mérési eredményeit, valamint a Paksi Atomerőmű Vállalat (PAV) néhány fontos üzemi, meteorológiai és környezeti kibocsátási adatát az Országos "Frédéric Joliot Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet (OSSKI) rendszeresen számítógépen tárolja, majd feldolgozza. A havi, negyedéves, féléves és éves gyakorisággal végzett feldolgozás eredményét a hatóságok bázisintézetei - az OSSKI, az Állategészségügyi és Élelmiszerellenőrző Szolgálat (ÁÉSZ) Élelmiszervizsgáló Intézetének Központi Laboratóriuma, a

Környezetgazdálkodási Intézet (KGI) - továbbá a méréseket végző és adatokat szolgáltató un. hatósági radiológiai laboratóriumok is megkapják.

A hatósági intézmények 1984 óta közös jelentésben⁴ számolnak be éves eredményeikről, megállapításaikról. Az 1989. évi jelentés szerzője Gáspár László és Thurnay Béla (KGI), Germán Endre (PAV), Gucci Judit, Kanyár Béla, Kerekes Andor és Nikl István (OSSKI), Tóth Vilmosné és Kiss Béla (AESZ), a szerkesztést Kanyár Béla végezte.

A jelentés anyagát a kiadás előtt véleményezésre megkapják az érdekelt főhatóságok (FM, KTM és NM, ill. Állami Közegészség- és Járványügyi Főfelügyelőség), a bázisintézetek, a fontosabb hatósági radiológiai laboratóriumok, a PAV, a Központi Fizikai Kutatóintézet és az OAH szakemberei is. Ezek és a szerzők bevonásával rendezett vita alapján történik az anyag végső kialakítása.

Az 50-80 oldalas jelentésekből a fontosabb eredmények összefoglalója az elmúlt évben készült el először, s elsősorban a sugárvédelemben kevésbé jártas szakembereknek szól. A hatósági jelentések felhasználják az üzem saját éves jelentéseit is⁵.

Az 1984-től megjelenő éves jelentések eredménytáblázatai általában csupán a tárgyévekre vonatkoznak, nem tartalmazzak több évet átfogó elemzést, a trendek vizsgálatát. Ez utóbbiakról is készülnek nagyobb és összefoglaló munkák⁷.

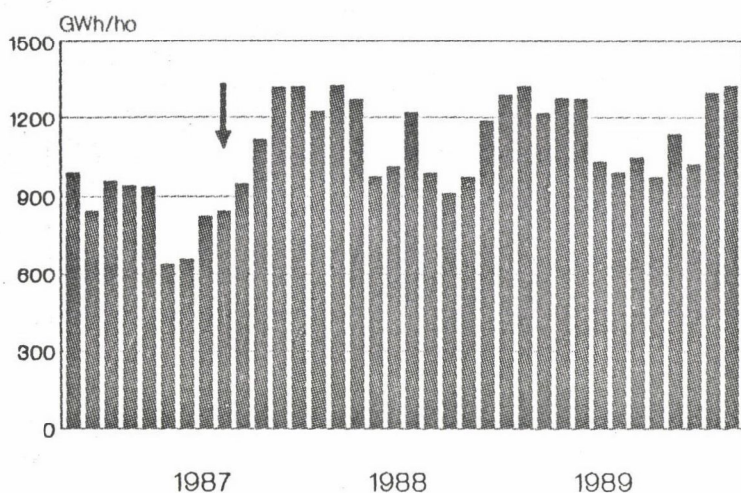
Az 1989. évi eredmények értékelésénél bár csak kis mértékben, de kell számolni a csernobili reaktorbaleset hazai környezetszennyező hatásával, ezért, elsősorban a talaj és a vizek szedimentumában, a radioaktivitás-koncentráció nagyobb az 1986 előtt mért alapszintnél.

ÁLTALÁNOS JELLEMZŐK

Az atomerőmű 1982. decemberben kezdett elektromos energiát termelni. A termelés havi alakulása 1987-től az 1. ábrán látható. A minimumok a blokkok karbantartási idejére esnek. A jelenlegi 4 blokk közül a 2. 1984-ben, a 3. 1986, a 4. pedig 1987 őszén állt üzembe. 1989-ben összesen 13892 GWh volt a termelt elektromos energia. Ez a hazai termelés 47%-a⁵.

A környezeti ellenőrzéssel kapcsolatos és a számítógépben tárolt hatósági radioaktivitás-mérési adatok, pontosabban a meghatározások száma évente 4-5000, ennél kb. ötször nagyobb az üzemi környezeti mérések száma.

Normál üzem esetén az atomerőmű radioaktív anyagot csak ellenőrzötten bocsáthat ki, a kéményeken (légköri) és a vízi csatornákon (folyékony kibocsátás) keresztül.



1. ábra

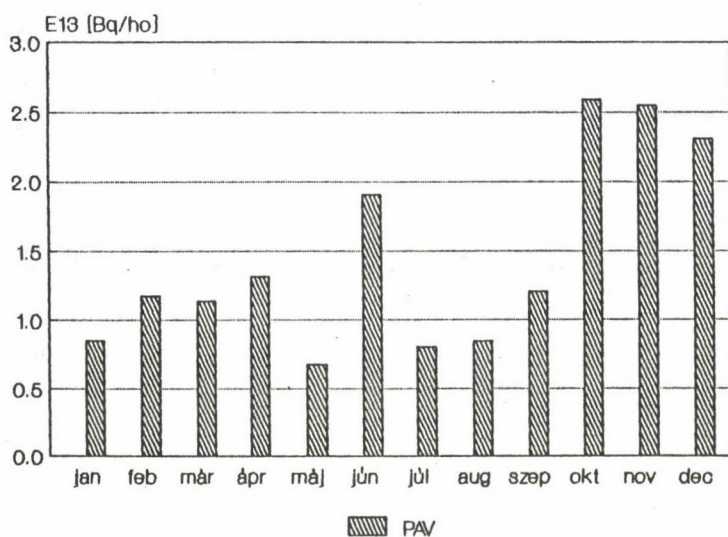
A PAV villamos energiatermelése havonta, 1987-től

Производство электрической энергии АЭС Паки (Гватт.час/месяц)

Total electrical energy generated (GWh/month)

LÉGKÖRI KIBOCSÁTÁS

Az atomerőműből a légkörbe kerülő radioaktivitás nagy részét radioaktív nemesgázizotópok (^{41}Ar , ^{133}Xe stb.) adják. Az összes β -típusú vizsgálatokkal mérhető nemesgáz-kibocsátás havi átlagos értéke, Bq/hó egységben látható a 2. ábrán, az üzemi mérések alapján. A nem folyamatosan, hanem csak pontminták alapján kapott hatósági értékek, az 5-10-szeres mérési hibalehetőségek figyelembevételével, hasonló eredményt adnak. (A kibocsátott kis mennyiség miatt egyáltalán nem meglepő, ha a hiba a mért érték többszöröse. Viszont a maximális értékek is általában néhány nagyságrenddel kisebbek, mint az előírt határértékek.)



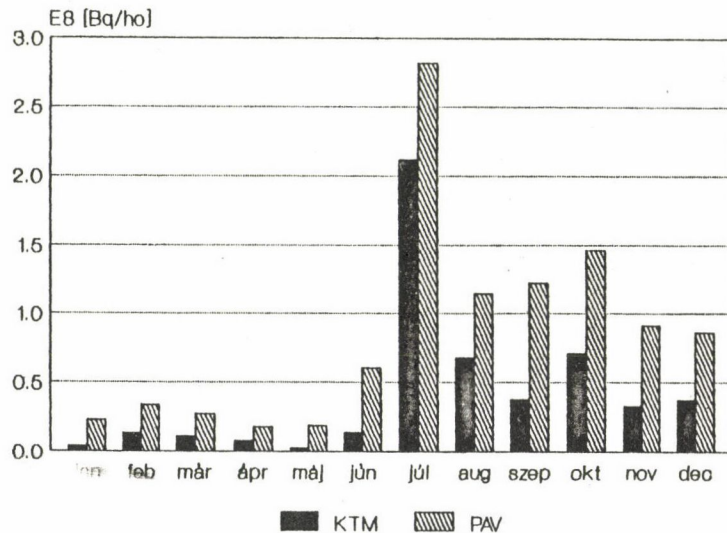
2. ábra

Összes β -nemesgázkibocsátás a szellőzőkéményen

Полная β -активности, выпущенная в инертных газах (Бк/месяц)

Gross β -activity in noble gases discharged in airborne effluents (Bq/month)

A nemesgázokon kívül lényeges lehet még a levegő aeroszolrészecskéihez tapadó nuklidok (pl. ^{110m}Ag , ^{131}I) aktivitása. Az ezekből származó és az összes β -részecskék alapján mért aktivitás-kibocsátás havi értéke a 3. ábrán látható. A hatósági (KTM) és az üzemi (PAV) laboratórium közötti eltérés legfeljebb 3-szoros, ami a mintavételi, mérési és mennyiségi feltételek mellett nem bír jelentőséggel.



3. ábra

Az aeroszolrészecskékkel havonta kibocsátott összes β -aktivitás

Общая β -активность, выброшенная в форме аэрозолей (Бк/месяц)

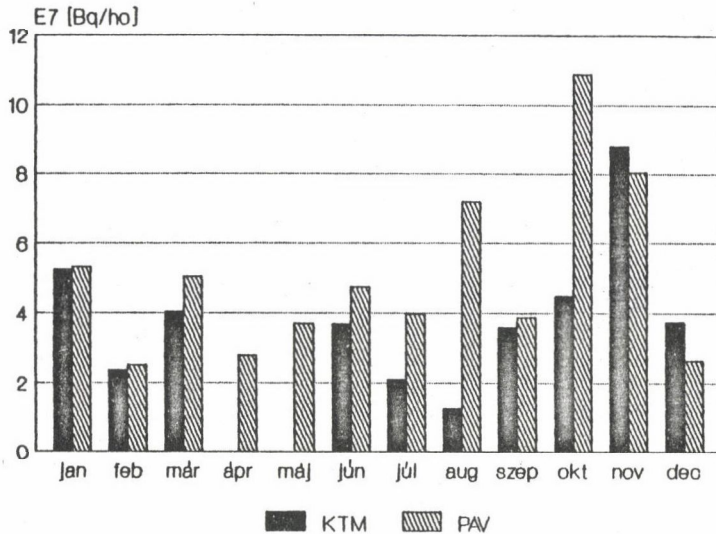
Gross β -activity discharged in the airborne effluents of aerosols (Bq/month)

A hatósági pontminták nuklidspecifikus eredményeit korrigálva a folyamatosan mért összes β -értékekkel a légköri nemesgázkibocsátás 1989-ben, TBq egységben a következő volt: ^{41}Ar : 130; ^{88}Kr : 1,2; ^{133}Xe : 33; ^{135}Xe : 5,5. A kibocsátott ^{14}C (üzemi mérések szerint 680 MBq) nagy része, több mint 90%-a, szerves formában kerül a levegőbe, a többi széndioxidként. A légköri (aeroszol) ^{110m}Ag kibocsátás az üzem szerint 2,1 GBq volt. Ugyanerre a hatóság nem folyamatos méréssel 1,3 GBq-t kapott. A hatóság szerint a ^{131}I és $^{90}\text{Sr}+^{89}\text{Sr}$ kibocsátás a kimutatási határ (0,6 GBq, illetve 130 kBq) alatt volt. Megjegyezzük, hogy a jelenlegi hatósági szabályozás szerint⁸ az egy óra eső megengedett légköri kibocsátás az összes nemesgázra $5,7 \cdot 10^{14}$ Bq, Sr-izotópokra $1,7 \cdot 10^6$, ^{131}I -ra (illetve ezzel egyenértékű radiojódok összegére) pedig $3,3 \cdot 10^{10}$ Bq, 1000 MWe teljesítményű atomerőművi egységre vonatkoztatva. 1989-ben az erőmű átlagos teljesítménye 1600 MWe volt.

FOLYÉKONY KIBOCSÁTÁS

Az atomerőmű a radioaktív izotópokkal szennyezett folyadékait tartályokban gyűjti, és a tartályok tartalmát, az ellenőrzés eredményétől függően, a hatóság engedélye alapján engedi az elvezető csatornába, azaz végül is a

szennyeződés a Dunába kerül. A tartályokból vett minták trícium nélküli összes β -sugárzásának mérése alapján az üzemi kibocsátás alakulását a 4. ábra mutatja. Ennek hatása a Dunára (lásd 5. ábra) már nem mutatható ki.

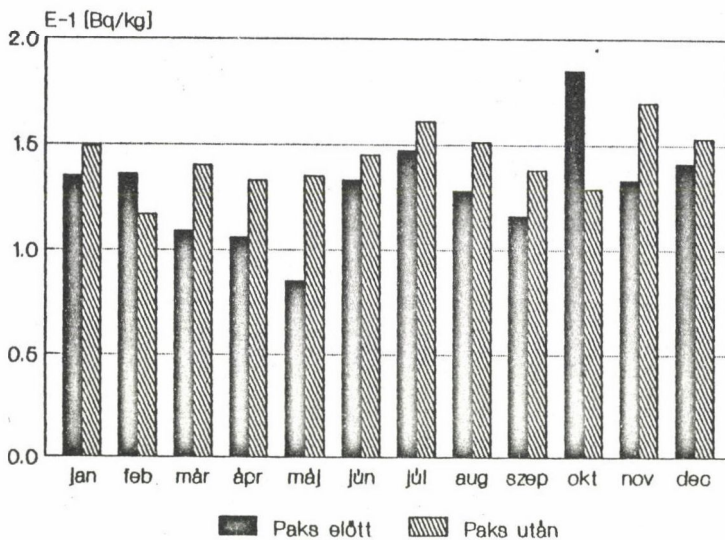


4. ábra

A havi összes β -kibocsátás a víz-elvezető csatornába

Выброс общей β -активности в каналах сточной воды (Бк/месяц)

Gross β -activity discharged in the effluent water (Bq/month)



5. ábra

A dunavíz összes β -koncentrációja az erőmű előtt (folytonos görbe), és után (szaggatott görbe) havonta

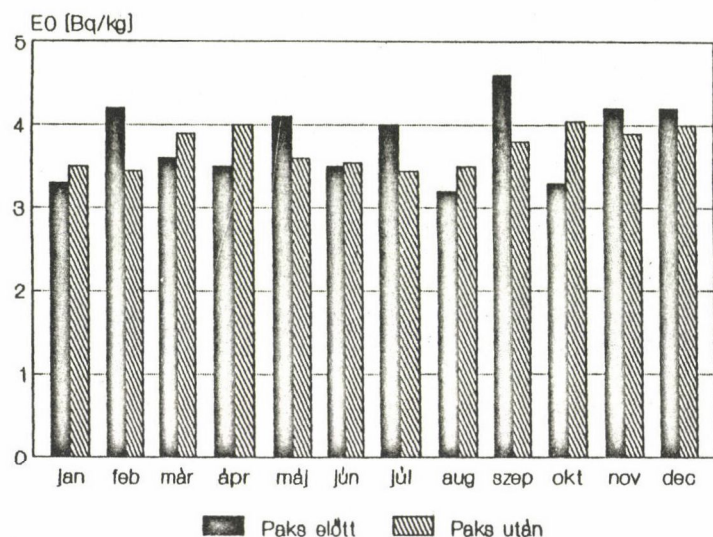
Общая β -концентрация воды Дуная перед (непрерывная кривая) и за АЭС (прерывная кривая) по месяцам

Gross β -concentration in Danube water, measured up-stream (full) and down-stream (dashed) the plant monthly

Az un. nyomottvizes erőművek, így Paks esetén is a csatornában még jól mérhető a lágú β -sugárzást adó trícium (^3H). A csatornákból a Dunába kerülő mennyiség azonban kicsi ahhoz, hogy mérhetően megnövelje a Duna tríciumszennyezettségét (6. ábra).

Az üzem nuklidspecifikus mérései alapján folyékony kibocsátások az 1. táblázatban találhatóak. A KTM-laboratórium (ADV KÖVIZIG, Baja) a szűrőpróba

jellegű ellenőrzéssel hasonló eredményt kapott. A vizügyi szervek szabályozása szerint⁶ a megengedett éves kibocsátás a négy blokkra a következő: összes β -sugárzás: 15 GBq, amelyből ^{90}Sr : 150 MBq; trícium : 30 TBq.



6. ábra

A dunaviz tríciumkoncentrációja az erőmi felett (folytonos görbe) és alatt (szaggatott görbe) havonként átlagolva

Концентрация трития в Дунае перед (непрерывная кривая) и за АЭС (прерывная кривая). Усредненные значения

Tritium concentration in Danube water, measured up-stream (full) and down-stream (dashed) the Plant averaged monthly

1. táblázat

A hulladékvizvel 1989-ben kibocsátott izotópok aktivitása /MBq/

Активность, выпущенная в сточной воде в 1989 г. /МБк/

The radionuclide activities discharged in the effluent water, in 1989 /MBq/

^{51}Cr : 388	^{95}Nb : 5	^{54}Mn : 132
^{110}mAg : 750	^{58}Co : 118	^{134}Cs : 22
^{60}Co : 238	^{137}Cs : 34	^{98}Zr : 11
^{144}Ce : 5		

RADIOAKTIV HULLADÉK

Az atomerőműnél a viszonylag kis térfogatú, nagy aktivitású hulladékot helyben tárolják. A kiégett fűtőelemek ötéves üzemi pihentetés után visszakerülnek a Szovjetunióba: 1989-ben 118 kazettát vettek át. A közepes és kis aktivitású hulladékot itthon kezelik és helyezik el.

A szilárd és folyékony halmazállapotú hulladék minősítése - a hatósági előírások szerint - egyrészt a göngyöleg felületétől 10 cm távolságban mérhető dózisteljesítmény, másrészt a hulladékból vett minta összes β -aktivitás-koncentrációja alapján történik az MSZ-14344/1,2-1989 szerint.

A radioaktív hulladék minősítését az üzem végzi, szűrőpróbaszerű hatósági (Tolna-megyei KÖJÁL) ellenőrzés mellett.

A radioaktív nem minősülő hulladék (amelynél a felületi dózisteljesítmény kisebb, mint 1 $\mu\text{Gy/h}$) rendszerint a kommunális szeméttlerakóba kerül, ezért ezen gyűjtőhelyeket is ellenőrizni kell.

A keletkezett hulladék mennyisége, az üzemi vizsgálatok és osztályozások alapján, a 2. táblázatban látható. Az 1850 l folyékony hulladék (iszap) kovárdával sűrítve 20, a zsákos hulladék pedig a tömörítés után 414 hordóba került.

A tömörítéssel az 1989-ben keletkezett radioaktív hulladék térfogata 250 m³.

A fenti mennyiségből a püspökszilágyi hulladéktároló átvett 93 szűrőt és 235 hordót. Az év végén az erőmű ellenőrzött zónájában 74 aeroszolszűrőt és 195 hordó szilárd hulladékot tároltak.

2. táblázat

A radioaktív hulladék osztályozása és mennyisége az üzemi mérések szerint

Типы и количества радиоактивных отходов

Types and quantities of radioactive wastes

	Felületi dózisteljesítmény (μGy/h)			
	< 1	1-3	3-300	300-10 000
Zsák (db)	11 282	3	4453	383
Aeroszolszűrő (db)			117	
Folyékony hulladék (ℓ)			1850	
Nem csomagolható (m ³)	406,5			

A folyamatosan keletkező, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék végső elhelyezését mindeddig nem sikerült megoldani, jelenleg az atomerőműben átmeneti tárolással hidalják át ezen problémát.

KÖRNYEZETI MINTÁK RADIOAKTIVITÁSA

Normál viszonyok mellett az atomerőmű radioaktív szennyező anyagai a

környezeti közegekben annyira felhigulnak, hogy hatásuk a természetes radioaktív anyagok mellett nem mutatható ki, és dóziszjárulékuk is elhanyagolható (lásd a következő fejezetet). Ennek ellenére a többéves üzemelés során előfordulhat olyan hely, közeg, ahol egy-egy kibocsátott nuklid erősen koncentrálódik. Ezért a környezeti elemek (növény, talaj, víz, élelmiszer stb.) rendszeres ellenőrzése nem hagyható el. Eddig az atomerőmű üzemi területén kívül legfeljebb csak nyomokban, időlegesen és igen érzékeny módszerekkel sikerült atomerőművi eredetű radionuklidot kimutatni⁹. A kis értékek miatt azonban relatív hibájuk nagy volt.

A hatósági laboratórium (Tolna-megyei KÖJÁL) rendszeresen ellenőrzi a levegő szennyezettségét Kalocsán, Csámpán, Szekszárdon és Dunaföldváron. Az aeroszol összes β-mérések szerint az aktivitás-koncentráció a 0,01-10 mBq/m³ tartományba esik, a kihullás pedig 0,5-30 Bq/m²/hó; ezen értékek a háttérnek felelnek meg.

A talajban és vízi üledékben mérhető, mesterséges eredetű ¹³⁷Cs egyrészt még a légköri atomrobbantások, másrészt a csernobili baleset következménye.

Az 5. és 6. ábrán a KTM-laboratóriumok mérései alapján látható a dunavíz-minták összes β- és a trícium-aktivitáskoncentrációja. Az erőmű csatornái előtt és után mért értékek átlaga közötti eltérés a mérési hiba mellett elhanyagolható. Az értékelésnél figyelembe kell venni, hogy az erőmű előtt Dunaföldvárnál (30 km), utána pedig Gerjennél (6 km), Kalocsánál (10 km) és Bajánál (40) folyik rendszeres mintavétel. Egy havi átlagoláshoz felhasznált adatok száma 10-20 között van.

Elsősorban az FM és részben a NJM laboratóriumok mérései szerint a tejminták ^{137}Cs aktivitás-koncentrációja a kimutatási hatás (0,5-2 Bq/l) alatt van, miközben a természetes ^{40}K aktivitása 40-50 Bq/l. A husmintákban (juh esetén) talált 1-20 Bq/kg ^{137}Cs -aktivitás még a csernobili baleset következménye. Az ivóvizben sem található erőművi eredetű szennyezettség (összes β -aktivitás-koncentráció kb. 0,13 Bq/l, mely elsősorban a természetes ^{40}K következménye).

KÖRNYEZETI DÓZISSZINTEK

Az erőmű 30 km sugaru környezetében végzett termolumineszcens dozimetriai mérések¹⁰ átlagértékei (kb. 85 nGy/h), a mérési bizonytalanság figyelembevételével, azonosnak vehetők az elmúlt évekkel (1986-ban a csernobili baleset hatása miatt mutatkoztak nagyobb értékek). Az eredmények szerint a környezeti dózisszint 28-30%-os helyi, havi stb. ingadozása mellett az erőmű esetleges dózisteljesítményt növelő hatása nem mutatható ki, ezért a mérhető kibocsátásokból kiindulva, a légköri és vízi tovaterjedés, a meteorológiai viszonyok stb. alapján számítással csupán becsülni lehet a környezetben élő lakosság sugárterhelését^{4, 11}, illetve az erőmű hatását. A számításához felhasználható kiinduló adatok (légköri kihullás, pillanatnyi szélirány, lakossági fogyasztási szokások stb.) bizonytalanságára jellemző, hogy a különféle mód-

3. táblázat

Becsült egyéni effektív dózisegyenérték, az erőműtől 3-5 km-re élőkénél, a hatósági dóziskorlátokkal, besugárzási utvonalak szerint ($\mu\text{Sv}/\text{év}$)

Счислимые эффективные эквиваленты доза по главным путям облучения на 3-5 км от АЭС и предел (мкСв/г)

Estimated effective dose equivalents for the main exposure pathways at a distance of 3-5 km, and the limits ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)

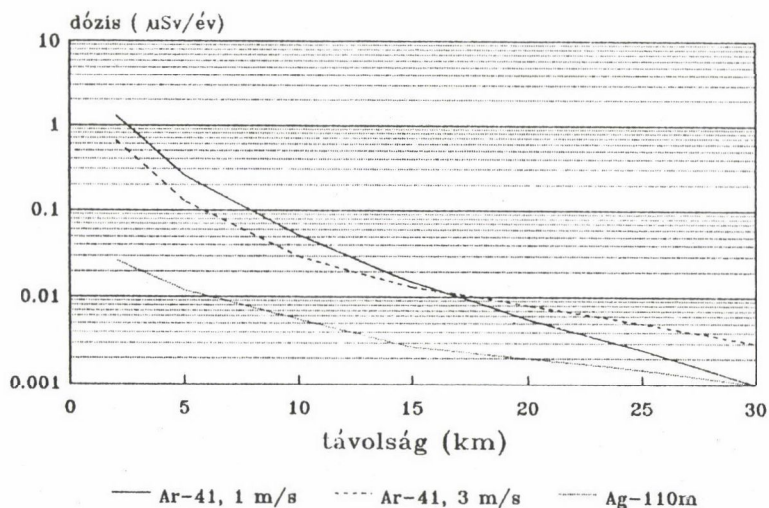
Besugárzási utvonal	becsült érték	korlát
	$\mu\text{Sv}/$	
Légköri kibocsátás külső sugárterhelés: nemesgáz-izotópok egyéb izotópok belső sugárterhelés: inhaláció élelem, ivóviz	0,28 0,012 0,0005 0,015	
Összes légköri	0,30	266
Folyékony kibocsátás külső sugárterhelés belső sugárterhelés trícium egyéb izotóp	0,0005 0,0022 0,0003	
Összes folyékony	0,0029	134
Mindösszesen	0,31	400

szerrel becsült eredmények közötti 10-szeres eltérés is elfogadható, amennyiben a várható érték egy-két nagyságrendben biztosan kisebb lesz a megengedettnél.

A légköri kibocsátások közül meghatározó a nemesgázokból, ezek közül elsősorban a ^{41}Ar nuklidból eredő γ -sugárzás a levegőben. Az erőműtől 3-5 km távolságban a besugárzási utvonalak szerint becsült egyéni effektív dózisértékek a 3. táblázatban láthatók. A vízi környezet eredményei a Duna mentén élőkre vonatkoznak.

A levegőből kiülepedett ^{110m}Ag talajfelszíni sugárzásából eredő külső γ -dózis (az egyéni effektív dózisegyenérték), az erőműtől mért távolság függ-

vényében a 7. ábrán látható, a ^{41}Ar eredményeivel együtt. A légköri becslések átlagos meteorológiai viszonyokra vonatkoznak, az épületek árnyékoló hatását levegőből eredő γ -sugárzásnál 0,3-as, a talajfelszínből eredőnél pedig 0,25-ös szorzótényezővel vettük figyelembe. A természetes radioaktivitásból származó átlagos háttérszint (kb. $2,5 \text{ mSv/év}^{12}$) közel az erőműhöz 10 000-szer nagyobb a kibocsátásból számolt sugárterhelésnél. A belső dózis (lekötött effektív dózisegyenérték) számításánál is feltételeztük, hogy a lakosság csak az ott termelt élelmiszert (5 km távolságban legelő tehén tejét stb.) fogyasztja, és az ivóvíz csak a szennyezett Dunából származik (erősen konzervatív feltételezések). A kapott dózisértékek átlagos, felnőtt lakosra vonatkoznak. Gyerekeknél, kritikus csoportnál (pl. átlagosnál több tejet fogyasztóknál), a belső dózis esetleg 10-20-szor nagyobb lehet, viszont a meghatározó, a nemesgázokból eredő külső sugárzás hatása már kevésbé tér el a felnőttekétől.



7. ábra

Becsült egyéni effektív dózisegyenérték a fontosabb besugárzási utvonalak esetén, a távolság függvényében (v: szélesség)

Счислимые эквиваленты дозы в зависимости от расстояния от АЭС по главным путям облучения (v: скорость ветра)

Estimated effective dose equivalents as a function of distance from the nuclear power plant for the main pathways (v: wind-speed)

A 7/1988. (VII.20) számú SZEM rendelet szerint az erőművi dóziszjárulék 1 GW elektromos teljesítményre $250 \mu\text{Sv/év}$ lehet (ennek 2/3-a légköri, 1/3-a a folyékony kibocsátásból eredően). A 3. táblázat szerint ennél több mint ezerszer kisebb a számolt $0,31 \mu\text{Sv/év/1,8 GW}$ érték, azaz a $0,20 \mu\text{Sv/év/GW}$ dóziszjárulék.

IRODALOM

1. Az atomenergiáról szóló törvény és végrehajtási rendeletének hatályos szövege. Az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos hazai jogszabályok jegyzéke, OAB kiadvány, 1989. március
2. Sztanyik B.L., Az atomerőmű és a környezet ellenőrzésének szabályozása, kézirat, OAB-előterjesztésre, 1980
3. Kanyár B., Az atomerőmű hatósági környezeti sugárvédelmi ellenőrző rendszerének 1988-as eredményeiről. Izotóptechnika, Diagnosztika 32 (1989) 198

4. A Hatósági Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer /HAKSER/ éves jelentései, Budapest, 1984-89
5. A Paksi Atomerőmű Vállalat éves sugárvédelmi jelentései, Paks 1983-89
6. Középdunántuli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság 20 199/1989 sz. vízjogi üzemeltetési engedély
7. A Paksi Atomerőmű radioaktív anyag kibocsátásainak és környezetének üzemi és hatósági sugárvédelmi ellenőrzése (mérések és tapasztalatok), 1983-87 (szerk.: Germán E.), IRPA Magyar Nemzeti Bizottság (MTA), Budapest, 1989
8. Az 1/1980. (II.6.) OKTH sz. rendelet, M.Közl. 1980/8. 115
9. Az atomerőmű normálüzemi ^{110m}Ag kibocsátásból származó ökológiai hatások, OKKFT G-11 jelentés, OSSKI, Budapest, 1988
10. Nikl I., A környezeti sugárzás dózisteljesítményének mérése, OKKFT G-11/9. 41.02 sz. jelentés, Budapest, 1989
11. Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, Safety Series 57, IAEA, Vienna, 1982
12. Sztanyik B.L., Ionizáló sugárzás és egészség, M.Tud. 3 (1989) 196

*

Az üzem *légköri kibocsátása* több nagyságrenddel a hatósági korlát alatt van. Az ellenőrzés a szellőző kéményeken távozó radioaktív aeroszol-, jód és nemesgáz izotópokra, valamint a ^{89}Sr és ^{90}Sr aktivitásának összegére irányul. Az aeroszol alaku összes β -aktivitás kibocsátásának nagy részét az ^{110m}Ag nuklid adja, a nemesgáz-kibocsátást pedig elsősorban az ^{41}Ar . A ^{131}I , ^{89}Sr és ^{90}Sr nem volt kimutatható.

A *folyékony kibocsátás* ellenőrzése a vízvételi és a két vizelvezető csatornából, a gyűjtőtartályokból vett mintáknak, illetve a Duna vizének, iszapjának és élővilágának vizsgálatára terjed ki. A tríciumkibocsátás az üzem területéhez tartozó elvezető csatornában jelentősen megnőtt. A szennyvízkibocsátást a tartályokból leeresztett folyadék rendszeres mérésével ellenőrzik. A vízzel kibocsátott összes β -aktivitás a hatósági korlátot nem éri el, ugyanígy a trícium sem.

Sem a dunavízben, sem az iszapmintában nem lehetett az erőmű radioaktív szennyező hatását kimutatni, az erősen megnövekedett tríciumét sem.

A *környezeti minták* többségénél - a talaj- és a szedimentumminták kivételével - a csernobili eredetű szennyeződés már nem mutatható ki, a légkör radioaktivitása a csernobili baleset előtti háttérszintnek felel meg.

A felszíni vizek üledékmintáiban, illetve a talajban a csernobili eredetű ^{137}Cs koncentráció a korábbi szintet még közel egy nagyságrenddel meghaladja. A tej, hus, fű, takarmány stb. vizsgálata egyszer sem utalt erőművi eredetű radionuklid jelenlétére.

A természetes radioaktivitásból eredő *dózisteljesítmény* 20-30%-os ingadozása mellett az erőmű kibocsátásaiból eredő dózisznövelő hatás nem mutatható ki. Az erőmű közvetlen környezetében 1989-re becsült 0,31 μSv effektív dózisegyenérték kb. 10 000-szer kisebb, mint a természetes radioaktív sugárzásból eredő 2,5 $\text{mSv}/\text{év}$.

A hazai rendelet szerint az egyedi lakosra jutó erőművi dóziszjárulék 1000 MW elektromos teljesítménynél 250 $\mu\text{Sv}/\text{év}$ lehet. Ennél sokkal kisebb az 1000 MW elektromos teljesítményre számolt kb. 0,2 $\mu\text{Sv}/\text{év}$.

О РЕЗУЛЬТАТАХ В 1989. ГЪ ВЕДОМСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ АЭС ПАКШ Б. Каняр

Выброс в атмосферу - над пределом с некоторыми порядками величин. Подвергаются контролю радиоактивные аэрозоли, йод и инертные газы через труб. АЭС, а также сумма активностей ^{89}Sr и ^{90}Sr . Большинство β -активности в форме аэрозолей состоит из ^{110m}Ag , в то время как в форме инертных газов - главным образом из ^{41}Ar .

Выброс сточных вод контролируется изучением проб из канала водоприема, двух каналов водоотвода и сборника, а также воды, илы и живой природы Дуная. Выброс трития значительно повышался в отводном канале в территории АЭС. Выброс сточных вод контролируется регулярным приемом раствора из резервуаров. Выброшенная суммарная β -активность в воде, а также активность трития не достигает предела.

Радиоактивное загрязнение от АЭС или повышенная активность трития не было обнаружено ни в воде Дуная, ни в иле.

В большинстве проб из окружающей среды, с исключением проб почвы и осадки, загрязненность от Чернобыльской аварии уже нельзя обнаружить. Активность атмосферы соответствует обычному фону до аварии.

В пробах осадки в поверхностных водах и почвы концентрация ^{137}Cs чернобыльского происхождения еще повышает ранний уровень почти порядком величин. Измерение молака, мяса, травы, кормов и т.д. ни в одном случае не намекает на присутствие радионуклидов, происходящих из АЭС.

По сравнению с колебаниями мощности доза от естественной радиоактивности в 20-30% повышение доза от выбросов АЭС не обнаружимо. Эффективный эквивалент доза, счислимый в непосредственной окружности АЭС на 1989 г. - 0,31 мкСв, это является 1000 раз меньше чем значение 2,5 мкСв/год от естественного радиоактивного излучения.

Венгерский приказ допускает 250 мкСв/г/1000 Мватт электрический для жителей в окружности АЭС. Счислимое значение 0,1 мкСв/год/1000 Мватт - около 2000 раз меньше предельного значения.

ON THE SYSTEM OF RADIATION PROTECTION CONTROL IN THE ENVIRONMENT OF PAKS NUCLEAR POWER PLANT: THE 1989 RESULTS
Kanyár, B.

The release into the air is under the regulated limits by a few orders of magnitude. The gross β -activities released through aerosols are mainly due to ^{110m}Ag , and 80% of the noble gases to ^4Ar . Activities of iodine and strontium nuclides discharged by airborne effluents were lower than the detection limits. Hydrospheric radiocontrol includes the measurement of water samples from inflow and outflow channels, tanks as well as those of Danube water and sediment together with the biomass (alga and fish). The inflow and outflow water channels had nearly identical gross β -activity concentration. The tritium release led to considerably higher concentrations in both outflow channels. Radioactivity of the waste water is reliably controlled by the analysis of the water in tanks on each release occasion. The gross β -activity did not reach regulated limits. No radioactive pollution, including the considerably elevated tritium concentration of the waste water channel could be detected in the water and sediment of the Danube. The environmental pollution due to Chernobyl accident could not be detected any longer, except in soil and sediment. In the sediment of surface water and soil the ^{137}Cs concentration of Chernobyl origin still exceeded the basic level by an order of magnitude. The atmospheric radioactivity in 1989 corresponds to the background value prior to Chernobyl accident. Neither water nor air samples in the environment revealed radioactive pollution by the plant. Examination of the milk, meat, grass, forage plants and other samples gave presence only of natural radionuclides. Having a 20-30 per cent variation in dose rate of the natural radioactivity the enhancing effect of radioactive releases could not be observed. The estimated dose equivalent in the direct vicinity of the plant is approximately 0.31 $\mu\text{Sv}/\text{y}$, while the natural background is about 2500 $\mu\text{Sv}/\text{y}$. According to Hungarian regulations the dose limit for individuals living around a nuclear power plant is 250 $\mu\text{Sv}/\text{y}/1000$ MW electrical power, which is about 2000 times higher than the estimated 0.2 $\mu\text{Sv}/\text{y}/1000$ MW.

$^3\text{H}/^{14}\text{C}$ KETTŐS JELÖLÉS ALKALMAZÁSA SZTEROIDOK IDENTIFIKÁLÁSÁRA

Szécsi Mihály, Tóth István, Faredin Imre

Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Egyetem, Endokrinológiai Önálló Osztály és Kutató Laboratórium, Szeged, Korányi fasor 8, 6720

(Érkezett 1991. március 25-én)

BEVEZETÉS

A szteroidhormonokat transzformáló enzimek *in vitro* tanulmányozásával részletes és pontos adatokat nyerhetünk e biológiailag aktív vegyületek metabolizmusáról. Az *in vitro* inkubációkban képződő produktumok azonosítását nehezíti, hogy az egymásba átalakuló szteránvázas vegyületek mind szerkezetükben, mind kémiai viselkedésükben igen hasonlóak egymáshoz, ugyanakkor az enzimek reakciók termékének mennyisége oly csekély (általában kevesebb, mint 1 nmol), hogy azonosításuk modern szerkezetvizsgáló módszerekkel (tömegspektrometria, mágneses magrezonancia-spektroszkópia) sem végezhető el. Ha az enzimek reakció szubsztrátumként radioaktív izotóppal jelzett, nagy fajlagos aktivitású vegyületet használunk, akkor a radioaktivitás mérésével a képződött anyag mennyisége pontosan mérhető, az átalakulás jól követhető. Az így keletkezett, jelzett produktum arra is lehetőséget nyújt, hogy egy másik izotóppal jelzett, identikus változatának felhasználásával az ún. kettős jelöléses módszerrel - viszonylag egyszerűen azonosítsuk az enzimek reakció termékét, és ellenőrizzük annak tisztaságát^{1,2}.

A kettős jelöléses identifikálás menetét azon inkubációs kísérleteken mutatjuk be, amelyekben a patkányhere 3β -hidroxiszteroid-dehidrogenáz/ Δ^5-4 -izomeráz ($\Delta^5-3\beta$ -HSD) aktivitását a dehidroepiandroszteron \rightarrow 4-androsztén-3,17-dion és az 5-androsztén- $3\beta,17\beta$ -diol \rightarrow tesztoszteron átalakuláson, valamint az emberi prosztata 5α -reduktáz (5α -R) aktivitását a tesztoszteron \rightarrow 5α -dihidrotesztoszteron transzformáción keresztül vizsgáltuk. Az enzimek reakció követhetésére az inkubációt ^{14}C -jelzett szubsztrátummal végeztük, majd a képződő ^{14}C -produktumokat (4-androsztén-3,17-dion, tesztoszteron, 5α -dihidrotesztoszteron) pedig $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ kettősjelöléssel azonosítottuk.

ANYAGOK, MÓDSZEREK

RADIOAKTIV SZTEROIDOK, EGYÉB VEGYSZEREK

Az inkubációhoz szubsztrátumként alkalmazott, ^{14}C -jelzett szteroidok ([4- ^{14}C]tesztoszteron, S.A.=46,0 mCi/mmol; [4- ^{14}C]dehidroepiandroszteron, S.A.=

=51,0 mCi/mmol; [4-¹⁴C]5-androsztén-3 β ,17 β -diol, S.A. = 52,0 mCi/mmol), valamint a kettős jelölésű azonosításhoz használt triciált vegyületek ([1,2-³H]5 α -dihidrotesztoszteron, S.A.=60,0 Ci/mmol; [1,2-³H]4-androsztén-3,17-dion, S.A.=41,0 Ci/mmol; [1,2,6,7-³H]tesztoszteron, S.A.=86,5 Ci/mmol) az Amersham plc termékei voltak.

Az oszlopkromatográfiás töltetként felhasznált Nymco-florisil (60-100 mesh) a Floridin Co. USA gyártmánya, a vékonyréteg-kromatogramok 28x5 cm-es Al₂O₃-G (Merck) és 20x5 cm-es szilikagél (Merck) rétegeken készültek. A kromatografálendő mintához - a jódgőzzel és UV-fénnyel történő foltdetektálás érdekében - megfelelő mennyiségű (40-60 μ g), nem radioaktív szteroidot is adtunk, amelyek a Makor Chemicals Ltd.-től (Izrael) származtak.

Az egyéb vegyszerek, oldószerek a.l.t. minőségűek voltak.

AZ ELJÁRÁS ELVE

¹⁴C-izotóppal jelzett szubsztrátummal végzett inkubációban az azonosítandó produktum is ¹⁴C-jelzett vegyület. Az enzimreakciót leállítva, a feltételezett produktumvegyület triciummal jelzett identikus változatát adjuk az elegyhez, majd az ily módon kettősen jelzett termékvegyületet izoláljuk, tisztítjuk, egyes részleteit mikrokémiai reakciókban átalakítjuk. Folyadékszintillációs méréssel meghatározzuk mind a termék, mind pedig kémiai származékainak ³H és ¹⁴C radioaktivitását, majd kiszámítjuk a ³H/¹⁴C izotóphányadosokat.

A szubsztrátum és a termék ¹⁴C-radioaktivitásának ismeretében az átalakulás mértéke, az enzimreakció sebessége kiszámítható. A termékvegyület mennyiségében az izolálás, tisztítás során bekövetkező veszteséget a kettős jelölésre használt, triciált, identikus vegyület radioaktivitásának mérésével követjük.

Az identifikálást a termékvegyületben és származékaiban meghatározott ³H/¹⁴C izotóparányok alapján végezzük.

Ha az izolált ¹⁴C-izotóppal jelzett, azonosítandó termék és a hozzáadott triciált, identikus vegyület teljesen megegyezik egymással, akkor azonosan is viselkedik a kémiai átalakítás és a kromatográfiás elválasztás során. Ennek megfelelően a két izotóp mennyisége egyformán változik a mintában, vagyis a ³H/¹⁴C arány a feldolgozás során, a kémiai reakciók előtt és után állandó marad. (A kísérleti hibából adódó megengedett ingadozás $\pm 5\%$.) Az izolált termék szennyezettsége esetén veszteség lép fel a ¹⁴C-izotóp radioaktivitásában, a ³H/¹⁴C hányados értéke az eljárás során nő.

INKUBÁCIÓ, A PRODUKTUMVEGYÜLETEK IZOLÁLÁSA

A műtét során eltávolított patkányheréből és emberi prosztatából nyert, enzimaktivitással rendelkező szövetomogenizátumok inkubálását és az inkubátumok feldolgozását Faredin és Tóth módszerével^{3,4} végeztük. A kiindulási szubsztrátumkoncentrációkat a várható átalakulás mértékéhez igazítottuk. Az 1,0 μ M

[4-¹⁴C]dehidroepiandroszteron, a 2,4 µM [4-¹⁴C]5-androsztén-3β,17β-diol és a 0,2 µM [4-¹⁴C]tesztoszteron koncentráció eléréséhez rendre 130000, 275000, 23000 dpm-t mértünk a fenti vegyületekből az inkubációs elegyekbe.

A befagyasztott inkubátumokhoz az egyes feltételezett produktumok identikus, triciált változatát adtuk: 57000 dpm [1,2-³H]4-androsztén-3,17-diont, [1,2,6,7-³H] tesztoszteront és 10000 dpm [1,2-³H]5α-dihidrotesztoszteront. Az elegyekben lévő szteroidhormonokat 4x5 ml etilacetáttal extraháltuk. A zsír és egyéb szennyezések elválasztására az extraktumot 1,5 g-os Nymco-florisil-töltetű oszlopon kromatografáltuk. Az apoláris szennyezőket 15,0 ml benzollal leoldottuk, majd a szteroidokat 4,0%-os etanoltartalmu benzollal eluáltuk⁵. A szubsztrátum- és a produktumszteroidokat 28x5 cm-es Al₂O₃-G vékonyrétegen - benzolos előfuttatás után - n-hexán-etilacetát-jégecet-etanol futtatóeleggyel választottuk el (1. táblázat)⁶. Az egyes szteroidfoltokat radioscannogramok (Packard Radiocromatogram Scanner, Model 7210), jódgőz és UV-fény segítségével azonosítottuk.

1. táblázat

A szubsztrátum- és a termékszteroidok elválasztására alkalmazott kromatográfiás rendszerek (Al₂O₃-G vékonyréteg)

Хроматографические системы, применяемые для разделения субстратных и продуктных стероидов (Al₂O₃-G тонкий слой)

Chromatographic systems for the separation of substrate and steroid products (Al₂O₃-G thin-layer)

A futtató elegy összetétele	Szubsztrátum	R _f	Termék	R _f
n-hexán-etilacetát-jégecet-etanol 120:130:2:1 v/v/v/v	Dehidroepiandroszteron	0,33	4-androsztén-3,17-dion	0,52
120:140:3:2 v/v/v/v	5-androsztén-3β,17β-diol	0,33	Tesztoszteron	0,44
120:130:2,5:1,5 v/v/v/v	Tesztoszteron	0,31	5α-dihidrotesztoszteron	0,39

MIKROKÉMIAI REAKCIÓK

Az inkubációkban képződő, majd kettősen jelzett 4-androsztén-3,17-diont és 5α-dihidrotesztoszteront acetilezésnek és oxidációnak, míg a tesztoszteront acetilezésnek, illetve redukciónak vetettük alá. Az izolált produktumvegyületek származékait mikrokémiai reakciókban állítottuk elő, Julesz, Faredin és Tóth⁷ leírása alapján:

acetilezés: a szárazra párolt szteroidot 0,2 ml piridinben feloldttuk, hozzáadtunk 0,2 ml ecetsavanhidridet, és egy éjszakán át állni hagytuk. Ezután a reakcióelegyet szárazra pároltuk,

oxidáció: a szteroid szárazmaradékát 0,2 ml jégecetben feloldottuk, és hozzáadtunk 0,2 ml 2,0%-os krómtrioxid oldatot. Egy éjszakát állni hagytuk, majd

5 ml desztillált vízzel hígítottuk az elegyet, és a terméket 2x10 ml éterrel extraháltuk;

redukció: (17-ketoszteroidok redukciója 17-hidroxiszteroidokká) A szárazra párolt szteroidot NaBH_4 , 0,04%-os metanolos oldatának 1 ml-ével 30 percig reagáltattuk. A redukciót 10 ml desztillált víz hozzáadásával állítottuk le. A terméket 10 ml éterrel extraháltuk. A képződött származékokat a megfelelő vékonyréteg-kromatográfiás rendszerekben tisztítottuk (2. táblázat)⁷.

2. táblázat

Termékek és mikrokémiai reakciókban képzett származékaik elválasztására felhasznált kromatográfiás rendszerek

Хроматографические системы применяемые для разделения продуктов и их дериватов, получаемых в результате микрохимических реакций

Chromatographic systems for the separation of steroid products and their derivatives formed in microchemical reactions

Termék	R_f	Származék (Mikrokémiai reakció)	R_f	Kromatográfiás rendszer
4-androsztén- 3,17-dion	0,55	4-androsztén-3,17-dion (acetilezés)	0,55	Szilikagél diklórometán-etilacetát 20x5 cm 4:1 v/v
	0,79	Tesztoszteron (redukció)	0,57	Al_2O_3 -G n-hexán-etilacetát- 28x5 cm jégecet-etanol 120:140:3:2 v/v
Tesztoszteron	0,25	Tesztoszteron-acetát (acetilezés)	0,55	Szilikagél ciklohexán-etilacetát 20x5 cm 60:40 v/v
	0,37	4-androsztén-3,17-dion (oxidáció)	0,55	Szilikagél diklórometán-etilacetát 20x5 cm 4:1 v/v
5 α -dihidro- tesztoszteron	0,42	5 α -dihidrotesztoszteron- acetát (acetilezés)	0,71	Szilikagél ciklohexán-etilacetát 20x5 cm 60:40 v/v
	0,42	5 α -androsztén-3,17-dion (oxidáció)	0,54	Szilikagél ciklohexán-etilacetát 20x5 cm 60:40 v/v

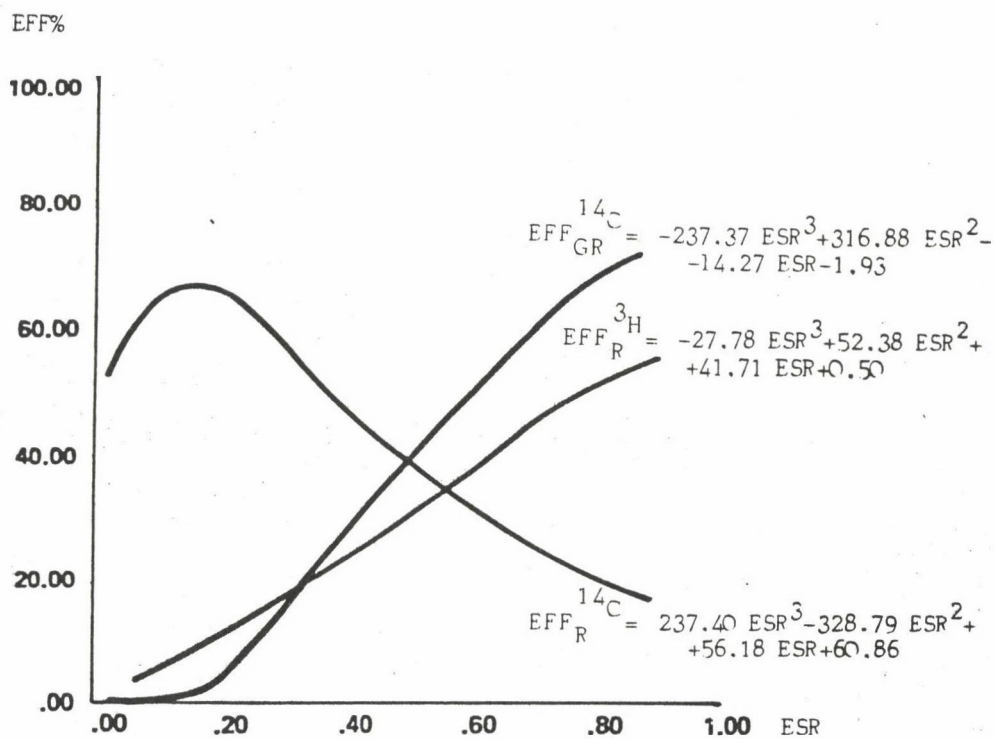
A RADIOAKTIVITÁS MÉRÉSE, A $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ ARÁNY MEGHATÁROZÁSA

A tríciummal és a ^{14}C -izotóppal jelzett, β -sugárzó minták radioaktivitását, illetve bennük a két izotóp arányát Packard 3255 folyadékszintillációs spektrométer $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ üzemmódjában mértük. Szintillációs oldatként 4,0 g/l PPO (2,5-difenil-oxazol) és 50,0 mg/l POPOP (1,4-bisz[2-5(-fenil-oxazolil)]-benzol) tartalmu toluolt használtunk.

A $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ üzemmód számlálási hatásfokainak ($\text{EFF}=\text{CPM}/\text{DPM}$, ahol CPM a számlálási, DPM pedig a bomlási sebesség) megállapításához megmértük a változó kioltásu, pontosan ismert radioaktivitást (DPM) tartalmazó, egyszeresen jelzett standard minták (quench sorozatok) külső standard csatornahányadosát (ESR), és a két - kisebb és nagyobb energiájú beütéseket érzékelő (GREEN és RED) - csatornában létrehozott percenkénti beütésszámokat (CPM_{GR} , CPM_{R})

Meghatároztuk a hatásfok-ESR-görbékét, és a rájuk megfelelő pontossággal illeszkedő, harmadfoku polinomokat, amelyekből az - ESR ismeretében - bármilyen

összetételű minta mérése esetén az érvényes számlálási hatások kiszámíthatók (1. ábra).



1. ábra

A Packard 3255 folyadékszintillációs spektrométer $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ üzemmódjának hatásfokgörbéi

$\text{EFF}_R^{^3\text{H}}$: a ^3H β -bomlásának számlálási hatásfoka a R csatornában

$\text{EFF}_R^{^{14}\text{C}}$: a ^{14}C β -bomlásának számlálási hatásfoka a R csatornában

$\text{EFF}_{\text{GR}}^{^{14}\text{C}}$: a ^{14}C β -bomlásának számlálási hatásfoka a GR csatornában

Диаграмма эффективности спектрометра "Packard 3255" в рабочем режиме $^3\text{H}/^{14}\text{C}$

$\text{EFF}_R^{^3\text{H}}$: счетная эффективность при β -распаде ^3H в канале "R"

$\text{EFF}_R^{^{14}\text{C}}$: счетная эффективность при β -распаде ^{14}C в канале "R"

$\text{EFF}_{\text{GR}}^{^{14}\text{C}}$: счетная эффективность при β -распаде ^{14}C в канале "GR"

Efficiency curves of a Packard Liquid Scintillation Spectrometer No 3255 by $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ prese. windows

$\text{EFF}_R^{^3\text{H}}$: efficiency of ^3H in channel R

$\text{EFF}_R^{^{14}\text{C}}$: efficiency of ^{14}C in channel R

$\text{EFF}_{\text{GR}}^{^{14}\text{C}}$: efficiency of ^{14}C in channel GR

Ismeretlen minta mérésekor mind a GR, mind a R csatornában keletkeznek beütések, mégpedig a mintában lévő ^3H - és ^{14}C -izotópok mennyiségével, valamint a számlálási hatásokkal arányosan:

$$\text{CPM}_{\text{GR}} = \text{EFF}_{\text{GR}}^{3\text{H}} \text{DPM}^{3\text{H}} + \text{EFF}_{\text{GR}}^{14\text{C}} \text{DPM}^{14\text{C}}$$

$$\text{CPM}_{\text{R}} = \text{EFF}_{\text{R}}^{3\text{H}} \text{DPM}^{3\text{H}} + \text{EFF}_{\text{R}}^{14\text{C}} \text{DPM}^{14\text{C}}$$

A két csatorna energiahatárainak megfelelő megválasztásával elérhető, hogy a trícium bomlása gyakorlatilag nem okoz beütést a GR csatornában (1. ábra), vagyis az $\text{EFF}_{\text{GR}}^{3\text{H}} = 0$.

Ezen egyszerűsítéssel a mintában lévő ^3H és ^{14}C izotópok radioaktivitása alábbi összefüggésekkel számíthatók⁸:

$$\text{DPM}^{14\text{C}} = \frac{\text{CPM}_{\text{GR}}}{\text{EFF}_{\text{GR}}^{14\text{C}}}$$

$$\text{DPM}^{3\text{H}} = \frac{\text{CPM}_{\text{R}} - \text{EFF}_{\text{R}}^{14\text{C}} \cdot \text{DPM}^{14\text{C}}}{\text{EFF}_{\text{R}}^{3\text{H}}}$$

EREDMÉNYEK

Δ^5 -3 β -HSD TERMÉKEK AZONOSITÁSA

Patkányhereszövet homogenizátumának Δ^5 -3 β -HSD-enzimaktivitását a dehidroepiandroszteron \rightarrow 4-androsztén-3,17-dion valamint az 5-androsztén-3 β ,17 β -diol \rightarrow tesztoszteron transzformáción keresztül vizsgáltuk.

Az első inkubáció termékének, a [^{14}C]4-androsztén-3,17-dionnak azonosítása érdekében a kísérleti részben leirtak szerint triciált, identikus 4-androsztén-3,17-diont adtunk a befagyasztott inkubátumokhoz. Az így kialakított $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ izotóparány 0,666-0,697 között változott, az egyes inkubátumok kissé eltérő produktummenyiségeinek megfelelően (3. táblázat). Az inkubátumokból visszanyert ^3H radioaktivitásából számított kinyerési hatások a 2. számú minta esetén mutattak az átlagosnál nagyobb veszteséget (kinyerés: 42%), míg a másik két esetben a szokásos 60-70% körüli értékek. Az identifikálás során a 4-androsztén-3,17-diont mikrokémiai reakciókban tesztoszteronná redukáltuk, valamint acetileztük. Utóbbi esetben maga a 4-androsztén-3,17-dion változatlanul került ki a reakcióból, míg az esetleges ^{14}C -jelzett egyéb szteroidok (pl. maradék dehidroepiandroszteron-szubsztrátum) acetátszármazékai - lényegesen eltérő polaritásuknak megfelelően - kromatográfiásan könnyedén elválaszthatókká váltak. E mikrokémiai reakciók után mért $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ izotóparányok a kísérleti hibaként megengedett $\pm 5\%$ -os eltéréseken belül változtak (a redukció után +0,29 és +1,80%, míg az acetilezés után -3,45% és +1,03% között), bizonyítván a 4-androsztén-3,17-dion képződésére vonatkozó feltételezést, valamint azt, hogy e produktumot tisztán sikerült izolálnunk.

3. táblázat

4-androsztén-3,17-dion azonosítása kettős jelöléssel
(Zárójelben a származékok $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ arányának %-os eltérése a termék izotóparányához viszonyítva.)

Идентификация 4-андростен-3,17-диона путём двойного изотопного мечения
(В скобках разхождение пропорционального содержания ^3H и ^{14}C в дериватах и изотопах продукта /в %/.)

Identification of 4-androstene-3.17-dione by double isotope dilution
(Percentage differences between $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ ratios of the product and its derivatives are in parentheses.)

Az inkubáció sorszáma	Termék 4-androsztén-3,17- dion $^3\text{H}/^{14}\text{C}$	A termék kinyerési hatásfoka	Mikrokémiai reakciókban képzett származékok	
			acitelezés után 4-androsztén-3,17-dion $^3\text{H}/^{14}\text{C}$	redukció után Tesztoszteron $^3\text{H}/^{14}\text{C}$
1.	0,666	63%	0,643 (-3,45%)	0,654 (+1,80%)
2.	0,679	42%	0,686 (+1,03%)	0,681 (+0,20%)
3.	0,697	57%	0,679 (-2,58%)	0,699 (+0,29%)

Az 5-androsztén-3 β ,17 β -diol \rightarrow tesztoszteron átalakulás igazolása és vizsgálata során [^3H]tesztoszteront adtunk a befagyasztott inkubátumokhoz. Extrakció és tisztítás után a terméket 55-65%-os kinyeréssel izoláltuk, és az egyes inkubátumok kiindulási $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ izotóparányai gyakorlatilag azonosnak mutatkoztak (0,273-0,283) (4. táblázat). A tesztoszteronból oxidációval előállított 4-androsztén-3,17-dion, illetve az acetilezéssel kapott tesztoszteron-acetát izotóparányai 0,275-0,293, valamint 0,262-0,278 között változtak. A $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ hányados változása csak az 1. számú inkubátumból izolált produktum acetilezése után haladta meg - csekély mértékben - a kísérleti hiba $\pm 5\%$ -át, tehát az inkubáció során képződött és izolált szteroid valóban tesztoszteron.

4. táblázat

Tesztoszteron azonosítása kettős jelöléssel
(Zárójelben a származékok $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ arányának %-os eltérése a termék izotóparányához viszonyítva.)

Идентификация тестостерона путём двойного изотопного мечения
(В скобках разхождение пропорционального содержания ^3H и ^{14}C в дериватах и изотопах продукта /в %/.)

Identification of testosterone by double isotope dilution
(Percentage differences between product and its derivatives $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ ratio are in parentheses.)

Az inkubáció sorszáma	Termék Tesztoszteron $^3\text{H}/^{14}\text{C}$	A termék kinyerési hatásfoka	Mikrokémiai reakciókban képzett származékok	
			acitelezés után Tesztoszteron-acetát $^3\text{H}/^{14}\text{C}$	oxidáció után 4-androsztén-3,17- dion $^3\text{H}/^{14}\text{C}$
1.	0,280	65%	0,265 (-5,36%)	0,285 (+1,79%)
2.	0,273	58%	0,262 (-4,03%)	0,275 (+0,73%)
3.	0,283	55%	0,278 (-1,77%)	0,293 (+3,53%)

5 α -REDUKTÁZ TERMÉK AZONOSITÁSA

Emberi prosztata 5 α -reduktáz enzimaktivitásának hatására tesztoszteron-szubsztrátumból 5 α -dihidrotesztoszteron képződik. E produktumot - a triciált identikus 5 α -dihidrotesztoszteron hozzáadása után - az azonosítás céljából acetilezésnek és oxidációnak vetettük alá (5. táblázat). A 2. számú inkubátumban beállított $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ izotóparány - a mintegy 30%-kal kisebb termékmennyiség miatt - lényegesen nagyobb (1,842) a másik két inkubátuménál (1,175 és 1,311), azonban a mikrokémiai reakciók után mért izotóparány-változás mindhárom párhuzamos inkubátum és mindkét reakció esetén a megengedett eltéréseken belül maradt (-1,57 és +3,06% között). A $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ izotóparány e gyakorlatilag változatlan volta alátámasztotta az enzimreakciónak a várt irányban történő lejátszódását, a feltételezett 5 α -dihidrotesztoszteron-produktum izolálását, tökéletes tisztaságát.

5. táblázat

5 α -dihidrotesztoszteron azonosítása kettős jelöléssel
(Zárójelben a származékok $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ arányának %-os eltérése a produktum izotóparányához viszonyítva.)

Идентификация 5 α -дигидротестостерона путём двойного изотопного мечения
(В скобках разхождение пропорционального содержания ^3H и ^{14}C в дериватах и изотопах продукта /В %/.)

Identification of 5 α -dihydrotestosterone by double isotope dilution
(Percentage differences between product and its derivatives $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ ratio are in parentheses.)

Az inkubáció sorszáma	Termék 5 α -dihidrotesztoszteron $^3\text{H}/^{14}\text{C}$	A termék kinyerési hatásfoka	Mikrokémiai reakciókban képzett származékok	
			acetilezés után 5 α -dihidrotesztoszteron-acetát $^3\text{H}/^{14}\text{C}$	oxidáció után 5 α -androsztán-3,17-dion $^3\text{H}/^{14}\text{C}$
1.	1,175	83%	1,139 (+3,06%)	1,208 (+2,81%)
2.	1,842	70%	1,813 (-1,57%)	1,893 (+2,77%)
3.	1,311	69%	1,307 (-0,31%)	1,292 (-1,45%)

AZ EREDMÉNYEK MEGBESZÉLÉSE

A szteroid-biokémiai kísérletek gyakori problémája a biológiai mintákból izolált, mikromennyiségű szteroidhormonok identifikálása, tisztaságellenőrzése. A klasszikus kémiai módszereken (funkciócsoport-kimutatás, átkristályosítás, kromatográfiás, illetve spektroszkópiai eljárások) kívül radioaktív nyomjelzéses technikák is ismertek (pl. izotóphigitás).

A legmegbízhatóbb eredményeket a két egymás mellett is mérhető radioaktív izotópot alkalmazó, kettős jelöléses módszerek szolgáltatják. Ebben az esetben az egyik izotóppal vagy maga az azonosítandó anyag van jelezve (double isotope dilution), vagy a már izolált, azonosítandó vegyületet jelezzük vala-

mely szárazmékának előállítására utján a fent említett izotóppal (double isotope derivative analysis). A másik radioaktív izotópot az azonosításhoz felhasznált identikus vegyület tartalmazza.

E kettős jelölést alkalmazó módszerek általánosan használhatók, ugyanis elvileg bármilyen anyag, így csaknem az összes szteránvázas vegyület (ösztrogének^{1,9}, androgének^{10,11}, kortikoszteroidok^{12,13}) azonosítására alkalmasak, valamint számos radioaktív izotóp (általában a β -sugárzó ^3H és ^{14}C ^{8,12,13}, vagy ^3H és ^{35}S ^{1,10,11} esetleg a γ -sugárzó ^{125}I ¹⁴) felhasználásával kivitelezhető¹⁵.

Saját kísérleteinkben - patkányhere 3β -hidroxiszteroid-dehidrogenáz/ Δ^5-4 -izomeráz és emberi prosztata 5α -reduktáz enzimaktivitását vizsgálva - in vitro inkubációban képződő produktumok azonosítására használtuk fel a $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ kettős jelölést.

E módszer alkalmazásával rendkívül kis mennyiségű (kb. 1 nmol) vegyület azonosítására, tisztaságellenőrzésére alkalmas módszer birtokába jutottunk, amelyet nem zavarnak a biológiai anyagoknál gyakori kísérő és szennyező anyagok (lipidek, fehérjék). Igazolni tudtuk a produktumvegyületek izolálási módszerének helyességét, a tisztításhoz és elválasztáshoz felhasznált kromatográfiás eljárások hatékonyságát.

A kettős jelölésre felhasznált triciciált identikus vegyület mennyiségének mérésével a terméken az inkubátum feldolgozása közben bekövetkező veszteségek minden egyes minta esetén pontosan követhetővé váltak, így az inkubáció során képződött termék mennyisége, ennek következtében az enzimreakció sebessége, a korábbi módszereknél pontosabban számíthatóvá vált.

A kettős jelölés azonosítás minden tekintetben alkalmasnak bizonyult az inkubációkban keletkezett szteroidhormonok azonosítására, ugyanakkor a korábban általánosan használt eljárásoknál (átkristályosítás, izotóphigitás stb.) lényegesen egyszerűbben kivitelezhető volt.

IRODALOM

1. H.A. Andersen, E. Bojesen, P.K. Jensen, B. Sorenson, *Acta Endocrinol.* **48** (1965) 114
2. M. Ayub, S.R. Stitch, *J. Ster. Biochem.* **25** (1986) 981
3. Tóth I., Faredin I., in: *Advances in Steroid Analysis* 90 p. 339., Eds.: Görög S., Heftmann E., Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991.
4. Faredin I., Tóth I., Oszlány J., Scultéty S., *Magyar Urológia* (sajtó alatt)
5. Faredin I., Tóth, I., *Acta Med. Acad. Sci. Hung.* **20** (1964) 185
6. Tóth I., Faredin, I., *Kísérl. Orvostud.* **30** (1978) 55
7. Julesz M., Faredin I., Tóth I., in: *Steroids in Human Skin* p.163 Akadémiai Kiadó, Budapest 1971
8. *Instruction Manual for Model 3255 Packard Instrument Company Inc.* p. 3/7, 1977

9. E. Gurpide, M. Angers, R.L. Wande Wiele, S. Lieberman, J. Clin. Endocrinol. Metab. 22 (1962) 935
10. R. Horton, J. Clin. Endocrinol. Metab. 25 (1965) 1237
11. A. Riondel, J.F. Tait, M. Gut, S.A.S. Tait, E. Joachim, B. Little, J. Clin. Endocrinol. Metab. 23 (1963) 620
12. J. P. Coghlan, B.A. Scoggins, J. Clin. Endocrinol. Metab. 27 (1967) 1470
13. B. Hudson, J. Coghlan, A. Dulmanis, M. Wintour, I. Ekkel, Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci. 41 (1963) 235
14. B. Kliman, R.E. Peterson, J. Biol. Chem. 235 (1960) 1639
15. J. K. Whitehead, H.G. Dean, Meth. Biochem. Anal. 16 (1968) 1

*

Szövethomogenizátumok in vitro inkubációjában, enzimreakciók termékeként keletkező ^{14}C -jelzett 4-androsztén-3,17-diont, tesztoszteront és 5α -dihidrotesztoszteront azonosítottunk triciált identikus vegyületeik hozzáadásával. Folyadék-szcintillációs méréssel meghatároztuk a termékszteroidok, valamint mikrokémiai reakciókban előállított származékaik $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ izotóparányát. Ez a kísérleti hibahatáron belül változott, ami bizonyítja az izolált enzimreakció-termékek egyenmőségét és azonosságát a feltételezett szteroidokkal.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВОЙНОГО ИЗОТОПНОЙ МЕТЧЕНИЯ $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТЕРОИДОВ
Сечи, М., Тот, И., Фаредин, И.

Идентифицировались продукты enzymных реакций 4-андростен-3,17-диона, тестостерона и 5α -дигидротестостерона, помеченных изотопом ^{14}C и образующихся при инкубации in vitro гомогенизированных тканей. Определены пропорции изотопов ^3H и ^{14}C в полученных стероидах и их дериватах путем ликвид-сцинтилляционного измерения. Пропорции измеренных изотопов колебались между в допустимыми погрешностями. Доказывая что изолированные продукты enzymной реакции однородны и соответствуют предполагаемым стероидам.

A $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ DOUBLE ISOTOPE DILUTION METHOD FOR THE IDENTIFICATION OF STEROIDS
Szécsi, M., Tóth, I., Faredin, I.

^{14}C -labeled 4-androstene-3,17-dione, testosterone and 5α -dihydrotestosterone formed in in vitro incubated tissue homogenates were identified by the addition of tritiated authentic compounds. The $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ isotope ratios of the formed steroids and those of their microchemically produced derivatives were determined by liquid scintillation method. The isotope ratios proved to be identical within the limits of experimental error, so that the isolated products of the enzyme reactions could be regarded homogeneous, pure and identical with the presumed steroids.

A LIPOSZÓMÁK ALKALMAZÁSÁNAK PERSPEKTÍVÁI A KLINIKAI ORVOSTUDOMÁNYBAN

O.A. Rozenberg*, K.P. Hanszon*, Jánoki Győző**

*A Szovjetunió Egészségügyi Minisztériumának Központi Röntgen-radiológiai Kutatóintézete, Leningrád

**Országos "Frédéric Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet, Budapest, Pf. 101, 1775

(Érkezett 1991. április 17-én)

Sok lokalizált folyamat diagnosztikája és gyógyítása a különféle gyógykészítmények szervezetbe való bejuttatásán alapszik. Ezen készítmények döntő többségének nincs a károsodott szövet vagy szerv iránt megfelelő specifikus affinitása, és meglehetősen egyenletesen oszlik el a szervezetben. Ebből következik, hogy a készítményeket nagy dózisban kell alkalmazni, azon kívül a beadásuk módja sokszor nem veszélytelen.

Az irányított gyógyszerjuttatás célja a beadott vegyületek egyenletes eloszlásának megváltoztatása és egyidejűleg a szervezetben, illetve a szövetben végbemenő helyi koncentráció jelentős mértékű növekedése, valamint az általános toxikus hatás csökkentése. Az irányított transzport problémájának egyik lehetséges megoldása a kémiai vegyületek mikrokapszulákba való bezárásában található. A mikrokapszulák használata számos előnnyel jár. A membrán megvédi a készítményt attól, hogy a véráramlatban és a szövetnedvben lebomolják. Lehetőség nyílik arra, hogy a beadott készítmények koncentrációja jelentősen (százszorosára vagy ezerszeresére) megnövekedjék a kóros gócban, illetve hatásuk prolongálódjék. Az eltelt 15 év során a mikrokapszulák előállításához szükséges alapanyagként intenzíven kezdték alkalmazni a természetes lipideket. Az ilyen kapszulák a liposzóma lenevezést kapták¹. A liposzómák a legnagyobb mértékben megfelelnek azoknak a követelményeknek, amelyeket általában a gyógyszerek hordozóival szemben támasztanak. Anyaguk (a foszfolipidek és más amfifil lipidek) metabolizál, így nem halmozódik fel a szervezetben, elérhető természetes forrásokból, így pl. tojássárgájából készülnek. A liposzómáknak más mikrokapszulákkal szemben a legnagyobb előnyük az, hogy tulajdonságaik igen széles körben alkalmazhatók. A vezikulák összetételének és nagyságának, valamint a membránjukhoz kötött ligandok specifikusságának megváltoztatásával állíthatók elő a meghatározott sejtek iránt tropizmussal rendelkező liposzómák^{2,3}.

A liposzómáknak három alaptípusa ismeretes: nagy, többrétegű liposzómák 0,1-től néhány μm -ig (multilamellar liposomes, MLL); nagy, egyrétegű liposzómák 0,2-0,5 μm -ig (large unilamellar vesicles, LUV); kicsi, egyrétegű liposzómák 0,02-0,05 μm -ig (small unilamellar vesicles, SUV)⁴. Valamennyi liposzóma intravénás, igen korán megjelenik a RES-szerveken (a májban, a lépben, a csontvelőben), számos esetben a tüdőben is (a SUV egyéb parenterális beadási mód

mellett is)⁵. A liposzómák nehezen jutnak át a kapillárisok falán, és nincs kimutatható tropizmusuk a nem fagocitáló sejtek iránt. Több közlemény szerint a liposzómák lipidösszetételének változtatása révén ezek cirkulációs ideje a vérkeringésben jelentősen megnő, csökken a RES-szervek általi bekebelezésük, és lehetővé válik erősebb bedusulásuk a célszervekben³. A célszövetek iránt tropizmussal rendelkező SUV liposzómák előállításának leggyakoribb módja a célsejtek felületi antigénjeivel szembeni poliklonális vagy monoklonális antitestek kötése a liposzóma membránhoz. Ez az eljárás lehetővé tette az átoltható daganatsejtekben a citosztatikumok koncentrációjának 10-szeres megnövekedését, és a kutyáknál mesterségesen előidézett szivizominfarktus lokalizálását (láthatóvá tételét)⁶⁻⁸. Hormonok segítségével a liposzómák tropizmusa szintén növelhető⁹. A célsejtekhez tropizmussal rendelkező liposzómák előállításának egyik megközelítési módja a sejteknek a membránkomponenseiből történő megkonstruálásában van¹⁰. Az ilyen liposzómáknak sokkal nagyobb a kölcsönhatása az erek tumorascites-sejtjeivel, a hepatocitákkal¹², a baktériumsejtekkel¹³, és viszonylagos tropizmust mutatnak azokhoz a szervekhez, amelyeknek membránelemeiből származnak¹⁴. A gyógyszerek liposzómák segítségével történő hatékonyabb szállítása elérhető membránjaik specifikus lipidösszetételének és a célterületen kifejtett fizikai vagy kémiai hatásuknak kombinációjával¹⁵. Ezek a hatások a lipidek azon tulajdonságának köszönhetőek, hogy meg tudják valósítani a kooperatív fázisátmenetet folyékony kristályállapotban, így a liposzómák membrán-sajátosságainak lényeges változását eredményezik, és jelentősen megnövelik azok permeabilitását és sejtfúziós képességét¹⁶. A sejtek és a liposzómák kölcsönhatásának alapvető mechanizmusa az endocitózis, a szorpció, valamint a lipid és más hidrofób molekulák cseréje¹⁷.

A kísérleti, illetve a klinikai kutatásban széleskörűen kihasználják a liposzómák azon tulajdonságát, hogy a RES-szervek képesek őket bekebelezni, így a liposzómák deponálják, valamint csökkentik a szervezetbe juttatott vegyületek toxikus hatását. Ez utóbbi, a dózisbedusulás révén, összefüggésben van mind az általános dózisok csökkenésével a célszervekben, mind azzal a ténnyel, hogy a hematoencefalikus gát nem permeabilis a liposzómák számára, valamint összefügg a miokardiummal és az erekkel való gyenge kölcsönhatással is. A liposzómák hasznosításában a legnagyobb siker az akkumulációs betegségeknek, a leishmaniosis viszcerális formájának, a hisztocitarendszer daganatainak kezelésében, illetve a kanidózisok és a kandidomikózisok generalizált formáinak, azaz olyan betegségeknek gyógyításában várható, amelyek együtt járnak a befejezetlen fagocitózis állapotával a komplex antitumoros terápia alatt történő makrofágaktivitás stimulációja során^{18, 19}. Konkrét példák egész sorát lehet felhozni ezzel kapcsolatban. Az akkumulációs betegségek általában valamilyen exohidroláz genetikai elváltozásával magyarázhatók. A Gaucher-betegség például magyarázható a lizoszomális glukocerebrozid- β -d-glükozidáz defektusával. Az enzimhiányosság miatt a szubsztrát felhalmozódik a fagocitáló máj, lép és csontvelő lizoszómáiban. Ez a máj, illetve a lép nagybodását okozza, valamint a portális hipertenzió kifejlődését, következésképpen halált 20-30 éves korban, a nyelőcső

vénáinak vérzése miatt²⁰. Ilyen szindróma a Gaucher-betegségnek csak lassu lefolyású, felnőtt formájánál fejlődik ki. Jelenleg már több mint 10 éves tapasztalata van az ilyen betegek gyógyításának a placentából izolált és liposzómába inkapszulált fermentum adagolásával. Ezen fermentum közvetlenül jut el a máj Kupffer-sejtei, a lép- és a csontvelőmakrofágok lizoszómáihoz, és felbontja a felhalmozódott glükocerebrozid-szubsztrátumot.

Az ilyen gyógymód klinikai hatása a máj, a lép méreteinek jelentős (4-5 cm-es) csökkenésében és a portális hipertenzió szindrómájának megszüntetésében mutatkozik¹⁸. A liposzómák hatékony felhasználásának másik példája a leishmaniosis viszcerális formájának gyógyítása. Ebben az esetben a terápiás hatás a gyógyászatban általában használatos arzénpreparátumokkal érhető el, 700-1000-szer kisebb dózisban, mint a szabad beadásnál²¹.

A liposzómák alkalmazásának igen nagy lehetősége nyílik meg a májmetasztázisok gyógyításában. Ezen aspektus legkövetkezetesebb kutatását Mayhew munkái tükrözik²². A szerző patkányokon kimutatta, hogy vastagbélrák esetén a csomók mérete jelentősen csökkent, és meghosszabbodott az állatok élettartama²². A liposzómákról kiderült, hogy igen hatékonyan felhasználhatók mint diagnosztikai preparátumok hordozói, például a röntgenkontrasztanyagok és a rövid élettartalmu radionuklidok esetén²³⁻²⁷. Ismeretes ugyanis, hogy a széles körben használatos hiperozmoláris és normoozmorális vizoldékony röntgenkontrasztanyagoknak (RKA) nincs tropizmusuk a máj és a lép iránt. A Szovjetunióban, az Egyesült Államokban és Svájcban, néhány kutatócsoport tanulmányozza az RKA hatékony alkalmazását liposzómaformában²⁸⁻³³. Sikerült olyan technológiát kidolgozniuk, melynek során stabil, nem toxikus, arirogén preparátumok nyerhetők, és sajátosságaik jól tanulmányozhatók állatkísérletekben. Ismeretessé vált, hogy a preparátumok közösleges röntgenvizsgálat segítségével lehetővé teszik a máj és lép, kisállatoknál 1-2 mm, kutyaénál 2-5 mm méretű strukturális károsodásának kimutatását^{23, 24}. Egyenesen a röntgenkép alapján, a preparátumok módot adnak a szakadás, a daganat, a gázmentes tályog, illetve a szisztémás megbetegedés (májzsugorodás, szisztémás retikulózis) esetén bevont szervek károsodásának diagnosztizálására^{23, 32, 33}.

A preparátumok alkalmazása a komputertomográfiában 45-szöröse csökkenti a dózist, és lehetőséget nyújt nemcsak a strukturális, hanem a funkcionális elváltozások megfigyelésére is^{24, 34}.

Számos munkában bebizonyosodott a liposzómák alkalmazásának hatékonysága a máj, a lép, a csontvelő szcintigráfiájában és a közvetett limfoszcintigráfiában.

Ráműtattak arra, hogy parenterális beadás mellett perspektivikus a liposzómák perorális, inhalációs és helyi felhasználása is. Tisztázódott a perorálisan beadott inzulin aktivitása a patkányok alloxán diabetezenél³⁵, az "üres" liposzómák inhalációs bejuttatásának hatékonysága az ujszülöttek légzéselégtelenségi szindrómájának gyógyításánál, és a gyulladás elleni készítmények intraartikuláris beadásánál³⁶⁻³⁸.

Az újszülöttek légzéselégtelenségi szindrómája (respiratory distress syndrome, RDS) a csecsemőhalálozás alapvető okainak egyike. E betegség kifejlődésében szerepet játszik az alveolusok felületét fedő szurfaktant struktúrális és funkcionális elégtelensége. Ugyanakkor a szurfaktantdefektus mögött a hiányos lecitinszintézis áll. Vannak, akik a szurfaktant összetételében lévő lecitin és szfingomlín arányának megváltozását tartják a szerkezeti és funkcionális eltérés legfőbb okaként³⁹. A tojás lecitinjéből előállított SUV inhalációs beadása gyors normalizálódást eredményez a szurfaktant összetételében, és jelentősen megnöveli az RDS-ben szenvedő újszülöttek életbenmaradását, az intenzív terápia mellett³⁶. Figyelembe véve azt, hogy általában a fejlődés szempontjából rizikócsoportha sorolhatók a diabeteses anyák ki nem hordott terhességéből született gyermekek, a liposzómák ilyen fajta célirányos alkalmazása meglehetősen perspektivikus. Mint már ismeretes, a terapeutikus agens lokális koncentrációjának lényeges megnövekedése a hőmérsékletre érzékeny liposzómákkal érhető el. Így ha a citosztatikumokat a dipalmitoilfoszfátidilkolinból (DPFH foszfatidilkolinból) (DPFK, tranzíciós hőmérséklet +41,5°C) nyert liposzómák formájában adják be intravénásan, s a daganat területén 42°C-ra növelik a hőmérsékletet, a koncentráció 14-15-szörösre növekszik a daganat szövetében, összehasonlítva a hőhatás nélküli koncentrációval^{40,41}.

A liposzómák membránjának azon nagyon fontos sajátosságát, hogy a tranzíciós hőmérséklet határain belül képesek megváltoztatni a jellemzőiket, nagy hatékonysággal használják fel a kísérleti és a reumatoid artritisz kezelésénél. Közismert, hogy a gyulladásgátló anyagok, (pl. hidrokortizon) intraartikuláris beadása heveny reumatikus szinovitisz esetekben 50-70%-ban nyújt rövid időtartamu terápiás effektust. Ez gyakori és ismételt intraartikuláris injekciót tesz szükségessé. Nekünk sikerült DPFK-ból és 20 mol% koleszterinből hőérzékeny liposzómákat előállítanunk, amelyek 37-42°C-os gyulladás esetén effektív kölcsönhatásba lépnek a sejtekkel. Bebizonyosodott, hogy a liposzómákba zárt hidrokortizon intraartikuláris beadása 6 napra megszünteti a gyulladást tüneteket a nyúl aszeptikus artritisz modelljén³⁷. Amikor ilyen liposzómákat adtunk egyszeri esetben 20 betegnek, akiknél a reumatoid artritisz heves szinovitisz stádiumába lépett, a gyulladás valamennyi tünete huzamos időre leblokkolódott³⁸. A liposzómákat intravaszkuláris szorbensként is lehet hasznosítani, mivel rendkívüli módon kifejezett felszínnel rendelkeznek. A SUV preparátumban a vezikulák mennyisége 10¹⁴/1 mg lipid. Kimutatták, hogy az "üres" liposzómák intravénás beadása a szorításszindróma (Kras-szindróma) esetén megakadályozta a kutyák elpusztulását, még akkor is, ha öt órával a terhelés megszüntetése után adagolták be⁴². Ismeretes, hogy a szorítás-szindróma okozta halálban szerepet játszanak a szivizom és a főerek makro-, illetve mikroinfarktuszát kiváltó peptidok és az ún. középmeretű molekulák toxikus hatásai. Az iszkémia következtében végbemegy a szövetek autolízise; a keletkező toxikus anyagok szorpciója és RES-szervekben történő szekventálása révén elérhető a vérkeringésből való kiürítésük, így az állatok pusztulásának megakadályozása. Vannak adatok a szorbensek előállításáról liposzóma alapon, mely szorbensek kifejezett speci-

ficitással rendelkeznek a vér konkrét fehérjéi, pl. a komplement rendszer fehérjéi iránt⁴³.

A cikkben nem törekedtünk arra, hogy részletezzük a liposzómáknak az immunológiában, a toxikológiában és más tudományos területeken megmutató hasznosságát. Ugyanakkor az olvasó szíves figyelmébe ajánljuk a megfelelő összefoglaló munkák áttekintését²¹.

IRODALOM

1. G. Sessa, G.D. Weissman, *Lipid Research* 9 (1968) 210
2. В.П. Торчилин, А.И. Кливанов, Ж. Всес. Хим. Общ. им. Менделеева 32 (1987) № 5
3. О.А. Розенберг, Ж. Всес. Хим. Общ. им. Менделеева 32 (1987) 514
4. F.I. Szoka, D. Papadopoulos, in.: *Liposomes: From Physical Structure to Therapeutic Applications*, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, 1981, 51
5. G. Gregoriadis, A.C. Allison, in.: *Liposomes in Biological Systems*, New York, 1980, 398
6. G. Gregoriadis, E.D. Neerunjun, *Biochim. Biophys. Res. Comm.*, 65 (1975) 537
7. V.P. Torchilin, B.A. Khaw, V.N. Smirnov, E. Haber, *Biochim. Biophys. Res. Comm.* 89 (1979) 1114
8. S.G. Norley, D. Zendele, L. Huang, B.T. Rouse, *Invest. Ophthalmol. Vis.Sci.* 28 (1987) 591
9. М.Т. Морозова, В.Г. Будкер, Н.И. Гуткина, Г.И. Моисеева, Р.И. Салганик, *Эксп. онкол.* 4 (1982) 47
10. С.А. Розенберг, В.И. Беркеньева, Л.В. Лошакова, С.П. Резвая, Е.Ф. Давиденкова, К.П. Хансон, *Вопросы онкологии* 29 (1983) 56
11. О.А. Розенберг, В.И. Беркеньева, Л.В. Лошакова, С.П. Резвая, Е.Ф. Давиденкова, К.П. Хансон, *Бюлл. эксп. биол. мед.* 97 (1984) 670
12. С.А. Бурханов, Е.В. Дорменова, В.А. Косих, В.Р. Бердичевский, В.П. Торчилин, Т.А. Саатов, В.С. Репин, *Эксп. биол. мед.* 99 (1985) 579
13. С.Е. Бреслер, О.А. Розенберг, Л.А. Носкин, И.Н. Степанова, А.Г. Бекетова, Л.В. Лошакова, И.Г. Ковальева, *Докл. АН СССР* 274 (1984) 445
14. Т.С. Саатов, Е.И. Исаев, С.А. Бурханов, Ж.Всес. Хим. Общ. им. Менделеева 32 (1987) 522
15. M.V. Yatvin, T.S. Gree, J.M. Tegmo-Larson, Y.Y. Gipp, *Strahlentherapie* 160 (1984) 732
16. В.Г. Ивков, Г.Н. Берестовский, *Динамическая структура липидного бислоя*, Наука, Москва, 1981
17. Л.Вз Марголис, Л.Д. Бергельсон, *Липосомы и их взаимодействие с клетками*, Наука, Москва, 1986
18. G. Gregoriadis, M.V. Deam, *Nature* 278 (1979) 603

19. G. Poste, R. Kirsh, T. Koestler, in: *Liposome Technology*, 1985 V. III. 2
20. О.А. Розенберг, Итоги науки и техники, ВИНТИ, Генетика человека, м. 1979 т.4, 51
21. G. Poste, R. Kirsh, *Biotechnology*, 1 (1983) 869
22. F. Olson, E. Mayhew, D. Maslow, Y. Rustum, F. Szoka, *Eur. J. Cancer Clin. Oncol.*, 18 (1982) 167
23. О.А. Розенберг, К.Р. Хансон, Л.А. Зербин, *Radiology* 149 (1983) 877
24. С.Т. Чег, С.Е. Селтзер, Д.Ф. Адамс, М. Блау, *Investigative Radiol.* 22 (1987) 47
25. V.J. Caride, *Royal Soc. Transac.*, Part 2, 12 (1984) 346
26. J.R. Morgan, L.A. Williams, C.B. Howard, *Brit. J. Radiol.* 58 (1985) 35
27. G. Lopez-Berestein *et al.* *Cancer Res.* 44 (1984) 375
28. М.Т. Алиякпаров, О.А. Розенберг, Е.В. Фомина, Л.В. Лошакова, А.В. Губарева, К.П. Хансон, Е.Ф. Давиденкова, Е.А. Жербин, *Мед. радиология* 1981 № 11, 45
29. P.J. Tuan, M.A. Davis, D.L. Melchior, *Biochim. Biophys. Acta* 1 (1983) 106
30. S.E. Seltzer, P.M. Shulkin, D.E. Adams, M.A. Davis, G.B. Hoey, R.M. Hopkins, *Amer. J. Roentgenol.* 143 (1984) 575
31. N.J. Payne, *C. Biol.*, M.J. Biol, G.H. Whitehouse, *Brit. J. Radiol.* 60 (1987) 535
32. К.П. Хансон, О.А. Розенберг, М.Т. Алиякпаров, А. Губарева, Л.В. Лошакова, Е.В. Фомина, Е.Ф. Давиденкова, Е.А. Жербин, *Вопр. онкол.* 28 1982 35
33. О.А. Розенберг, К.П. Хансон, М.Т. Алиякпаров, Е.Ф. Давиденкова, *Радиол. диагн.* 26 (1985) 285
34. О.А. Розенберг, В.А. Рогозин, К.П. Хансон, С.К. Терновой, Е.А. Жербин, "Липосомы. Применение в рентгенологии и радиологии", Ленинград, 1984, 34-38
35. А.Н. Россельс, А.А. Бухман, Л.Л. Бахрушева, Н.С. Ковальева, В.Ф. Анторов, Я.Ф. Князев, Я.Ш. Мошковский, Л.А. Пирузян, А.И. Тенцова, *Химико-фарм. ж.* 17 (1983) 52
36. Е.Ф. Давиденкова, Н.К. Терновой, О.А. Розенберг, Л.А. Носкин, Л.В. Лошакова, Я.А. Сулименко, Н.Н. Лихошерст, *Бюлл. эксп. биол. мед.* 97 (1984) 656
37. Н.К. Терновой, Е.Т. Склярченко, Л.Я. Бабичина, О.А. Розенберг, Н.М. Арсененкова, О.И. Ломницкий, Л.В. Лошакова, В.С. Новицкий, *Врач. дело* 1986, № 7, 51
38. M.V. Yawin, A.V. Muhlesteier, *Cancer Res.* 41 (1981) 1602
39. M.V. Yawin *et al.* *Med. Phys.* 9 (1982) 149
40. А.В. Стафанов, В.М. Крейнс, А.В. Дмитриева, В.К. Лшко, *Бюлл. эксп. биол. мед.* 97 (1984) 569
41. Н.Н. Иванова, И.М. Краснопольский, Г.А. Сенников, В.И. Швец, *Вопр. мед. хим.* 2 (1984) 71
42. A.M. Seytonz *et al.* *Trans. Biochem. Soc.* 8 (1980) 550
43. N.C. Phillips, M.L. Moras, L. Chedid, P. Lefrancier, J.M. Bernard, *Cancer Res.* 45 (1985) 128

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИПОСОМ В КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ
Розенберг, О.А., Хансон, К.П., Яноки, Дь.

PROSPECTS OF THE APPLICATION OF LIPOSOMES IN CLINICAL MEDICINE
Rozenberg, O.A., Hanson, K.P., Jánoki, Gy.

KONFERENCIABESZÁMOLÓ

INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACTIVATION ANALYSIS AND ITS APPLICATIONS,
PEKING, 1990, OKTÓBER 15-19.

KORSZERŰ AKTIVÁCIÓS ANALITIKA: AZ ELMÉLETI KUTATÁS ÉS GYAKORLATI ALKALMAZÁS
SZOROS EGYSÉGE

BEVEZETÉS

Az 1961-ben Texasban megkezdett MTAA (Modern Trends in Activation Analysis) konferenciák sorába tartozott volna az 1990-ben Pekingben rendezett aktívációs analitikai világkonferencia is. Az 1989-es pekingi események (a diák-tüntetés vérbefojtása) miatt azonban az MTAA konferenciák rendezéséért felelősséget vállaló nemzetközi bizottság nem járult hozzá, hogy a kínai konferenciát is MTAA néven rendezik meg, s ezért a konferencia elnevezése "International Conference on Activation Analysis and Its Applications"-re (ICAAA) változott. A konferenciát több kínai intézmény és az International Center for Theoretical Physics támogatta¹.

A következőkben - e konferencia előadásaihoz kapcsolódóan - néhány gondolatot kívánok leírni az AA jelenlegi helyzetéről, fejlődési irányairól, a jövő feladatairól. E dolgozat tehát nem részletes konferenciabeszámoló kíván lenni, tematikájában annál többet, a konferencia egyes részterületeit tekintve annál kevesebbet nyújt. Megemlítem egyébként, hogy a konferencián 39 országból több mint 100 szakember vett részt (Franciaországtól az USA-ig, Olaszországtól Koreáig), s a poszterekkel együtt több, mint 150 előadásra került sor. E sorok írója a "Possibilities of Applicability of Prompt Activation Technique in the Food Chemistry" című plenáris előadással szerepelt, s ellátta a biogeokémiai szekció elnöki teendőit. Ugy vélem, hogy ez utóbbi nagy megtiszteltetés volt, hiszen a konferencián az AA szakterület számos "nagyágyuja" (pl. M. Peisach Dél-Afrikából, K. Heydorn Dániából) is részt vett.

Történelmi visszapillantás

Talán nem mindenki előtt ismert, hogy a világon először aktiválós módszerrel a magyar származású, akkor Dániában élő, később Nobel-díjjal is kitüntetett tudós, Hevesy György (illetve ő és munkatársa, H. Levi) alkalmazott 1936-ban ritkaföldfémek meghatározására². Az AA tehát 1936-ban indult el világhódító útjára, s ma már - több, mint fél évszázaddal a kezdetet követően - nyugod-

tan elmondhatjuk, hogy meg is hódította azt. Tulzás nélkül állitható, hogy az AA a nyomelemanalitika területén meghatározó jelentőségű eljárássá fejlődött, s a felhasználhatóságot meghatározó paraméterek (pl. költség, időszükséglet, érzékenység, megbízhatóság) tekintetében felveszi a versenyt a többi, ugyancsak többelemes mikroanalitikai technikákkal (AAS, ICP stb.). Az egyes mikroelemek biológiai mátrixban történő meghatározására javasolt analitikai eljárásokat az 1. táblázat mutatja³.

1. táblázat

Mikroelemek biológiai eredetű anyagokban történő meghatározására javasolható analitikai módszerek

Аналитические методы, предложенные для определения микроэлементов в пробах биологического происхождения

Analytical methods for the determination of microelements in samples of biological origin

Mikroelem	Javasolt analitikai módszer
Aluminium	ICP
Bárium	AAS
Bróm	INAA
Kadmium	RNAA, AAS
Cézium	INAA
Króm	RNAA, AAS
Kobalt	RNAA
Réz	RNAA, ICP, AAS
Fluor	IPAA
Arany	RNAA
Jód	RNAA
Vas	INAA, ICP, AAS
Ólom	AAS
Mangán	RNAA
Molibdén	RNAA
Nikkel	AAS
Rubídium	INAA
Stroncium	ICP, AAS
Ón	RNAA
Cink	INAA, AAS

gárzás (felaktiválás) és a mérés. Később azonban az un. prompt méréstechnika egyes változatait is kifejlesztették s alkalmazták, így a továbbiakban ejtünk erről is néhány szót. Egyébként pontosan fél évszázaddal a kiindulópont után - Hevey iránti tiszteletből - az MTAA konferenciát 1986-ban Koppenhágában rendezték⁵.

Prompt technika az AA-ben

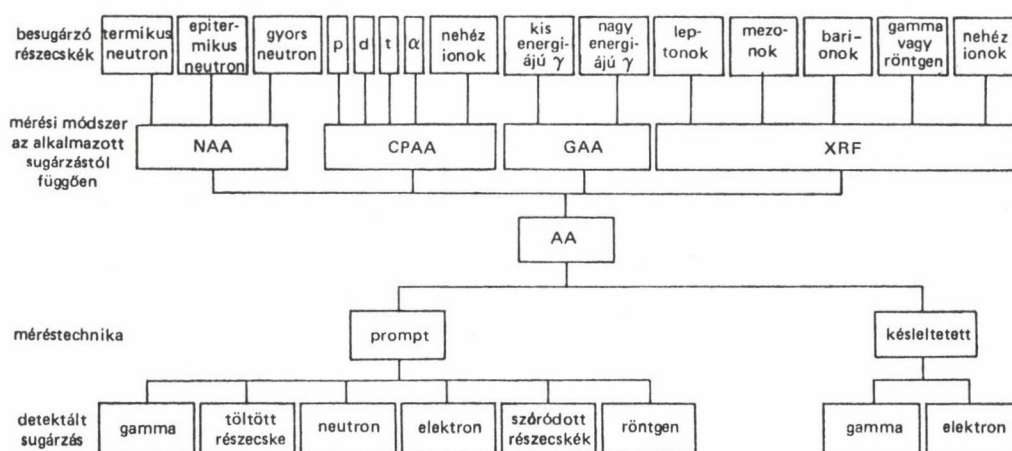
Ismert tény, hogy a klasszikus AA nem alkalmas minden elem meghatározására (illetve egyes esetekben nem alkalmas bizonyos elemek megfelelő érzékenységű mérésére), a következő okok miatt:

- a magreakcióban nem keletkezik radioaktív, illetve γ -sugárzó izotóp;
- a keletkező radionuklid felezési ideje túl rövid, vagy túl hosszú.

Annak jellemzésére egyébként, hogy a szerves mikroösszetétel-vizsgálatára mennyire elterjedt az AA, álljon itt a következő példa⁴. Az IAEA-A-11 jelű standard minta (tejpor) 14 elemre - K, Ca, P, Cl, Na, Mg, Zn, Rb, Fe, Cu, Mn, Se, Co, Hg - kiterjedő vizsgálatában 24 ország laboratóriumai vettek részt. Az alkalmazott 9 méréstechnika közül a NAA volt a legelterjedtebb (42,5%), ezt követte az atomabszorpciós spektroszkópia (20,9%), a tömegspektrometria (18,4%) és az XRF-technika (7,5%). Az összes többi analitikai eljárás együttesen is csak 10,6%-ot képviselt.

A Hevesy által alkalmazott NAA un. klasszikus aktivációs technika volt, ami a magreakcióban keletkező aktivizotóp γ -sugárzásának mérésén alapul, azaz időben és térben is elválik a besu-

Ilyen esetekben - feltételezve természetesen, hogy az adott feladat megoldásához nukleáris mérés technikát kívánunk alkalmazni - lehet célszerű a prompt AA módszeréhez folyamodni. Ilyenkor mérhetjük a magreakciókat kísérő prompt γ -sugárzást vagy pl. a magreakciókban keletkező prompt töltött részecskéket (pl. α stb.) is. Sőt, az AA fogalmát szélesebb értelemben használva - azaz ide sorolva nem csupán a magreakciókon, hanem a gerjesztésen alapuló eljárásokat is - lényegében a prompt AA módszereihez tartozik az XRF (X-ray fluorescence, X-ray emission) s a PIXE (particle-induced X-ray emission) technika is. Az AA módszereinek egy lehetséges csoportosítását az 1. ábra mutatja⁶.



1. ábra

Aktivációs analitikai módszerek
Активационно-аналитические методы
Activation analytical methods

Fejlődési irányok az AA-ben

Girardi véleményével⁷ egyetértve úgy vélem, hogy az AA módszereinek fejlődése lényegében 3 nagyobb szakaszra bontható. Az első szakasz volt az ún. hőskor, amely kb. 1960-ig tartott. Ezen több, mint 2 évtized alatt többé-kevésbé tisztázódtak az elméleti alapok, s az AA bebizonyította, hogy a nyomelemvizsgálatok területén rendkívül érzékeny mérésekre is képes. A második korszak mintegy 1970-ig tartott, ez volt az intenzív fejlődési periódus. Erre a legkülönbözőbb mérés technikák kifejlődése és tökéletesedése, a komputerizálódás volt jellemző. A harmadik pedig a jelenleg is tartó szakasz, a felnőtté válás korszaka, amelyet a mérés technika egyre szélesebb körben való elterjedése, az alkalmazási lehetőségeket bizonyító egyre nagyobb számú publikáció fémjeléz.

Ha egy vizsgálati eljárás felnőtté válik, akkor ezt egyértelműen az bizonyítja, hogy egyre több szakanyag foglalkozik a gyakorlatban való alkalmazás kérdéseivel, s ezzel párhuzamosan fokozatosan csökken az elvi kérdéseket, a metodikai problémákat tárgyaló cikkek aránya. Az AA felnőtt voltát jelzi pl. az a tény, hogy az 1986-ban tartott MTAA konferencián összesen 80 előadás fog-

lalkozott metodológiai kérdésekkel, ugyanakkor a gyakorlati alkalmazás témakörét 89 előadás tárgyalta. Még inkább eltolódtak az arányok a gyakorlati felhasználás irányába a 4 évvel későbbi, kínai konferencián - amely már nevében is utalt az alkalmazás meghatározó szerepére -, hiszen az előadások több, mint 2/3 része az aktivációs módszereknek kifejezetten a gyakorlati élet s a tudományos kutatás legkülönbözőbb területein való felhasználásáról szólt, a geológiától az orvostudományokig, a régészettől a táplálkozásbiológiáig. Ezen utóbbi állítás alátámasztására - csupán illusztrációként, s messze nem törekedve teljességre - felsorolok néhány, az AA eljárásaink felhasználását igazoló előadást:

F.A. El-Amri, H.E. El-Saltani, I.A. Ashour:

Determination of trace elements in normal and diabetic whole blood by neutron activation analysis⁸

Chen Linliang, Wang Xiaoling:

Neutron activation analysis of rhenium in rocks⁹

M. Peisach, C.A. Pineda, L. Jacobson, J.H.N. Loubser:

Analytical study of Namibian pottery from Soutpansberg¹⁰

S.M. Al-Joboori, M.B.H. Al-Bedri, H.A.A. Hassan:

Trace and toxic element determination in drinking water of Iraq by neutron activation analysis¹¹

G.D. Kanas:

Nutrient and other trace elements in instant soups¹²

Aktivációs analitikai kutatómunka és vizsgálatok Kinában

Ugy gondolom nem volt véletlen, hogy a konferenciát Kinában rendezték, hiszen e téren Kína komoly hagyományokkal és kiterjedt intézményhálózattal rendelkezik. Némi támpontul szolgál e kérdés megítélésére az a tény is, hogy az előadások csaknem pontosan 1/3 részét (52 előadás) tartották kínai szakemberek.

Az AA térhódítása az 50-es évek végén indult meg Kinában az első nehéz vizes kutatóreaktor üzembehelyezésével, majd a neutronaktivációs vizsgálatok kibővültek a töltött részecskékkel történő aktiválás tanulmányozásával a 60-as években, amikor már ciklotron sugárforrás is rendelkezésre állt. A 70-es években pedig kis gyorsítók és neutrongenerátorok szélesebb körű használata számos egyetem és kutatóhely számára is lehetővé tette az aktivációs analitikával kapcsolatos kutatómunkát. Természetesen a fejlődés nem csupán a sugárforrások, de a mérő és értékelő rendszerek tökéletesedésén is lemérhető volt. A 80-as évekre számos helyen korszerű, sokcsatornás analizátorok, Ge(Li) és Si(Li) detektoros mérőhelyek álltak rendelkezésre.

A jelenlegi kutatómunka főleg a reaktorneutron AA, a gyorsneutron AA, a CPAA és a PAA (photon AA) területén folyik, az alkalmazások pedig elsősorban - a hagyományos ipari (pl. félvezetőipar) területek mellett - a geológia, a biológia és a környezetvédelem irányába mutatnak.

Néhány kiragadott példával szeretném illusztrálni - kínai előadók munkája alapján - az utóbb leirtakat.

A 2. táblázat a kínai referencia-hajminta összetételéről tájékoztat¹³.

2. táblázat

Kínai referencia-hajminta összetétele, $\mu\text{g/g}$ száraz anyag

Состав китайской референтной пробы волоса, $\mu\text{кг/г}$ сухого вещества

Certified values for the Chinese hair reference material (in $\mu\text{g/g}$ dry weight)

Elem	Tartalom	Elem	Tartalom
Ag	(0,35)	La	(0,014)
Al	13,3 \pm 2,3	Mg	105 \pm 6
As	0,59 \pm 0,07	Mn	2,95 \pm 0,20
Ba	(5,41)	Mo	(0,58)
Br	0,602	Na	266 \pm 12
Ca	1090 \pm 72	Ni	3,17 \pm 0,40
Cd	0,095 \pm 0,012	P	(184)
Cl	(152)	Pb	7,2 \pm 0,7
Co	0,135 \pm 0,008	S	(4,69%)
Cr	4,77 \pm 0,38	Sb	(0,21)
Cu	23,0 \pm 1,4	Sc	(0,00287)
Fe	71,2 \pm 6,6	Se	0,58 \pm 0,05
Hg	2,16 \pm 0,21	Sr	4,18 \pm 0,14
I	(0,875)	V	(0,069)
K	(11,8)	Zn	189 \pm 8

A 3. táblázat az egészséges és rákos emberi agyszövet elemi összetételét mutatja¹⁴.

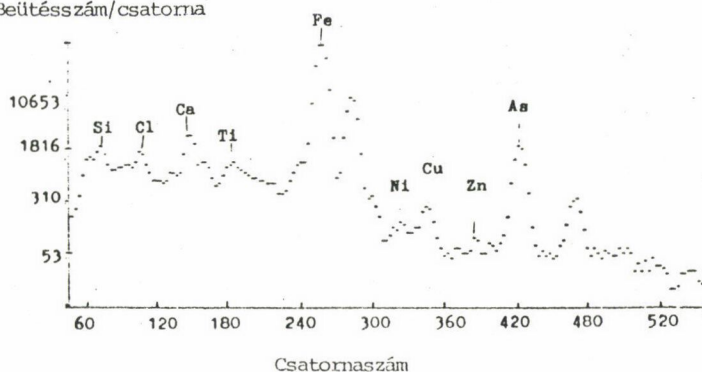
A 2. ábrán egy grafitminta jellegzetes PIXE spektruma látható¹⁵.

A konferencia során - félnapos látogatás keretében - lehetőség nyílt az AA két kínai fellegvára egyikének, a Kínai Atomenergiaintézetnek, vagy a Nagyenergiájú Fizikai Intézetnek megtekintésére. Én az előzőt választottam, a főváros központjától mintegy 60 km távolságra elhelyezkedő, saját lakóteleppel és szakiskolával rendelkező, mintegy 4500 főt (teljes létszám) foglalkoztató intézet látogatásán vettem részt. Az intézetet Sun Zuxun professzor, igazgató mutatta be. Az 1950-ben létrehozott intézményben jelenleg kb.

700 vezető kutató és mérnök, s további 1000 fős kutató- és mérnökgárda dolgozik, mintegy 1200 technikus és szakmunkás mellett^{16,17}.

Az intézetben számos területen igen magas szintűnek értékelhető K+F folyik. Jellemző adat, hogy az intézetnek 3 kutató reaktora, 10 gyorsítója ezen kívül számos korszerű berendezése - pl. elektromágneses izotópszeparátora, nagy teljesítményű számítógépei, hidegneutron-forrása van.

Beütésszám/csatorna



2. ábra

Grafitminta jellegzetes PIXE-spektruma

Характеристический спектр PIXE пробы графита

Characteristic PIXE spectrum of a graphite sample

3. táblázat

Egészséges és rákos emberi agyszövet összetétele (átlag+relatív S.D. µg/g szárazanyag)

Состав здоровой и больной раком ткани человеческого мозга (средние значения и относительное стандартное отклонение, мкг/г сухого вещества)

The concentrations of elements in normal brain and malignant human brain tumours (mean values and relative standard deviation µg/g dry material)

Elem	Normális agy	Agytumor	Elem	Normális agy	Agytumor
Se	0,569±0,17	1,12±0,22	K	13 100±1500	4900±2240
Cl	6420±831	4640±2110	Hg	0,158±0,087	0,237±0,22
Mn	1,16±0,43	3,59±2,40	Cr	0,80±0,53	0,58±0,56
Na	6164±733	6165±2394	Sc	0,002±0,0001	0,007±0,006
Cu	25,8±6,9	38,5±22,5	Rb	22,2±7,0	11,2±6,3
S	9830±3700	9470±3970	Fe	224±34,6	539±402
Br	3,27±1,16	7,48±3,13	Zn	41,3±5,61	81,9±20,6
Mg	700±102	677±177	Co	0,035±0,006	0,062±0,008
Ca	241±152	1920±2040			

Kinában egyébként azámos más helyen is folyik érdemi aktivációs analitikai kutatás. A fontosabbak a következők:

- Institute of Applied Nuclear Technique, Chengdu
- Huazhong Agricultural University, Wuhan
- Northwest Institute of Nuclear Technology
- Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing
- Shanghai Institute of Nuclear Research, Shanghai
- Institute of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing
- Institute for Standardization of Nuclear Industry, China
- Institute of Modern Physics, Lanzhou
- Institute of Nuclear Science and Technology, Sichuan University, Chengdu

Mi várható a jövőben

Ilyen kérdésre mindig izgalmas választ keresni. A válasz felelősségteljes feladat is, a legjobb szándék ellenére is magában hordja a tévedés valószínűségét, e valószínűség annál nagyobb, minél távolabbra akarunk extrapolálni.

Várható, hogy a jövőben egyre inkább teret hódítanak a prompt mérés-technika legkülönbözőbb változatai¹⁸, ezen belül az egészen kis anyagmennyiségek (10^{-14} - 10^{-18} g) mérésére pedig a nagy tömegű, töltött részecskékkel végzett besugárzási módszer. Új, fejlődő területnek értékelem a rövid felezési idejű radioizotópok mérés-technikáját, s - úgy tűnik - egyre inkább megéri a helyzet az "in vivo" AA széles körű orvosi alkalmazására is. Egészen kis sugárterhelés mellett pl. jól mérhető a test Cd-tartalma, és nyomon követhetők a csonthatozat ásványi anyagában végbemenő változások is^{19,20}. Fejlődés várható az adatfeldolgozásban is, gondolok itt pl. a dekonvolúciós spektrumértékelő eljárások kialakítására és alkalmazására²¹. Abból adódóan egyébként, hogy az AA

számos mérési eljárása nem igényli a nagy berendezéseket, hanem kis helyigényű, hordozható izotópforrásokkal is elvégezhető, úgy vélem, hogy a gyors, roncsolásmentes aktivációs analitikai módszerek a jövőben fontos szerepet fognak betölteni az ipari és élelmiszer-gazdasági méréstechnika számos területén.

Arra a kérdésre pedig, hogy mit hoz a közeljövő, a választ a 8. MTAA konferencia fogja megadni, amelyre 1991. szeptemberében, Bécsben kerül majd sor²².

IRODALOM

1. International Conference: Activation Analysis and Its Applications. 15-19 Oct., 1990. Beijing, China, Division of Activation Analysis and Radioanalysis, Abstracts, 318, 1990.
2. G. Hevesy, H. Levi, The Action of Neutrons on the Rare Earth Elements, Copenhagen, Denmark, 1936.
3. Modern Trends in Activation Analysis (MTAA) 7th Int. Conf. Copenhagen, 23-27 June, 1986, Vol. 1-2, p. 1437, Isotope Division, Risø, National Laboratory, DK-4000 Roskilde, 1986.
4. O. Suschny, R. Dybczynski, A. Veglia, Comparison of NAA with Other Analytical Techniques for the Determination of Inorganic Constituents of Milk Powder, J. Radioanal. Chem., 69 (1982) 147
5. K. Heydorn, NAA for Clinical Trace Element Research, CRC Press, Boca Raton, 1984
6. Szabó S.A., Aktivációs analízis az élelmiszer-kémiában, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1986
7. F. Girardi, Radioactivation Analysis, Past Achievements, Present Trends and Perspective for the Future, J. Radioanal. Chem., 69 (1982) 15
8. F.A. El-Amri, H.E. El-Saltani, I.A. Ashour, Determination of Trace Elements in Normal and Diabetic Whole Blood by NAA, ICAAA, Oct. 15-19, Beijing, China, Book of Abstracts 46, 1990.
9. Chen Yinliang, Wang Xiaoling, NAA of Rhenium in Rocks, ICAAA, 15-19 Oct., 1990, Beijing, China, Book of Abstracts, 28
10. M. Peisach, C.A. Pineda, L. Jacobson, J.H.N. Lobser, Analytical Study of Namibian Pottery from Soutpansberg, ICAAA, 15-19, Oct., 1990, Beijing, China, Book of Abstracts, 160
11. S.M. Al-Joboori, M.B.H. Al-Bedri, H.A.A. Hassan, Trace and Toxic Element Determination in Drinking Water of Iraq by NAA, ICAAA, 15-19 Oct., 1990, Beijing, China, Book of Abstracts, 1
12. G.D. Kaniyas, Nutrient and Other Trace Elements in Instant Soups, ICAAA, 15-19 Oct. 1990, China, Beijing, Book of Abstracts, 76
13. Cheng Yuandi, Wang Yuepeng, Qian Yine, Zhang Yuanxun, Tan Ming Guang, Preparation and Certification of the Human Hair Reference Material, ICAAA 15-19 Oct. 1990, Beijing, China, Book of Abstracts, 29

14. Zhuang Guisun, Wang Yinson, Tan Mingguang, Zhi Min, Wang Yong jia, Preliminary Study of Trace Elements in Human Brain Tumour Tissues by INAA, ICAAA 15-19 Oct. 1990, China, Beijing, Book of Abstracts, 295
15. Zhong Ming, Feng Songlin, Liu Nianqing, Ren Minqin, Zhang Yiaofeng, Yan Lingna, Wang Yu, Han Qiyong, PIXE Analysis of Chemical Composition of Graphite Phase in Cast Iron, ICAAA, 15-19 Oct. 1990, Beijing, China, Book of Abstracts, 291
16. Szabó S. A., Utijelentés az "International Conference on Activation Analysis and its Applications" (ICAAA) elnevezésű Pekingben (Kína) tartott konferencián való részvételről. Budapest, KÉE, 1990.
17. China Institute of Atomic Energy (CIAE) , Xing Zhen, Fang Shan District, Beijing, China, 1990, 47
18. M. Peisach, Prompt Nuclear Analysis, J. Radioanal. Chem. 61 (1981) 243
19. W.S. Lyon, In vivo Activation Analysis, Radiochem. Radioanal. Lett. 42 (1980) 1
20. J.E. Harrison, K.G. McNeill, In vivo Activation Analysis for Bone Mineral Measurement, J. Radioanal. Chem. 71 (1982) 479
21. R. Seymour, J. Cox, N.A. Mulvenor, M. Boniar, Using Library-directed Analysis for Singlet and Multiplet Peaks, ICAAA, 15-19 Oct. 1990, China, Beijing, Book of Abstracts, 312-314
22. 8th International Conference on Modern Trends in Activation Analysis (MTAA), Vienna, Austria, 16-20 Sept. 1991.

Szabó S. András

Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem,
Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék, 1118 Budapest, Somlói u.14.

M E G H I V Ó

A MAGYAR ORVOSTUDOMÁNYI NUKLEÁRIS TÁRSASÁG

VII. KONGRESSZUSÁRA

KECSKEMÉT, 1991. augusztus 15-17.

Tisztelt Kolléganő!
Tisztelt Kolléga!A Magyar Orvostudományi Nukleáris Társaság és
a Bács-Kiskun megyei Kórház-Rendelőintézet

KONGRESSZUST rendez

A Kongresszus témájaSzabadon választott
(Kiemelt témakörök: a gyomorbéltraktus és a
tüdő izotópdiagnosztikája.)Helye
Rendezvényterv

Kecskemét, Tudomány és Technika Háza

1991. augusztus 15.	Megnyitó Előadások Hangverseny Fogadás	Nagy Templom Hotel Aranyhomok
augusztus 16.	Előadások Ebéd Előadások Közgyűlés Tanyaparty	Tudomány és Technika Háza Hotel Aranyhomok Tudomány és Technika Háza Tudomány és Technika Háza Lajosmizse Tanyacsárda
augusztus 17.	Előadások Ebéd	Tudomány és Technika Háza Hotel Aranyhomok

Tájékoztató

Részvételi díj:	- résztvevők	1500 Ft
	- 35 éven aluliak	1000 Ft
	- nyugdíjasok	1000 Ft
	- asszisztensek	1000 Ft
	- kísérő családtag	1000 Ft

Kérjük, hogy részvételi szándékát a mellékelt jelentkezési lapok kitöltésével és 1990. február 28-ig történő visszaküldésével jelezni sziveskedjék a rendezőbizottság címére:

Abonyi Gézáne osztályvezető
Bács-Kiskun megyei Kórház-Rendelőintézet
Dokumentációs és Információs Osztálya
6001. Kecskemét, Nyiri ut. 38.

Az előadások összefoglalóit, nyomdai sokszorosítás érdekében, 1991. március 30-ig sziveskedjék küldeni.

A Kongresszus résztvevőit 1991. augusztus 15-én esete a Hotel Aranyhomokban fogadáson látjuk vendégül (a fogadás költségét a részvételi díj tartalmazza).

A részvételi díj és a szállásköltség befizetéséhez szükséges posta utalványokat a résztvevőknek a jelentkezést követően megküldjük. A szállással, étkezéssel, valamint a Kongresszus szervezésével kapcsolatban Abonyi Gézáne a Kórház-Rendelőintézet Dokumentációs és Információs Osztályának vezetője, a tudományos előadásokkal kapcsolatban Dr. Galuska László főorvos a Kórház-Rendelőintézet Izotópdiagnosztikai Osztályának vezetője ad felvilágosítást.

Telefon: 20-488

Telex: 26-477

KONGRESSZUSUNKRA SOK SZERETETTEL VÁRJUK.

A Szervezőbizottság nevében:

Abonyi Gézáne
osztályvezetőDr. Galuska László
osztályvezető főorvos

CARDIO-SPECT

^{99m}Tc -PERTECHNETÁTTAL JELEZHETŐ METOXI-IZOBUTIL-IZONITRIL-RÉZ-TETRAFLUOROBORÁT

(Cu(MIBI) $_4\text{BF}_4$)

Kódjel: Tc-JCK-15

Nyilvántartási szám: Ri-104

LEÍRÁS

A gyógyszerkészítmény nitrogén atmoszférában lezárt, steril, pyrogénmentes liofilizátum.

A KÉSZLET TARTALMA

3,6 vagy 12 üveg, amely az alábbiakban megadott összetételű liofilizátumot tartalmazza, 1 db alkalmazási előirat és 3,6 vagy 12 öntapadós, sugárvédelmi emblémával ellátott, a jelzett készítmény paramétereinek feltüntetésére szolgáló címke.

A GYÓGYSZERKÉSZÍTMÉNY ÖSSZETÉTELE

Cu(MIBI) $_4\text{BF}_4$	0,5 mg
Stannosum/II/chloratum	0,3 mg
Acidum-amino-aceticum	16,0 mg
Tetranatrium diphosphoricum decahydratum	5,2 mg
L-cysteinum chloratum	2,0 mg

ALKALMAZÁSI TERÜLET

- iszkémiás szivbetegség diagnosztikája
- miokardiális infarktusz diagnosztizálása és lokalizálása
- szivkamraműködés vizsgálata ("first pass" technikával), az ejectionis frakció meghatározása és/vagy a regionális fal mozgásának vizsgálata

AZ ALKALMAZÁS MÓDJA

i n t r a v é n á s a n

A JELZÉS MÓDJA

A liofilizátumot tartalmazó üveget helyezzük 3 mm falvastagságú ólomtokba, majd aszeptikus körülmények között, a gumidugó átszurásával, steril injekciós fecskendővel fecskendezzünk az üvegbe 2-3 cm³ ^{99m}Tc -pertechnetátot, melynek aktivitása 370-5550 MBq. Mielőtt levennénk a fecskendőt, szívjunk ki az üvegben lévő nitrogén gázból 2-3 cm³-t nyomáskiegyenlítés céljából. Ne használjunk levegőző tűt. Az ampullát 10 percig forrásban lévő vízfürdőn forraljuk, majd 15 percig szobahőmérsékleten állni hagyjuk. Mérjük meg a radioaktivitást, és számoljuk ki az injektálandó mennyiséget. Töltsük ki a mellékelt címkét, és ragasszuk az üvegre. A jelzett vegyületet 6 órán belül kell felhasználni. Ez időn belül a jelzett készítmény legalább 90%-ban ^{99m}Tc -MIBI-t tartalmaz.

ADAGOLÁS

A javasolt dózisok 70 kg átlagsúlyu felnőltre vonatkozóan a következők:

a/ iszkémiás szivbetegség és miokardiális infarktus esetében 185-750 MBq. Egy ampulla jelzett készítmény általában 3-4 beteg vizsgálatához elegendő.

b/ Szivkamra működésének vizsgálata: 740-925 MBq.

Mindkét esetben a beadás bólusszerű legyen. A szivkamraműködés vizsgálata általában kísézője az iszkémiás szivbetegség vagy amio-kardiális infarktus diagnosztizálásának. Az iszkémiás szivbetegség diagnosztizálására általában két injekciót használunk, ezek összaktivitása nem lehet több, mint 925 MBq. Az egyik injekciót nyugalomban, míg a másikat terhelés után adjuk. Az első vizsgálat általában a terhelés utáni, de a sorrendet a vizsgáló orvos dönti el. A két vizsgálat között minimum 6 órának kell eltelnie.

ELLENJAVALLAT

Radionuklidot tartalmazó készítmény nem adható terhes anyáknak vagy olyan betegeknek, akik a 18. életévüket még nem töltötték be. Szoptató anyáknál, ha a vizsgálat elkerülhetetlen, a vizsgálat befejezése után 48 óráig az anya nem szoptathat, mert a jelzett vegyület a tejjel kiválasztódik. Ilyenkor gyermektápszerrel vagy idegen anyatejjel táplálható a gyermek. Nőknél a vizsgálatot a menstruáció utáni első 10 napban végezzék.

JAVASOLT METODIKA

A beadás módja: intravénásan, bólusszerűen. A vizsgálandó személy a vizsgálatokat megelőző négy órában nem ehet, a radiofarmakon beadása után könnyű ételmezt kell fogyasztania, ezzel elősegítve a radioaktív anyag szervezetből való kiürülését. A felvételeket a beadást követő 1-2 órában kell elkészíteni nyugalmi vizsgálatoknál, míg a terheléses vizsgálatok esetében a terhelés után 1/2-2 órában.

FIGYELEM: A radiokémiai szennyezők összmenyisége a 10%-ot nem haladhatja meg: ha ennél több, tilos felhasználni.

Mind a miokardiális infarktus, mind az iszkémiás szivbetegség diagnosztizálásakor planáris vagy tomográfiás felvétel készíthető, egyidejű EKG vizsgálattal. A planáris felvételeket a szokásos három irányból (anterior, LAO 45°, LAO 70°) tízperces felvételi idővel kell elkészíteni. A tomográfiás felvételeket 40 másodperces időközönként kell elkészíteni. A szivkamraműködés vizsgálatánál ugyanazt a technikát kell alkalmazni, mint a technéciumos "first pass" ejekciós tanulmányoknál szoktuk.

VÁRHATÓ SUGÁRTERHELÉS

Szerv	Nyugalmi állapot	Terhelési állapot
	mGy/MBq	mGy/MBq
Epehólyag	0,026	0,025
Vékonybél	0,027	0,022
Vastagbél	0,050	0,040
Végbél	0,036	0,029
Szívfal	0,004	0,005
Vese	0,018	0,015
Máj	0,005	0,004
Tüdő	0,002	0,002
Lép	0,005	0,004
Pajzsmirigy	0,007	0,006
Ovarium	0,014	0,012
Testis	0,003	0,003
Csontvelő	0,004	0,004
Hólyag	0,036	0,027
Teljes szerv	0,004	0,004

TÁROLÁS

Oxidálószerektől és fénytől védve, hideg helyen (2-8°C) hűtőszekrényben tartandó.

LEJÁRATI IDŐ

- a/ A jelzett készítményt a jelzés időpontjától számított 6 órán belül fel kell használni.
- b/ A készlet a gyártástól számított 3 hónapig, a készlet dobozán feltüntetett időpontig használható fel.

MEGJEGYZÉS

Mind a jelzés, mind a felhasználás során a sugárvédelmi előírások betartása kötelező.

MEGRENDELÉS

IZINTA

AZ IZOTÓPKUTATÓ INTÉZET KERESKEDELMI LEÁNYVÁLLALATA
Budapest, XII. Konkoly-Thege Miklós ut 29-33, 1121

TELEFON: 169-8566
169-9499
169-5076

TELEFAX: 175-8456
156-5045

TELEX: 22-3333 att izinta
22-5360 izot h

1309. 024

itd¹⁹⁹⁰₁₋₄

izotöptechnika, diagnosztika

33. évfolyam

TARTALOMJEGYZÉK

1-2. SZÁM

Beszámoló a radiofarmakonok nem várt mellékhatásáról és minőségi hibájáról az Országos Gyógyszerészeti Intézet-hez 1988-ban beérkezett reklamációkról Rakiás F., Bodor E-né	1
IODOBELL [®] ¹²³ I-MIBG készlet radiokémiai vizsgálata Rakiás F., Bodor E-né	5
A TÁPCSATORNA MOTILITÁSÁNAK RADIOIZOTÓPOS VIZSGÁLATA A MAGYAR GASTROENTEROLÓGIAI TÁRSASÁG IZOTÓPDIAGNOSZTIKAI SZEKCIÓJÁNAK ÜLÉSE, BUDAPEST, 1989. január 26.	19
BEVEZETÉS	21
I. PATOFIZIOLÓGIA, KLINIKUM	23
A nyelőcső funkcionális betegségeiről Kiss J.	23
A felső emésztőtraktus motilitászavarai Simon L., Régi Cs.	26
Az epeuti motilitás néhány kérdéséről Szántó I.	30
II. IZOTÓPDIAGNOSZTIKA, VIZSGÁLÓ MÓDSZEREK	33
A nyelőcső-motilitás radioizotópos vizsgálata Pasztarak E.	33
Az epeutak motilitási zavarainak radioizotópos vizsgálata Juhász L.	36
A SZIMPÓZIUM VITÁJÁNAK ÖSSZEFOGLALÓJA Szilvási I.	38

MUNKAEGÉSZSÉGÜGYI, KÖZEGÉSZSÉGÜGYI ÉS SUGÁREGÉSZSÉGÜGYI KUTATÁSOK, A MTESZ IFJUSÁGI TANÁCSA TÁMOGATÁSÁVAL AZ ORSZÁGOS KÖZEGÉSZSÉGÜGYI INTÉZET RENDEZÉSÉBEN 1989. SZEPTEMBER 29-ÉN TARTOTT V. TUDOMÁNYOS KONFERENCIA	41
E L Ő A D Á S O K K I V O N A T A I	
A tumornekrózis-faktorok szintézisének indukciója egérben Kocsis K., Kovács I., Takács A.	45
Citokinindukció besugárzott szervezetben Kovács I., Kocsis K., Köteles Gy.	46
Mikronukleusz-képződés OH' gyökfogók jelenlétében besugárzott emberi limfocitákban Kormos Cs., Köteles Gy.	47
DNS-hibajavitást befolyásoló tényezők vizsgálata Karcagi V., Püspöki J., Vincze I.	48
Csökkentett glutathiontartalmu sejtek sugárzérzékenységeinek vizsgálata Rétlaki M., Gázsó L.G., Dám A.M.	49
Az antivirális állapot kialakulását megelőző molekuláris változások Markovits A.	50
A proflavin és glikozidjainak in vitro genotoxikológiai vizsgálata Kelecsényi Zs.	51
Szexhormonok hatása a lipidmetabolizmusra Wachnik A., Biró L.	52
Kloramfenikol meghatározása állati szövetekből Bencsik K.	52
A koleszterin spontán oxidációjával keletkező vegyületek biológiai hatásai, előfordulásuk élelmiszerben Kertészné Lebovics V.	53
Anyatej-hamisítás kimutatása zsírsavösszetétel alapján Nyircsák K., Czuczay P., Gaál Ö.	53
A hazai sugáregészségügy néhány megoldandó problémája Jung J.	54
Sugárveszélyes munkahelyek számítógépes nyilvántartása Jung J.	54
Szerves oldószer metabolitjainak biológiai hatása és a kimutatásuk lehetősége humán expozíció esetén Legoza J., Biró Zs.	55
A magyar lézer-biztonságtechnikai szabvány előkészítése Bakos J., Szabó D.L.	56
Monitorok egészségkárosító hatásai, a védelem lehetőségei, különös tekintettel az elektromágneses és az elektrosztatikus terekre Jánossy G., Gáspár S., Szabó D.L.	56

Budapest belváros benz/A/pirén szennyezettségének alakulása a forgalomkorlátozás hatására Bejczy K., Kertész M.	57
Kombinált talajhigiénés normák kidolgozásának kísérleti és vizsgálati módszerei Farkas H.	57
A Monorierdei talajszennyezés hatásának kísérletes toxikológiai vizsgálata Mayer G., Farkas H.	58
A sugársterilizálás hatása különféle típusú műanyagokra Sipos M., Adamis Z-né	59
Emberi csontszövetminták ^{90}Sr -tartalmának sugáregészségügyi értékelése Turai I., Sztanyik B.L., Stur D.	59
A hazai népesség jódeállottsága javításának sugáregészségügyi fontosságáról Turai I.	60
Az NK-370 típusú gamma-spektrométer adatfeldolgozó rendszerének továbbfejlesztése Giczi F., Urbán M., Somlósi J.	61
3. RÖNTGENEMISSZIÓS ANALITIKAI SZEMINÁRIUM, VESZPRÉM, 1989. NOVEMBER 27-29	63
BEVEZETÉS Bacsó J.	66
A totális reflexió alkalmazása a röntgenemissziós analízisben (Irodalmi áttekintés) Bacsó J.	67
Új foton- és részecske-detektálási elvek és módszerek (Kriogenikus detektorok) Kalinka G.	77
Kis rendszámú fő komponenseket tartalmazó minták izotópperjesztésű röntgenfluoreszcenciás vizsgálata Méray L.	89
Röntgensöves gerjesztés ED röntgenspektrométerekben, eredmények és lehetőségek Kis-Varga M.	95
Si(Li) detektorok hűtési lehetősége Joule-Thomson-effektus felhasználásával Máthé Gy.	104
Izotópperjesztésű, szekunder targetes forrás tervezése félvezető detektoros röntgenspektrométerekhez Kalinka G.	107
PIXE-indukált röntgenfluoreszcencia és alkalmazásai Szőkefalvi-Nagy Z., Demeter I., Le Huong Quynh	114
Energiadisziperzív röntgenemissziós analitika alkalmazása biológiai és geológiai minták elemösszetételének a meghatározására Uzonyi I.	120

Katalizátorok ritkaföldfém-tartalmának meghatározása Csikósné Hartványi Zs., Mándy T.,	127
Elektron-mikroszondás mennyiségi elemzés: módszerek és alkalmazások a geokémiai kutatólaboratóriumban Nagy G.	133
Mikroszkópikus részecskék elemzése szinkrotronsugár- zás keltette röntgenfluoreszcenciával (SRXRF) és e- lektron-mikropróba analizissel (EPMA) Török Sz., Sándor Sz.,	140
Niobium-93m neutronindikátorok aktivitásának meghatá- rozása Szalóki I., Szegedi S., Váradi M., Buczkó M., Pázsit A., Divós F.	146
⁵⁵ Fe aktivitás meghatározása XRF berendezéssel Gresits I., Ormai P., Solymosi J., Nagy L.Gy.	151
ATOMKI REA-BERENDEZÉS ÜZEMELTETŐINEK LISTÁJA	155
A REA SZEMINÁRIUM RÉSZTVEVŐINEK LISTÁJA	157

3. SZÁM

Nagy felbontású PIXE kristállyspektrométerrel Török I.	161
Kovászna (Székelyföld - Románia) szén-dioxid-tartal- mu "gözlőinek" természetes radioaktivitása Szabó E.	171
A radioizotópos nyomjelzéstechnika ipari alkalmazása Albániában (1983-88) J. Thereska, T. Cuci, P. Spahiu, E. Plasari	181
A talajviz mozgásának érzékeny és gyors felderítési módszere: a radioizotópos nyomjelzéstechnika Baranyai L.	191
NUKLEÁRIS KÖRNYEZETVÉDELEM RADIOANALITIKAI MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI, VERŐCEMAROS, 1990. OKTÓBER 3-5.	197
E L Ő A D Á S K I V O N A T O K	
A KFKI nukleáris környezetellenőrzési K+F programja Fehér I.	199
Gamma-spektrometriai módszer a kihullott radioaktivi- tás talajbeli eloszlásának gyors meghatározására Zombori P., Németh I., Andrásí A.	199
Nukleáris környezetellenőrzés a KFKI-ban Lőrinc M., Lancsarics Gy., Sági L.	200
Környezeti radioaktivitás mérési eszközei, módszerei, eredményei a FM radiológiai hálózatában Kiss B., Tóth V-né, Tarján S.	201

$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ aktivitáscarány meghatározása csernobili eredetű radioaktív szennyeződés tartalmú aeroszol mintákban, kémiai elválasztás nélkül Papp Z., Daróczy S., Dezső Z., Pázsit Á., Nagy J.	201
Környezeti minták α -aktivitásának mérése szilárdtestnyomdetektorral Kocsis Zs., Lengyel T., Somlai J.	202
Instabilitás tríciumos betonminták gázátáramlásos számlálóval való mérésénél, a mérések kiértékelése Gaál S., Házi E., Bérci K.	203
A hasadási termékek aktivitáscsökkenésének vizsgálata Solymosi J., Zagyvai P., Nagy Lajos Gy., Baumler E.	203
Gamma-spektrumkiértékelő programrendszer IBM AT kompatibilis számítógépen Zagyvai P., Gujgiczer Á., Zsille O., Hartmann P., Solymosi J., Nagy Lajos Gy.	204
Béta-sugárzó radioaktív izotópok felületi és térfogati radioaktív koncentrációjának mérése intenzív gamma-háttérben Solymosi J., Zagyvai P., Gujgiczer Á., Nagy Lajos Gy. Pintér T.	205
"BNS-90" sugárszennyezettség-mérő műszer Baumler E., Sarkadi A., Gujgiczer Á., Solymosi J., Zagyva P.	206
Nukleáris detektorok előállítása és alkalmazása személyi és környezetvédelmi műszerekben Erdélyi K.	207
A paksi atomerőmű nukleáris környezetellenőrzése	
I. Az alkalmazott főbb berendezések és módszerek Virágh E.	208
II. A folyékony és légnemű kibocsátás ellenőrzésének eredményei 1989-ben Valent G., Ormai P.	209
III. A környezetellenőrzés eredményei 1989-ben Barnabás I., Germán E.	210
Mérőberendezés atomerőmű primer és szekunder köre közötti szivárgás ellenőrzésére Bódis D., Dési S., Fehér Á., Molnár F., Pataki Gy., Vajda N., Pintér T.	210
A környezeti levegő tríciumtartalmának vizsgálata Csaba E., Uchrin Gy., Kozák J.	211
Atomerőművi levegőtisztító berendezések (jód-szűrők) in situ impregnálása Gimesi O., Segesváry G., Ormai P., Pungor E.	212
A talajviz mozgásának érzékeny és gyors felderítési módszere: a radioizotópos nyomjelzéstechnika Baranyai L.	213
Radioizotópok migrációja talajban Baranyai L., Pentz G., Koppány Zs.	213

Radioaktív cézium-ionkoncentráció eloszlása szervesen ioncserélő oszlopon Pátzay Gy., Tóth B.	214
Az ^{110m}Ag , K, Al, Ca és Fe kémiai formájának vizsgálata talajban, különböző extrakciós módszerekkel Guczi J., Kerekes A., Bulman, R.A. Szabó Gy.	214
$^{110m}\text{Ag}(\text{I})$ és $^{125}\text{I}(-\text{I})$ adszorpciós tulajdonságainak vizsgálata kémiaileg kötött huminsavas gélen Guczi J., Angelova, A., Bulman, R.A., Szabó Gy.	215
Vas és kobalt meghatározása elektrokémiai módszerekkel "szabad szintű" radioaktív vizekben Szentgyörgyi P., Rakiás F., Bodor E-né	216
Különböző szénpernyefrakciók neutronaktivációs analitikai vizsgálata Baranyainé Fliszár R., Sziklainé László I., Rausch H., Zemplénné Papp É.	217
Szálló szénpernye, mint környezetszennyező hulladék: toxikus elemek eloszlása különböző pernyefrakciókban Rausch H., Sziklainé László I., Baranyainé Fliszár R., Sándor Sz., Zemplénné Papp É.	217
HIR	
Anyagszigetelés nagy aktivitású radioaktív hulladéktárolókhoz Nagy G.	219
4. SZÁM	
Asztácium előállítása a debreceni MGC-20E ciklotronnal Szücs Z., Szelecsényi F.	221
Összehasonlító SPECT és Planar γ -kamerás vizsgálatok ^{99m}Tc -mal jelzett 2-metoxi-izobutil-izonitril és tercier-butyl-izonitril radiofarmakonokkal posztinfarktusos betegeken Horváth M., Pszota Á., Kármán M., Szalai M., Németh L., Környei J.	227
Az atomerőmű hatósági környezeti sugárvédelmi ellenőrző rendszerének eredményeiről, 1989 Kanyár B.	237
$^3\text{H}/^{14}\text{C}$ kettős jelölés alkalmazása szteroidok identifikálására Szécsi M., Tóth I., Faredin I.	245
A liposzómák alkalmazásának perspektívái a klinikai orvostudományban O.A. Rozenberg, K.P. Hanszon, Jánoki Gy.	259
KONFERENCIABESZÁMOLÓ Szabó S.A.	267
MEGHÍVÓ A MAGYAR ORVOSTUDOMÁNYI NUKLEÁRIS TÁRSASÁG VII. KONGRESSZUSÁRA	275

SZERZŐI NÉVMUTATÓ

A	Adamis Z-né	1-2	59	H	Hanszon, K.P.	4	259	
	Andrási A.	3	199		Hartmann P.	3	204	
	Angelova, A.	3	215		Házi E.	3	203	
B	Bacsó J.	1-2	65, 67	J	Jánoki Gy.	4	259	
		1-2	56		Jánossy G.	1-2	56	
		3	191, 213, 213		Juhász L.	1-2	36	
	Baranyainé			Jung J.	1-2	54		
	Fliszár I.	3	217, 217	K	Kalinka G.	1-2	77	
	Barnabás I.	3	210		Kanyár B.	4	237	
	Baumler E.	3	203, 206		Karczagi V.	1-2	48	
	Bejczy K.	1-2	57		Kármán M.	4	227	
	Bencsik K.	1-2	52		Kelecsényi Zs.	1-2	51	
	Bérci K.	3	203		Kerekes A.	3	214	
	Biró L.	1-2	52		Kertész M.	1-2	57	
	Biró Zs.	1-2	55		Kertészné			
	Bódis D.	3	210		Lebovics V.	1-2	53	
	Bodor E-né	1-2	1, 5		Kis-Varga M.	1-2	95	
		3	216		Kiss B.	3	201	
	Buczko M.	1-2	146		Kiss I.	1-2	23	
	Bulman, R.A.	3	214, 215		Kocsis K.	1-2	45, 46	
					Kocsis Zs.	3	202	
	C	Cuci, T.	3		181	Koppány Zs.	3	213
		Csaba E.	3		211	Kormos Cs.	1-2	47
Csikósné					Környei J.	4	227	
Hartyányi Zs.		1-2	127		Köteles Gy.	1-2	46, 47	
Czuczy P.		1-2	53	Kovács I.	1-2	45, 46		
D	Dám A.M.	1-2	49	Kozák J.	3	211		
	Daróczy S.	3	201	L	Lancsarics Gy.	3	200	
	Demeter I.	1-2	114		Le Huong Guynh	1-2	114	
	Dési S.	3	210		Legoza J.	1-2	55	
	Dezső Z.	3	201		Lengyel T.	3	202	
	Divós F.	1-2	146		Lőrincz M.	3	200	
E	Erdélyi K.	3	207	M	Mándy T.	1-2	127	
F	Faredin I.	4	249		Markovits A.	1-2	50	
	Farkas H.	1-2	57, 58		Máthé Gy.	1-2	104	
	Fehér Á.	3	210		Mayer G.	1-2	58	
	Fehér I.	3	199		Méray L.	1-2	89	
			Molnár F.	3	210			
G	Gaál S.	3	203	N	Nagy G.	1-2	133	
	Gaál Ö.	1-2	53			3	219	
	Gáspár S.	1-2	56	Nagy J.	3	201		
	Gazsó L.G.	1-2	49	Nagy L.Gy.	1-2	151, 203, 204, 205		
	Germán E.	3	210	Németh I.	3	199		
	Giczi F.	1-2	61	Németh L.	4	227		
	Gimesi O.	3	212	NY	Nyircsák K.	1-2	53	
	Gresits I.	1-2	151					
	Guczi J.	3	214, 215					
	Gujgiczter Á.	3	204, 205, 206					

II

O	Ormai P.	1-2 3	151 209,212	U	Uchrin Gy. Urbán M. Uzonyi I.	3 1-2 1-2	211 61 120
P	Paál T. Papp Z. Pasztarak E. Pataki Gy. Pátzay Gy. Pázsit Á. Pentz G. Pintér T. Pszota Á. Pungor E. Püspöki J.	1-2 3 1-2 3 3 1-2 3 3 4 3 1-2	5 201 33 210 214 146 201 213 205,210 227 212 48	V	Vajda N. Valent G. Váradi M. Vincze I. Virágh E.	3 3 1-2 1-2 3	210 209 146 48 208
R	Rakiás F. Rausch H. Régi Cs. Rétlaki M. Rozenberg, O.A.	1-2 3 3 1-2 1-2 4	1, 5 216 217,217 26 49 259	W	Wachnik A.	1-2	52
S	Sági L. Sándor Sz. Sarkadi A. Segesváry G. Simon L. Sipos M. Solymosi J. Somlai J. Somlósi J. Spahiu, P. Stur D.	3 1-2 3 3 1-2 1-2 1-2 3 1-2 3 1-2	200 140 217 206 212 26 59 151 202 61 181 59	Z	Zagyvai P. Zemplénné Papp É. Zombori P. Zsille O.	3 3 3 3	203,204, 205,206 217,217 199 204
Sz	Szabó D.L. Szabó E. Szabó Gy. Szabó S.A. Szalai M. Szalóki I. Szécsi M. Szegedi S. Szelecsényi F. Szentgyörgyi P. Sziklainé László I. Szilvási I. Szőkefalvi-Nagy Z. Sztanyik B. Szücs Z.	1-2 3 3 4 4 1-2 4 1-2 4 3 3 1-2 1-2 1-2 4	56, 56 171 214,215 267 227 146 249 146 221 216 217,217 21, 38 114 59 221	T	Takács A. Tarján S. Thereska, J. Török I. Török Sz. Tóth B. Tóth I. Tóth V-né Turai I.	1-2 3 3 3 1-2 3 4 3 1-2	45 201 181 161 140 214 249 201 59, 60