

dr. Farkas Istvánné  
Könyvtár  
IV. épület

4 pld.

Vol. 17. No. 3. 1969

KÖZLEMÉNYEK

ОБЩЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ИНСТИТУТА ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

REPORTS OF THE CENTRAL RESEARCH INSTITUTE FOR PHYSICS

Szerkeszti: Ádám András

Редактор: А.Адам

Editor: A. Ádám

MTA KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓ INTÉZET KÖNYVTÁR- ÉS KIADÓI OSZTÁLYA  
БИБЛИОТЕКА И ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО ИНСТИТУТА ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕНГЕРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES  
CENTRAL RESEARCH INSTITUTE FOR PHYSICS LIBRARY AND DOCUMENTATION DEPARTMENT  
BUDAPEST, 114. POB 49.

Technikai szerkesztő: Nagy Imréné  
Megjelent: 1969. jun. 5.

Példányszám: 320  
Rotaszám: 4316

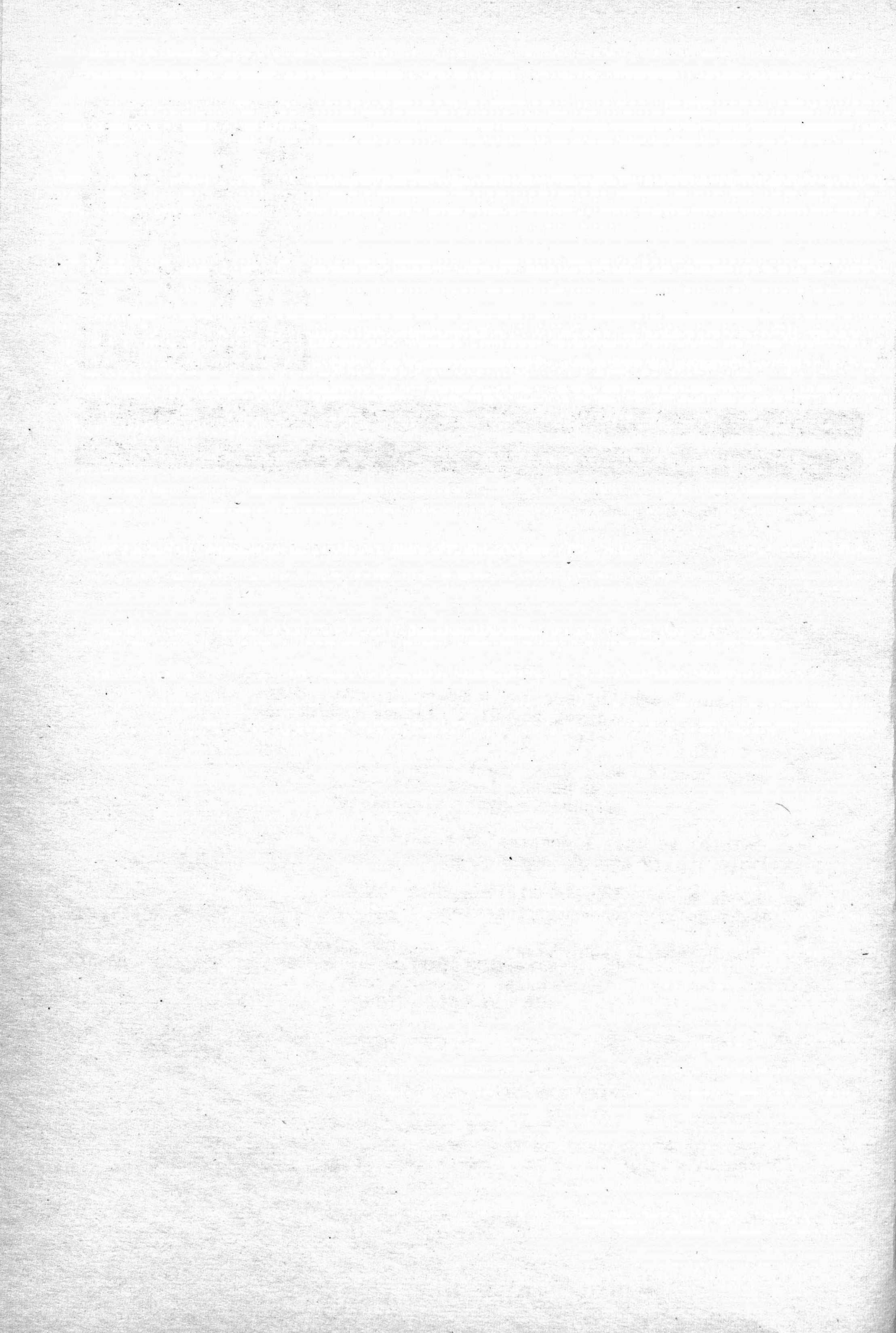
A kiadásért felelős: Jánossy Lajos

Megjelenik: kéthavonta  
Előfizethető a 173.144-52. MNB bevételi számlán  
Előfizetési díj: egyes. szám 5,-Ft, egy évre: 30,-Ft /6 szám/

Vol. 17. No. 3. 1969.

### T A R T A L O M

1. Salamon Tamás: Új módszer a Boson operátor-függvények normál alakjának előállítására . . . . .
2. Nagy László, Nagy Tibor és Vinnay István: Spontán hasadó izomér állapotok észlelésére irányuló vizsgálatok . . . . .
3. Telbisz Ferenc: Mágnesszalag kezelő rendszer buborékkamrás események tárolásához . . . . .
4. Békés Mártonné, Fehér István, Deme Sándor és Suha Zoltán: Termolumineszcens üvegdoziméter . . . . .
5. Dr. Dékány István, Mészáros István és Péter István: Mozgásátviteli és kisteljesítményű hajtóművek . . . . .



## Р Е З Ю М Е

### 1. О новом методе упорядочения функций бозонных операторов в нормальном виде

Т. Шаламон

Функции бозонных операторов рождения и уничтожения преобразуются с помощью когерентных состояний в комплексную функцию. Употребляя оператор упорядочения  $\mathcal{N}$ , из этой функции нетрудно получить нормальный вид операторной функции. Применяемость разработанной методики демонстрируется решением некоторых типичных задач и доказательством перестановочных правил и операторных тождеств.

### 2. Исследования для наблюдения спонтанно делящихся изомеров

Л. Надь, Т. Надь, И. Виннаи

Методика пульсирующего генератора и регистрации при помощи временного анализатора была использована для исследования существования спонтанно делящихся изомеров у мишеней  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ , облученных нейтронами с энергией 14 Мев. Сообщаются предварительные результаты.

### 3. Система подпрограмм для накопления на магнитной ленте данных от пузырьковых камер

Ф. Телбис

В связи с накоплением на магнитной ленте данных от пузырьковых камер выработана система, при помощи которой можно обращаться с данными большого количества и любого происхождения. Данная система является расширением системы ICS для магнитных лент. Подготовлены подпрограммы, автоматически следящие за пользованием магнитных лент и защищающие информации на лентах. Подпрограммы находятся в библиотеке системы стандартных подпрограмм для ЭВМ ICT - I905.

4. Термолюминесцентные дозиметры из стекла

Е. Бекеш, И. Фехер, Ш. Деме и Э. Шуха

Описываются метод отечественного изготовления термолюминесцентных дозиметров из стекла и их основные дозиметрические свойства. Состав изготовленного нами стекла приблизительно соответствует составу, описанному в [3]. Оптимальная концентрация  $m\mu$  активатора оказалась равной 0,06-0,08%. Линейная область нашего дозиметра и измеряющего устройства простирается от 30 Mr до 3000 p. "Ход с жесткостью" значительно уменьшен применением 0,5 мм сд фильтра. Основная область использования описанных дозиметров - аварийная и локальная дозиметрия (например, дозиметрия пальцев.)

5. Механизмы передачи движения и малой мощности

И. Декань, И. Месарош, И. Петер

В статье описываются конструкции передаточных механизмов, разработанных и изготовленных в ЦИФИ ВАН на принципе строительных элементов. Рассматривается методика использования механизмов передачи движения и малой мощности.

S u m m a r i e s

1. A New Method for Obtaining the Normally Ordered Form of Boson Operator Functions

T. Salamon

The functions of creation and annihilation boson operators are transformed to a two-variable complex function by making use of the coherent states. The normally ordered forms of the operator functions can be obtained from this complex function by the use of the normal ordering operator  $\mathcal{N}$ . The method is illustrated by numerous typical examples and its application for deriving commutation rules and for the verification of operator identities is also shown.

2. On the Detection of Spontaneously Fissioning Isomer States

L. Nagy, T. Nagy and I. Vinnay

Pulsed neutron source plus time analyser registration method is applied to search for spontaneously fissioning isomer states in  $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  targets bombarded with 14 MeV neutrons. The experimental technique and the initial results are reported.

3. Magnetic Tape House-keeping System for Storing Bubble Chamber Events

F. Telbisz

In connection with the bubble chamber event library a magnetic tape house-keeping system is elaborated, which is suitable to handle data of arbitrary origin and store them on magnetic tape in structured form. This system is an extension of the ICL magnetic tape house-keeping system for composite files. Subroutines are worked out for easy sentinel manipulation, as well as for automatic book-keeping and information protection functions. The subroutines can be found on the MASTER LIBRARY TAPE of the KFKI ICL computer.

4. Thermoluminescent Glass Dosimeter

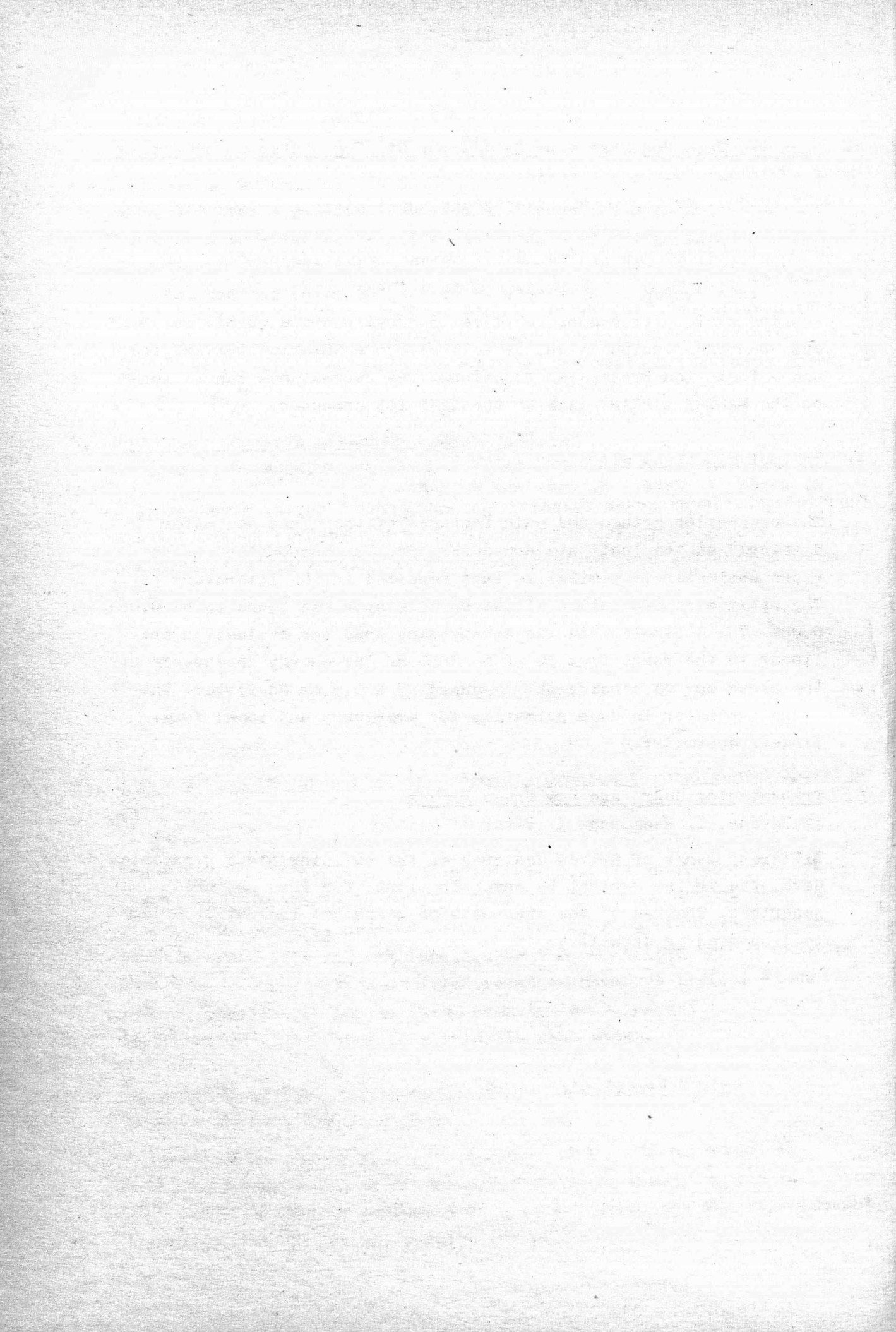
E. Békés, I. Fehér, S. Deme and Z. Suha

The production method and main features of the glass dosimeter developed at the Institute are described. The composition of the glass dosimeter is similar to that reported in the literature [3]. The optimum concentration of the Mn activator was found to be 0,06-0,08%. The dosimeter and the arrangement used for evaluation are linear in the range from 30 mR to 3000 R. The energy dependence of the glass can be considerably reduced by a 0,5 mm Cd-filter. The glass dosimeter is used primarily for emergency and local /e.g. finger/ dosimetry.

5. Transmission Gears and Low Speed Drives

I. Dékány, I. Mészáros, I. Péter

Different types of drives designed on the building block principle, developed in the Central Research Institute for Physics, are described. The use of the transmission gears and low output drives is discussed in detail.





# ÚJ MÓDSZER A BOSON OPERÁTOR-FÜGGVÉNYEK NORMÁL ALAKJÁNAK ELŐÁLLÍTÁSÁRA

Irta: Salamon Tamás

## Összefoglalás

A keltő és eltüntető boson operátorok függvényeit a koherens állapotok segítségével egy kétváltozós komplex függvénnyé képezzük le. Az  $\mathcal{N}$  normál rendező operátor segítségével ebből egyszerűen megkapható a kérdéses függvény normál alakja. A módszert számos tipikus példán keresztül világítjuk meg, valamint felhasználjuk kommutációs szabályok levezetésére és operátorazonosságok bizonyítására is.

## Bevezetés

A normál alakok egyre nagyobb szerepet játszanak a kvantumrendszerek leírásában, különösen amióta Glauber bevezette a koherens állapotokat [1]. Az általánosított koherencia fogalom [1, 2], amely a laserek felfedezésével vált szükségessé, a kölcsönható rendszereket leíró Schrödinger egyenlet és a sűrűség-operátor egyenlet egzakt tárgyalása [3, 4], valamint a laser modell kvantummechanikai leírása [5], - hogy csak a legfontosabbakat említsük - mind egyszerűbbé válik, ha a bennük szereplő matematikai kifejezéseket normál alakra hozzuk.

A boson operátorok függvényeinek normál alakján azt a hatványsort értjük, amelynek minden tagjában az összes eltüntető operátort  $/a^-/$  megelőznek a keltő operátorok  $/a^+ - k /$ .

Matematikailag kifejezve

$$F(a, a^+) = \sum_{n,m} c_{n,m} (a^+)^n (a)^m \quad /1/$$

Ilyen alakhoz legegyszerűbben az

$$[a, a^+] = aa^+ - a^+a = 1 \quad /2/$$

kommutációs szabály ismételt alkalmazásával juthatunk, de bonyolultabb függvények esetében ez megoldhatatlan akadályokba ütközik.

W.H. Louisell és munkatársai számos függvény és összefüggés normálalakjait meghatározták ugyan [6, 7, 8] de eljárásaik nem általánosíthatók, szinte minden új típusu függvényre más-más matematikai megfontolást kellett felhasználniok.

Mi a dolgozatban olyan módszert ismertetünk, amellyel szinte mechanikusan előállíthatók a normál alakok. A módszer általános, sőt segítségével az operátor függvények anti-normál rendezett alakjai is könnyen megkaphatók [9]. /Az anti-normál rendezett alak /1/ ellentétje!/  
/1/

A módszer ismertetése

Legyen  $F(a, a^+)$  egy operátor függvény, amelynek normál rendezett alakját kívánjuk előállítani. Tegyük fel, hogy ez  $F^{(n)}(a, a^+)$  azaz /1/ figyelembevételével

$$F(a, a^+) = F^{(n)}(a, a^+) = \sum_{n,m} c_{n,m} (a^+)^n (a)^m \quad /3/$$

/Ha  $F(a, a^+)$  nem normál alakú, akkor a függvényalakokat tekintve  $F \neq F^n$  -el, de mint operátorok, hatásukban megegyeznek!/. Képezzük  $F^{(n)}(a, a^+)$  -nak tetszőleges koherens állapottal való kétoldali skalárszorzatát:

$$\begin{aligned} \langle \alpha | F^{(n)}(a, a^+) | \alpha \rangle &= \sum_{n,m} c_{n,m} \langle \alpha | (a^+)^n (a)^m | \alpha \rangle \\ &= \sum_{n,m} c_{n,m} (\alpha^*)^n (\alpha)^m = F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \quad /4/ \end{aligned}$$

ahol  $\alpha$  és  $\alpha^*$  függetlennek tekintett két komplex változó [1], és  $F^{(n)}(\alpha, \alpha^*)$  ezen komplex változók közösleges értelemben vett függvénye. Ez, mint klasszikus értelemben vett közösleges függvény, általában fontos fizikai mennyiségek kifejezője. Jelen dolgozatnak nem célja ezen érdekes kérdés vizsgálata, de idevonatkozó fejtegetések pl. [10] -ben található.

Visszatérve az eredeti problémához, látható, hogy  $F^{(n)}(\alpha, \alpha^*)$  alakra megegyezik az eredeti operátor függvényünk rendezett alakjával. Ha most felhasználjuk a Louisell által bevezetett  $\mathcal{N}$  normál rendező operátort, [8], akkor

$$\mathcal{N} F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = F^{(n)}(a, a^+) \quad /5/$$

alakhoz jutunk, amelyik éppen a kívánt normál alakú operátor függvény.\*

\*/  $\mathcal{N}$  operátor pontos definíciója [8] -ben található, itt elég csak annyit tudni, hogy hatásában az  $\alpha \rightarrow a$ ,  $\alpha^* \rightarrow a^+$  argumentum cserét hajtja végre úgy, hogy  $a^+$  operátorok megelőzik az  $a$  operátorokat.

A probléma így az  $F^{(n)}(\alpha, \alpha^*)$  komplex függvény előállítására. Ez könnyen elvégezhető, ha a koherens állapotot olyan teljes rendszer szerint fejtjük sorba, amelyben az  $F(a, a^\dagger)$  mátrix elemeit expliciten ki tudjuk fejezni. Legyen ez a rendszer  $|k\rangle$ , a teljességet  $\int |k\rangle \langle k| = I$  kifejezés biztosítja, ahol  $I$  az egységoperátor és  $\int$  jel summázást, vagy integrálást jelöl aszerint, hogy a sajátérték spektrum diszkrét, vagy folytonos.

$$\begin{aligned} \text{Tehát a } |\alpha\rangle &= \int |k\rangle \langle k|\alpha\rangle \\ \langle\alpha| &= \int \langle\alpha|k'\rangle \langle k'| \end{aligned} \quad /6/$$

összefüggések segítségével /4/ és /3/ a következőképpen írható

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \int \langle\alpha|k'\rangle \langle k'|F(a, a^\dagger)|k\rangle \langle k|\alpha\rangle \quad /7/$$

ahol feltevésünk szerint a mátrix elemek és természetesen a skalárszorzatok is kiszámíthatók. Így a keresett komplex változós függvényünket előállítottuk és /5/ segítségével  $F(a, a^\dagger)$  normál rendezett alakját is megkaphatjuk.

### Függvények normál rendezett alakjainak meghatározása

1. Legyen  $F(a, a^\dagger) = F(a^\dagger a)$ , tehát függvényünk az un. számoperátor  $(a^\dagger a = N)$  függvénye. Ismeretes, hogy  $N$  diagonális a szám-reprezentációban, így a koherens állapotot szám-reprezentációban célszerű használni.

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \langle\alpha|F(a, a^\dagger)|\alpha\rangle = \sum_{n, n'=0}^{\infty} \langle\alpha|n\rangle \langle n|F(a^\dagger, a)|n'\rangle \langle n'|\alpha\rangle$$

Fejtsük sorba  $F(a^\dagger a)$ -t /tegyük fel, hogy csak ilyen függvényekkel foglalkozunk/

$$F(a^\dagger a) = \sum_i c_i (a^\dagger a)^i$$

így

$$\begin{aligned} F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) &= \sum_{n, n'=0}^{\infty} \langle\alpha|n\rangle \langle n'|\alpha\rangle \sum_i c_i \langle n|(a^\dagger a)^i|n'\rangle \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \langle\alpha|n\rangle \langle n|\alpha\rangle F(n) = \sum_n F(n) \frac{(\alpha^* \alpha)^n}{n!} e^{-\alpha^* \alpha} \end{aligned}$$

ahol kihasználtuk  $\langle n|n' \rangle = \delta_{nn'}$ , ortogonalitást és az

$$|\langle \alpha|n \rangle|^2 = \frac{(\alpha^* \alpha)^n}{n!} e^{-\alpha^* \alpha} \text{ értéket megtalálhatjuk pl. [1] -ben.}$$

Az exponenciálist végtelen sorával helyettesítve, kapjuk

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \left( \sum_{n=0}^{\infty} F^{(n)} \frac{(\alpha^* \alpha)^n}{n!} \right) \left( \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{(\alpha^* \alpha)^m}{m!} \right)$$

majd a végtelen sorok Cauchy-féle szorzásszabályát alkalmazva:

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \sum_{m=0}^n F^{(n-m)} \binom{n}{m} (-1)^m \right] \frac{(\alpha^*)^n (\alpha)^n}{n!}$$

vagy

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \sum_{m=0}^n F^{(m)} \binom{n}{m} (-1)^{n-m} \right] \frac{(\alpha^*)^n (\alpha)^n}{n!}$$

kifejezésekhez jutottunk.

Ebből  $F(a^+a)$  normálalakja /5/ szerint meghatározható:

$$F^{(n)}(a^+a) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(a^+)^n (a)^n}{n!} \left[ \sum_{m=0}^n F^{(n-m)} \binom{n}{m} (-1)^m \right] \quad /8a/$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(a^+)^n (a)^n}{n!} \left[ \sum_{m=0}^n F^{(m)} \binom{n}{m} (-1)^{n-m} \right] \quad /8b/$$

1/a. Legyen  $F(a^+a) = e^{\lambda a^+a}$  ahol  $\lambda$  tetszőleges paraméter. /8a/ alkalmazásával a normál alakja:

$$\begin{aligned} e^{\lambda a^+a} &= \mathcal{N} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\alpha^*)^n (\alpha)^n}{n!} \left[ \sum_{m=0}^n (-1)^m \binom{n}{m} e^{\lambda(n-m)} \right] \right\} \\ &= \mathcal{N} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\alpha^*)^n (\alpha)^n}{n!} (e^{\lambda} - 1)^n \right\} = \\ &= \mathcal{N} \left\{ \exp \left[ (e^{\lambda} - 1) \alpha^* \alpha \right] \right\} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(e^{\lambda} - 1)^n}{n!} (a^+)^n (a)^n \quad /9/ \end{aligned}$$

1/b. Legyen  $F(a^+a) = (\lambda a^+a)^k$  ahol  $k$  valamilyen pozitív egész szám és  $\lambda$  tetszőleges paraméter. Most /8b/-t alkalmazhatjuk

$$(\lambda a^+a)^k = \lambda^k \cdot \mathcal{L} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\alpha^*)^n (\alpha)^n}{n!} \left[ \sum_{m=0}^n (-1)^{n-m} \binom{n}{m} (m)^k \right] \right\}$$

A szögletes zárójelbeli kifejezés  $n = 0$  és  $n > k$  esetére 0-t ad [11], így  $(\lambda a^+a)^k$  normálalakja

$$(\lambda a^+a)^k = \lambda^k \sum_{n=1}^k \sum_{m=1}^n (-1)^m \binom{n}{m} (m)^k \frac{(a^+)^n (a)^n}{n!} \quad /10/$$

2. Tegyük fel, hogy  $F(a, a^+)$  normálalakját, vagyis  $F^n(a, a^+)$  -t ismerjük, akkor képezve az  $a \cdot F^{(n)}(a, a^+) = G(a, a^+)$  operátor függvényt, kérdés, mi lesz ennek a rendezett alakja?

Teljes kifejtő rendszernek most is a számreprezentációt használva, /7/-et írhatjuk:

$$G^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \sum_{n, m=0}^{\infty} e^{-\alpha^* \alpha} \frac{(\alpha^*)^n (\alpha)^m}{\sqrt{n!} m!} \langle n | a F^{(n)}(a, a^+) | m \rangle$$

tudva, hogy  $\langle n | a = \langle n+1 | \sqrt{n+1}$ , tovább alakítva az eredményt

$$\begin{aligned} &= \sum_{n, m=0}^{\infty} e^{-\alpha^* \alpha} \frac{(\alpha^*)^n (\alpha)^m}{\sqrt{n!} m!} \sqrt{n+1} \langle n+1 | F^{(n)}(a, a^+) | m \rangle \\ &= \sum_{n, m=0}^{\infty} e^{-\alpha^* \alpha} \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \frac{(\alpha^*)^{n+1} (\alpha)^m}{\sqrt{(n+1)!} m!} \langle n+1 | F^{(n)}(a, a^+) | m \rangle \end{aligned}$$

$n + 1 = n'$  index cserét alkalmazva

$$= \sum_{\substack{n'=1 \\ m=0}}^{\infty} e^{-\alpha^* \alpha} \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \frac{(\alpha^*)^{n'} (\alpha)^m}{\sqrt{(n')!} m!} \langle n' | F^{(n)}(a, a^+) | m \rangle$$

$n'=0$  tagot - amelynek értéke = 0 a differenciálás miatt, hozzáadva

$$= \sum_{n', m=0}^{\infty} e^{-\alpha^* \alpha} \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \frac{(\alpha^*)^{n'} (\alpha)^m}{\sqrt{(n')! m!}} \langle n' | F^{(n)}(a, a^+) | m \rangle$$

$$= \frac{\partial}{\partial \alpha^*} F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) + \alpha F^{(n)}(\alpha, \alpha^*)$$

Igy a keresett komplex függvényünk

$$G^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) F^{(n)}(\alpha, \alpha^*)$$

vagy a kérdéses  $G(a, a^+)$  új operátor függvényünk rendezett alakja /5/ szerint

$$G^{(n)}(a, a^+) = \mathcal{H} \left\{ \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \quad /11/$$

2.1. A /11/-es illusztrálására legyen pl.  $F(a, a^+) = (a^+)^5 (a)^9 = F^{(n)}(a, a^+)$  és a  $G(a, a^+) = a \cdot (a^+)^5 (a)^9$  normál alakját határozzuk meg. Akkor

$$G^{(n)}(a, a^+) = \mathcal{H} \left\{ \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) (\alpha^*)^5 (\alpha)^9 \right\}$$

$$= \mathcal{H} \left\{ (\alpha^*)^5 \alpha^{10} + 5(\alpha^*)^4 \alpha^9 \right\} = (a^+)^5 a^{10} + 5(a^+)^4 a^9$$

3. Most általánosítsuk a 2. feladatot, az  $a$  tetszőleges hatványával /legyen  $k$ / szorozzuk meg balról az ismert rendezett formájú operátor függvényünket, azaz  $G(a, a^+) = a^k F^{(n)}(a, a^+)$ . Határozzuk meg az így kapott  $G(a, a^+)$  függvény normál alakját.

$$\begin{aligned}
 G(a, a^+) &= \underbrace{a}_k \cdot \underbrace{a}_{k-1} \cdots \underbrace{a}_2 \cdot \underbrace{a}_1 F^{(n)}(a, a^+) \\
 &= \underbrace{a}_k \cdot \underbrace{a}_{k-1} \cdots \underbrace{a}_2 \mathcal{H} \left\{ \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) F^{(n)}(\alpha^*, \alpha) \right\} \\
 &= \underbrace{a}_k \cdot \underbrace{a}_{k-1} \cdots \mathcal{H} \left\{ \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right)^2 F^{(n)}(\alpha^*, \alpha) \right\} \\
 &\quad \vdots \\
 G^{(n)}(a, a^+) &= \mathcal{H} \left\{ \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right)^k F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \quad /12/
 \end{aligned}$$

4. Ha  $f(a)$  valamilyen függvénye az  $a$  operátornak és konvergens hatványsorba fejthető, tehát  $f(a) = \sum_n c_n a^n$ , akkor az előző eredmény figyelembevételével

$$\begin{aligned}
 G(a, a^+) &= f(a) F^{(n)}(a, a^+) \\
 G^{(n)}(a, a^+) &= \mathcal{H} \left\{ f \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \quad /13/
 \end{aligned}$$

a fentiek alapján képzett új  $G$  operátorfüggvény normál alakja. Ennek bizonyítását /12/ alapján könnyen elvégezheti az olvasó.

- 4.1. /13/-t illusztráljuk egy példán keresztül.

Legyen  $F(a, a^+) = (a^+)(a)$  és  $f(a) = e^{\lambda a}$

így  $G(a, a^+) = e^{\lambda a} (a^+) a$

ahol  $\lambda$  tetszőleges paraméter

$$G^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \exp \left\{ \lambda \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) \right\} \alpha^* \alpha$$

$$= \alpha e^{\lambda \alpha} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k \left( \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right)^k}{k!} \alpha^* = \alpha e^{\lambda \alpha} (\alpha^* + \lambda)$$

$$G^{(n)}(a, a^+) = \mathcal{U} \left\{ \alpha e^{\lambda \alpha} (\alpha^* + \lambda) \right\} = a^+ a e^{\lambda a} + \lambda a e^{\lambda a} =$$

$$= (a^+ + \lambda) a e^{\lambda a}$$

5. A 2-3-4-es típusú esetek ellentétje az, amikor  $F^{(n)}(a, a^+) a^+$ ,  $F^{(n)}(a, a^+) (a^+)^k$ , vagy  $F^{(n)}(a, a^+) f(a^+)$  kifejezések rendezett alakjait keressük, ahol  $F^{(n)}(a, a^+)$  valamilyen operátor függvény ismert normál formája. Hasonlóképpen járhatunk el, mint /11/, /12/, /13/ eredmény elérésekor itt csak a végeredményt közöljük.

Ha

$$G(a, a^+) = F^{(n)}(a, a^+) f(a^+)$$

akkor

$$G^{(n)}(a, a^+) = \mathcal{U} \left\{ f \left( \alpha^* + \frac{\partial}{\partial \alpha} \right) F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \quad /14/$$

Vegyük egy konkrét esetet:

$$G(a, a^+) = a^+ a e^{\lambda a^+}$$

$$G^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \exp \left\{ \lambda \left( \alpha^* + \frac{\partial}{\partial \alpha} \right) \right\} \alpha^* \alpha$$

$$= \alpha^* e^{\lambda \alpha^*} \cdot \sum_k \frac{\lambda^k \left( \frac{\partial}{\partial \alpha} \right)^k}{k!} \alpha = \alpha^* e^{\lambda \alpha^*} (\alpha + \lambda)$$

$$G^{(n)}(a, a^+) = e^{\lambda a^+} a^+ (a + \lambda)$$

Mindeddig - ahol kellett - teljes kifejtő függvényrendszernek a szám-reprezentációt használtuk. A továbbiakban olyan függvényekkel fogunk foglalkozni, amelyek normálalakjának előállításához célszerű más reprezentációt választani.



6. Legyen  $F(a, a^+) = (a+a^+)^k$  ahol  $k$  tetszőleges pozitív egész szám.

Ismeretes, hogy

$$a + a^+ = \sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} q = c' \cdot q$$

$$(a + a^+)^k = (c')^k q^k = cq^k$$

ahol  $q$  koordináta operátort jelöl. Célszerű lesz, ha a koherens állapotot koordináta reprezentációban használjuk, így a /6/-ban szereplő  $|k\rangle$  legyen  $|q'\rangle$  és  $\int_{-\infty}^{\infty} dq' |q'\rangle \langle q'| = I$  tehát /7/:

$$\begin{aligned} F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) &= \iint \langle \alpha | q' \rangle \langle q' | cq^k | q'' \rangle \langle q'' | \alpha \rangle dq' dq'' \\ &= \iint dq' dq'' \langle \alpha | q' \rangle \langle q'' | \alpha \rangle c q''^k \delta(q' - q'') \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} dq' |\langle \alpha | q' \rangle|^2 cq'^k \end{aligned}$$

Függelék 1. alapján, beírva az  $|\langle \alpha | q' \rangle|^2$  értékét, kapjuk

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \sqrt{\frac{\omega}{\pi\hbar}} e^{-\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{2}} \left(\sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}}\right)^k \int_{-\infty}^{\infty} dq' q'^k \exp\left\{-\left[\frac{\omega}{\hbar} q'^2 - 2\sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} q'(\alpha+\alpha^*)\right]\right\}$$

Az integrálás [12] alapján könnyen kiszámolható és így

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \sqrt{\frac{\omega}{\pi\hbar}} e^{-\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{2}} \left(\sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}}\right)^k \left(\sqrt{\frac{\hbar}{2\omega}}\right)^k (\alpha+\alpha^*)^k \sqrt{\frac{\pi\hbar}{\omega}} e^{\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{2}} \sum_{n=0}^{E\left[\frac{k}{2}\right]}$$

$$\cdot \frac{k!}{(k-2n)! n!} \left(\frac{1}{2(\alpha+\alpha^*)^2}\right)^n$$

$$= (\alpha+\alpha^*)^k \sum_{n=0}^{E\left[\frac{k}{2}\right]} \frac{k!}{(k-2n)! n!} \left(\frac{1}{2(\alpha+\alpha^*)^2}\right)^n$$

ahol  $E\left[\frac{k}{2}\right]$  a  $\frac{k}{2}$  egész részét jelöli. /5/ szerint a kívánt normálalak:

$$F^{(n)}(a, a^+) = \mathcal{N} \left\{ \sum_{n=0}^{E\left[\frac{k}{2}\right]} \frac{k!}{2^n n! (k-2n)!} (\alpha + \alpha^*)^{k-2n} \right\}$$

vagy általános, tehát /1/ szerinti formában

$$\begin{aligned} (a+a^+)^k = F^{(n)}(a, a^+) &= \sum_{n=0}^{E\left[\frac{k}{2}\right]} \frac{k!}{2^n n! (k-2n)!} \left( \sum_{m=0}^{k-2n} \binom{k-2n}{m} (a^+)^{k-2n-m} (a)^m \right) \\ &= \sum_{n=0}^{E\left[\frac{k}{2}\right]} \sum_{m=0}^{k-2n} \frac{k!}{2^n n! m! (k-2n-m)!} (a^+)^{k-2n-m} (a)^m \end{aligned}$$

/15/

7. Az előző feladathoz teljesen hasonlóan határozhatjuk meg

$F(a, a^+) = (a-a^+)^k$  hatvány rendezett alakját.

$$(a-a^+) = i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} p = c' p$$

$$(a-a^+)^k = (c')^k p^k = c p^k$$

ahol  $p$  impulzus operátor. Az  $F^{(n)}(\alpha, \alpha^*)$  komplex függvény előállításához most impulzusreprezentációt célszerű használni. Az

$\int_{-\infty}^{\infty} dp' |p'\rangle \langle p'| = 1$  összefüggés figyelembevételével - mint az előbbinél - /7/ a következő:

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \int_{-\infty}^{\infty} dp' |\langle \alpha | p' \rangle|^2 \left( i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} \right)^k p'^k$$

miután felhasználtuk

$$\langle p' | \left( i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} \right)^k p^k | p'' \rangle = \left( i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} \right)^k p''^k \delta(p' - p'')$$

Függelék 2 és [12] alapján a részletszámolások után kapjuk:

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = (\alpha - \alpha^*)^k \sum_{n=0}^{\left[\frac{k}{2}\right]} \frac{k!}{(k-2n)! n!} \left[ \frac{-1}{2(\alpha - \alpha^*)^2} \right]^n$$

amelyből a keresett normálalak:

$$(a-a^+)^k = F^{(n)}(a, a^+) = \sum_{n=0}^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor} \sum_{m=0}^{k-2n} \frac{k!(-1)^n}{n!m!(k-2n-m)!2^n} (a^+)^{k-2n-m} (a)^m \quad /16/$$

Az utolsó két feladatot általánosíthatjuk, ugyanis ha  $F(a, a^+) = F(a+a^+)$  függvény  $(a+a^+)$  szerint hatványsorba fejthető, akkor normálalakját elő tudjuk állítani.

8. Legyen először  $F(a, a^+) = F(a+a^+) = F\left(\sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} q\right)$ , akkor az eddigi megfontolásokból következően

$$\begin{aligned} F^{(n)}(a, a^+) &= \int_{-\infty}^{\infty} dq' |\langle \alpha | q' \rangle|^2 F\left(\sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} q'\right) \\ &= \sqrt{\frac{\omega}{\pi\hbar}} e^{-\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} dq' \exp\left\{-\left[\frac{\omega}{\hbar} q'^2 - \sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} q'(\alpha+\alpha^*)\right]\right\} F\left(\sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} q'\right) \\ &= \sqrt{\frac{\omega}{\pi\hbar}} e^{-\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} F(x) e^{-\left[\frac{1}{2}x^2 - x(\alpha+\alpha^*)\right]} \sqrt{\frac{\hbar}{2\omega}} dx \end{aligned}$$

ahol  $\sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} q' = x$  integrálási változó cserét hajtottunk végre.

[13] segítségével adhatunk egy másik alakot is ennek a kifejezésnek,

$$\begin{aligned} F^{(n)}(a, a^+) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{2}} \sqrt{2} e^{\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} F[\sqrt{2}x + (\alpha+\alpha^*)] dx \\ &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} F[\sqrt{2}x + (\alpha+\alpha^*)] dx \end{aligned}$$

Igy tehát a végeredmény:

$$F^{(n)}(a, a^+) = F(a+a^+) = \mathcal{N} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} F[\sqrt{2}x + (\alpha+\alpha^*)] dx \right\} \quad /17/$$

8.1. Ha pl.  $f(a+a^\dagger) = e^{a+a^\dagger}$  akkor /17/ alapján

$$e^{a+a^\dagger} = \mathcal{N} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ - \left[ x^2 - \sqrt{2} x - (\alpha + \alpha^*) \right] \right\} dx \right.$$

$$= \mathcal{N} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\pi} e^{\frac{1}{2} + (\alpha + \alpha^*)} \right\} = e^{a^\dagger} e^a e^{\frac{1}{2}}$$

vagyis

$$e^{a+a^\dagger} = e^{a^\dagger} e^a e^{\frac{1}{2}} \quad /18/$$

amelyik az  $e^{A+B} = e^B e^A e^{1/2[A,B]}$  ismert általános operátor tételnek a boson operátorra vonatkozó esete, ahol  $[A,B] \neq 0$  nem felcserélhető két tetszőleges operátor.

9. Állítsuk elő az  $F(a, a^\dagger) = F(a-a^\dagger)$  normálalakját.

A 7. alapján tudjuk, hogy

$$F(a-a^\dagger) = F \left( i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} p \right)$$

A kérdéses  $F^{(n)}(\alpha, \alpha^*)$  komplex függvény előállításához célszerű ismét impulzusreprezentációt használni és az eddigiekből nyilvánvalóan adódik

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \int_{-\infty}^{\infty} dp' |\langle \alpha | p' \rangle|^2 F \left( i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} p' \right)$$

Függelék 2-ből véve az abszolútérték négyzetet

$$F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) = \frac{1}{\sqrt{\pi\hbar\omega}} e^{\frac{(\alpha - \alpha^*)^2}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} dp' F \left( i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} p' \right) \exp \left\{ - \left[ i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} (\alpha - \alpha^*) p' + \frac{1}{\hbar\omega} p'^2 \right] \right\}$$

és így a keresett normál forma

$$F(a-a^\dagger) = \mathcal{N} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi\hbar\omega}} e^{\frac{(\alpha - \alpha^*)^2}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} dp' F \left( i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} p' \right) \exp \left\{ - \left[ \frac{1}{\hbar\omega} p'^2 + i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} (\alpha - \alpha^*) p' \right] \right\} \right\}$$

A normál rendezés eddigiekben vázolt technikája módot nyújt a boson operátor függvények kommutációs szabályainak közvetlen levezetéseire is, /nem kell teljes indukciót alkalmazni, mint pl. [8] -ban/.

Kommutációs szabályok

1.

$$[a^k, a^+] = ?$$

Definíció szerint:

$$[a^k, a^+] = a^k a^+ - a^+ a^k$$

Tegyük  $a^k a^+$  -t rendezett formába /13/ segítségével, kapjuk a számolás elvégzése után:

$$a^k a^+ = a^+ a^k + k \cdot a^{k-1}$$

Tehát

$$[a^k, a^+] = k \cdot a^{k-1} = \frac{\partial}{\partial a} a^k \quad /20/$$

Az operátor szerinti differenciálás alatt a következőket értjük [8] :

$$\frac{\partial}{\partial a} f(a) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(a+x) - f(a)}{x}$$

$$\frac{\partial}{\partial a^+} f(a^+) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(a^++x) - f(a^+)}{x}$$

ahol  $x$  nem operátor, hanem paraméter.

2.

$$[a, (a^+)^k] = ?$$

$$[a, (a^+)^k] = a (a^+)^k - (a^+)^k a$$

Állítsuk elő az  $a (a^+)^k$  rendezett alakját /11/ képlettel:

$$a (a^+)^k = (a^+)^k a + k (a^+)^{k-1}$$

Igy

$$[a, (a^+)^k] = k (a^+)^{k-1} = \frac{\partial}{\partial a^+} (a^+)^k \quad /21/$$

3. Keressük meg  $[a, F(a, a^+)] = ?$  kifejezést, ahol  $F(a, a^+)$  tetszőleges operátor függvény. Akkor

$$[a, F(a, a^+)] = aF(a, a^+) - F(a, a^+)a = aF^{(n)}(a, a^+) - F^{(n)}(a, a^+)a$$

hiszen mint operátorok  $F(a, a^+) \equiv F^{(n)}(a, a^+)$  . /11/-t használva

$$\begin{aligned} aF^{(n)}(a, a^+) &= \mathcal{H} \left\{ \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} = \\ &= F^{(n)}(a, a^+) a + \mathcal{H} \left\{ \frac{\partial}{\partial \alpha^*} F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \end{aligned}$$

igy

$$[a, F(a, a^+)] = \mathcal{H} \left\{ \frac{\partial}{\partial \alpha^*} F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} = \frac{\partial}{\partial a^+} F(a, a^+) \quad /22/$$

4. Hasonlóképpen látható be a következő eredmény:

$$[a^+, F(a, a^+)] = -\mathcal{H} \left\{ \frac{\partial}{\partial \alpha} F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} = -\frac{\partial}{\partial a} F(a, a^+) \quad /23/$$

Meg kell jegyezni a 3. és 4. példával kapcsolatosan, hogy a kétváltozós operátor függvények operátor szerinti differenciálása alatt

$$\frac{\partial}{\partial a} F(a, a^+) \equiv \lim_{x \rightarrow 0} \frac{F(a+x, a^+) - F(a, a^+)}{x}$$

$$\frac{\partial}{\partial a^+} F(a, a^+) \equiv \lim_{x \rightarrow 0} \frac{F(a, a^++x) - F(a, a^+)}{x}$$

kifejezéseket értjük. A határérték, vagyis a differenciálhányados megkeresése általában nem könnyű feladat, hiszen ezekben az esetekben a változós nem felcserélhetősége miatt a közönséges függvények differenciálási szabályai nem érvényesek. Vegyük pl. az  $e^{\lambda a^+ a}$  függvényt.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a} e^{\lambda a^+ a} &\equiv \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{\lambda(a^++x)a} - e^{\lambda a^+ a}}{x} \neq e^{\lambda a^+ a} \lambda a^+ \\ &\neq \lambda a^+ e^{\lambda a^+ a} \end{aligned}$$

/22/ és /23/ eredményünket így azért is ki kell hangsúlyoznunk, mivel az operátor szerinti differenciálást - függvényünk normálalakjának ismeretében - visszavezeti közönséges derivált képzésre. Az e-

lőbbi példánál maradva, /9/ felhasználásával

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a} e^{\lambda a^+ a} &= \mathcal{H} \left\{ \frac{\partial}{\partial \alpha} \exp \left[ (e^\lambda - 1) \alpha^* \alpha \right] \right\} \\ &= \mathcal{H} \left\{ \exp \left[ (e^\lambda - 1) \alpha^* \alpha \right] \cdot (e^\lambda - 1) \alpha^* \right\} \\ &= (e^\lambda - 1) a^+ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(e^\lambda - 1)^n}{n!} (a^+)^n (a)^n = (e^\lambda - 1) a^+ e^{\lambda a^+ a} \end{aligned}$$

És /23/ alapján

$$[e^{\lambda a^+ a}, a^+] = \frac{\partial}{\partial a} e^{\lambda a^+ a} = (e^\lambda - 1) a^+ e^{\lambda a^+ a}$$

5. Határozzuk meg a következő felcserélési relációt,

$$[f(a), g(a^+)] = ?$$

$$[f(a), g(a^+)] = f(a) g(a^+) - g(a^+) f(a)$$

Ha /13/, vagy /14/ alapján normál alakra hozzuk  $f(a) g(a^+)$ -t akkor

$$\begin{aligned} [f(a), g(a^+)] &= \mathcal{H} \left\{ f \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) g(\alpha^*) \right\} - g(a^+) f(a) && \text{vagy} \\ &= \mathcal{H} \left\{ g \left( \alpha^* + \frac{\partial}{\partial \alpha} \right) f(\alpha) \right\} - g(a^+) f(a) && /24/ \end{aligned}$$

5.1. /24/ alapján már könnyű megkeresni pl. a következő kifejezést:

$$[e^{\lambda a}, e^{\mu a^+}] = ? \quad \text{ahol } \lambda \text{ és } \mu \text{ paraméterek.}$$

$$[e^{\lambda a}, e^{\mu a^+}] = e^{\lambda a} e^{\mu a^+} - e^{\mu a^+} e^{\lambda a}$$

A jobboldal első tagjának normál alakja:

$$\begin{aligned} e^{\lambda a} e^{\mu a^+} &= \mathcal{H} \left\{ e^{\lambda \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right)} e^{\mu a^+} \right\} = \\ &= \mathcal{H} \left\{ e^{\lambda \alpha} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k \left( \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right)^k}{k!} e^{\mu a^+} \right\} \\ &= \mathcal{H} \left\{ e^{\lambda \alpha} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda \mu)^k}{k!} e^{\mu a^+} \right\} \\ &= \mathcal{H} \left\{ e^{\mu a^+} e^{\lambda \alpha} e^{\lambda \mu} \right\} = e^{\lambda \mu} e^{\mu a^+} e^{\lambda a} \end{aligned}$$

Igy

$$[e^{\lambda a}, e^{\mu a^+}] = (e^{\lambda \mu} - 1) e^{\mu a^+} e^{\lambda a}$$

Operátor azonosságok

A normál rendezés technikáját sikeresen alkalmazhatjuk operátor azonosságok levezetéséhez is.

1. Bizonyítsuk be a következő összefüggést

$$e^{\lambda a} f(a, a^+) e^{-\lambda a} = f(a, a^+ + \lambda) \quad /26/$$

ahol  $\lambda$  tetszőleges paraméter,  $f(a, a^+)$  Taylor-sorba fejthető operátor függvény.

Igazolás: induljunk ki a következőből:

$$e^{\lambda a} f(a, a^+) = e^{\lambda a} f^{(n)}(a, a^+)$$

ahol  $f^{(n)}(a, a^+)$  normálalak /13/ szerint

$$\begin{aligned}
e^{\lambda a} f^{(n)}(a, a^+) &= \mathcal{N} \left\{ e^{\lambda \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right)} f^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \\
&= \mathcal{N} \left\{ e^{\lambda \alpha} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k \left( \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right)^k}{k!} f^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \\
&= \mathcal{N} \left\{ f^{(n)}(\alpha, \alpha^* + \lambda) e^{\lambda \alpha} \right\} \\
&= f^{(n)}(a, a^+ + \lambda) e^{\lambda a} = f(a, a^+ + \lambda) e^{\lambda a}
\end{aligned}$$

beszorozva jobbról mindkét oldalt  $e^{-\lambda a}$  -val,

$$e^{\lambda a} f^{(n)}(a, a^+) e^{-\lambda a} = e^{\lambda a} f(a, a^+) e^{-\lambda a} = f(a, a^+ + \lambda)$$

amit igazolni kívántunk.

Ha  $f(a, a^+) = a^+$ , akkor /26/ alapján

$$e^{\lambda a} a^+ e^{-\lambda a} = a^+ + \lambda \quad /27a/$$

vagy ha  $f(a, a^+) = a^+ a$ , akkor

$$e^{\lambda a} a^+ a e^{-\lambda a} = (a^+ + \lambda) a \quad /27b/$$

2. Igazoljunk két másik érdekes összefüggést:

$$e^{\lambda a^+} a e^{-\lambda a^+} = a e^{-\lambda} \quad /28/$$

$$e^{\lambda a^+} a^+ e^{-\lambda a^+} = a^+ e^{\lambda} \quad /29/$$



ahol  $\lambda$  tetszőleges paraméter.

Bizonyítsuk be először /28/-t.

Kezdjük a következő kifejezéssel.

$G(a, a^+) = a F(a, a^+) = a e^{-\lambda a^+ a}$   
 $F(a, a^+) = e^{\lambda a^+ a}$  normálalakját ismerjük /9/, így a  $G(a, a^+)$  rendezett formájának előállítására /11/ alapján

$$\begin{aligned} G^{(n)}(a, a^+) &= \mathcal{N} \left\{ \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \\ &= \mathcal{N} \left\{ \left( \alpha + \frac{\partial}{\partial \alpha^*} \right) \exp \left[ (e^{-\lambda} - 1) \alpha^* \alpha \right] \right\} \\ &= \mathcal{N} \left\{ \alpha \exp \left[ (e^{-\lambda} - 1) \alpha^* \alpha \right] + \alpha (e^{-\lambda} - 1) \exp \left[ (e^{-\lambda} - 1) \alpha^* \alpha \right] \right\} \\ &= e^{-\lambda a^+ a} a e^{-\lambda} \end{aligned}$$

$G^{(n)}(a, a^+)$  természetesen megegyezik  $G(a, a^+)$  -val, így beszorozva balról mindkét oldalt  $e^{\lambda a^+ a}$  -val, kapjuk /28/-at

$$e^{\lambda a^+ a} a e^{-\lambda a^+ a} = a e^{-\lambda}$$

Most nézzük /29/ rövid igazolását.

$$\begin{aligned} e^{\lambda a^+ a} a^+ G^{(n)}(a, a^+) &= \mathcal{N} \left\{ \left( \alpha^* + \frac{\partial}{\partial \alpha} \right) F^{(n)}(\alpha, \alpha^*) \right\} \\ &= \mathcal{N} \left\{ \left( \alpha^* + \frac{\partial}{\partial \alpha} \right) \exp \left[ (e^\lambda - 1) \alpha^* \alpha \right] \right\} \\ &= a^+ e^\lambda e^{\lambda a^+ a} \end{aligned}$$

besorozva jobbról  $e^{-\lambda a^+ a}$  -val, kapjuk

$$e^{\lambda a^+ a} a^+ e^{-\lambda a^+ a} = a^+ e^\lambda$$

Hogy az előző két azonosságot általánosíthassuk, szükségünk van egy ismert operátor tételre [8]. Ha A és B két nemfelcserélhető operátor, akkor fennáll

$$e^{\xi A} F(B) e^{-\xi A} = F(e^{\xi A} B e^{-\xi A})$$

ahol  $\xi$  paraméter, és  $F(B)$  a B operátor hatványsorba fejthető függvénye.

3. Ezen állítás segítségével és /28/, /29/ figyelembevételével rögtön adódik a következő általános összefüggés:

Ha  $f(a, a^+)$  hatványsorba fejthető boson operátor függvény, akkor

$$e^{\lambda a^+ a} f(a, a^+) e^{-\lambda a^+ a} = f(ae^{-\lambda}, a^+ e^{\lambda}) \quad /30/$$

Bár ebben a részben nem feladatunk, hogy felcserélési relációkat keressünk, de az utóbbi képlet segítségével magától értetődően találhatunk egy új szabályt,

$$\begin{aligned} [e^{\lambda a^+ a}, f(a, a^+)] &= e^{\lambda a^+ a} f(a, a^+) - f(a, a^+) e^{\lambda a^+ a} \\ &= f(ae^{-\lambda}, a^+ e^{\lambda}) e^{\lambda a^+ a} - f(a, a^+) e^{\lambda a^+ a} \\ &= [f(ae^{-\lambda}, a^+ e^{\lambda}) - f(a, a^+)] e^{\lambda a^+ a} \quad /31/ \end{aligned}$$

Végezetül szeretnék köszönetet mondani Zimmer György tudományos munkatársnak, aki a koherens állapotokkal történő normálrendezés lehetőségét felvetette előttem és hasznos tanácsaival hozzájárult néhány problematikus rész tisztázásához.

### F ü g g e l é k

1. Határozzuk meg  $|\langle q' | \alpha \rangle|^2$  értékét. Bár [1] irodalom /3, 29/ képlete megadja  $\langle q' | \alpha \rangle$  -t, a pontos számolásból ki fog tűnni, hogy ez nem helyes.

Ismeretes, hogy

$$a = \sqrt{\frac{\omega}{2\hbar}} q + \sqrt{\frac{1}{2\hbar\omega}} ip$$

$\langle q' | q = \langle q' | q'$  ahol a  $q$  hermitikus operátor saját értékeit jelöltük  $q'$  -vel

$$\langle q' | p = -i\hbar \frac{d}{dq'} \langle q' |$$

$$a | \alpha \rangle = \alpha | \alpha \rangle$$

az utolsó kifejezés  $\langle q' |$  -vel való skalár szorzatát képezve:

$$\langle q' | a | \alpha \rangle = \langle q' | \left( \sqrt{\frac{\omega}{2\hbar}} q + \sqrt{\frac{1}{2\hbar\omega}} ip \right) | \alpha \rangle$$

$$\alpha \langle q' | \alpha \rangle = \sqrt{\frac{\omega}{2\hbar}} q' \langle q' | \alpha \rangle + \sqrt{\frac{\hbar}{2\omega}} \frac{d}{dq'} \langle q' | \alpha \rangle$$

kaptunk egy differenciálegyenletet  $\langle q' | \alpha \rangle$  függvényre.  
Rendezve

$$\frac{d}{dq'} \langle q' | \alpha \rangle = \left( \sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} \alpha - \frac{\omega}{\hbar} q' \right) \langle q' | \alpha \rangle$$

amelynek megoldása

$$\psi_{\alpha}(q') = \langle q' | \alpha \rangle = k \cdot \exp \left\{ - \left[ \frac{\omega}{2\hbar} q'^2 - \sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} \alpha q' \right] \right\}$$

Az integrációs állandót  $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi_{\alpha}(q')|^2 dq' = 1$  normálási feltételből határozhatjuk meg:

$$1 = k k^* \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ - \left[ \frac{\omega}{\hbar} q'^2 - \sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} (\alpha + \alpha^*) q' \right] \right\} dq'$$

[13]-ből véve az integrálértéket, kapjuk

$$k k^* = \sqrt{\frac{\omega}{\pi\hbar}} e^{-\frac{(\alpha + \alpha^*)^2}{2}} = k^2$$

Végezredményben:

$$|\langle q' | \alpha \rangle|^2 = \sqrt{\frac{\omega}{\pi\hbar}} e^{-\frac{(\alpha + \alpha^*)^2}{2}} \exp \left\{ - \left[ \frac{\omega}{\hbar} q'^2 - \sqrt{\frac{2\omega}{\hbar}} (\alpha + \alpha^*) q' \right] \right\} \quad /F.1./$$

2. Határozzuk meg  $|\langle p' | \alpha \rangle|^2$  értékét.

Megjegyezzük, hogy [1] irodalom /3.30/ képlete szintén nem helyes.

$$a = \sqrt{\frac{\omega}{2\hbar}} q + \sqrt{\frac{1}{2\hbar\omega}} ip$$

$$\langle p' | p = p' \langle p' |$$

$$\langle p' | q = i\hbar \frac{d}{dp'} \langle p' |$$

$$\alpha \langle p' | \alpha \rangle = i \sqrt{\frac{1}{2\hbar\omega}} p' \langle p' | \alpha \rangle + i \sqrt{\frac{\omega\hbar}{2}} \frac{d}{dp'} \langle p' | \alpha \rangle$$

Átrendezve:

$$\frac{d}{dp'} \langle p' | \alpha \rangle = - \left[ i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} \alpha + \frac{1}{\hbar\omega} p' \right] \langle p' | \alpha \rangle$$

melynek megoldása

$$\psi_{\alpha}(p') = \langle p' | \alpha \rangle = k \cdot \exp \left\{ - \left[ i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} \alpha p' + \frac{1}{2\hbar\omega} p'^2 \right] \right\}$$

Integrációs állandót megkapjuk  $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi_{\alpha}(p')|^2 = 1$  normálási feltételből [13] alapján, így:

$$kk^* = \sqrt{\frac{1}{\pi\hbar\omega}} \exp \left\{ \frac{(\alpha - \alpha^*)^2}{2} \right\}$$

Tehát

$$|\langle p' | \alpha \rangle|^2 = \sqrt{\frac{1}{\pi\hbar\omega}} \exp \left| \frac{(\alpha - \alpha^*)^2}{2} \right| \exp \left\{ - \left[ \frac{1}{\hbar\omega} p'^2 + i \sqrt{\frac{2}{\hbar\omega}} (\alpha - \alpha^*) p' \right] \right\} \quad /F.2./$$

### I r o d a l o m

- [1] Glauber, R.J.: Phys. Rev. 131, 2766 /1963/
- [2] Glauber, R.J.: Optical coherence and photon statistics. Quantum Optics and Electronics; /Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1964.
- [3] Marburger, J.H.: J.Math. Phys. 7, 829 /1966/
- [4] Agarwal, G.S. and Wolf, E.: Phys. Rev. Letts., 21, 180 /1968/
- [5] Lax, M. and Louisell, W.H.: Journ. of Quantum Electronics, QE-3, 37 /1967/
- [6] Heffner, H. and Louisell, W.H.: J.Math. Phys. 6, 474 /1965/
- [7] Louisell, W.H. and Walker, R.L.: Phys. Rev. 147, B 204 /1965/
- [8] Louisell, W.H.: "Radiation and Noise in Quantum Electronics" 3. fejezet /Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1964/
- [9] Salamon T.: /megjelenés alatt/
- [10] Louisell, W.H. and Marburger, J.H.: Journ. of Quantum Electronics, QE-3, 348 /1967/
- [11] Philip C. Tonne: Pacific Journ. of Mathematics, 21, 189 /1967/
- [12] Градштейн, И.С. и Рыжик, И.М.: "Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений" стр. 351 (Г.И. Физ-мат. литературы, Москва 1963)
- [13] Gröbner, W. und Hofreiter, N.: "Integraltafel - Bestimmte Integrale" 65. old. /Springer Verlag, 1950/

Érkezett: 1969. jan. 27.

KFKI Közl., 17.évf. 3.szám, 1969.

## SPONTÁN HASADÓ IZOMÉR ÁLLAPOTOK ÉSZLELÉSÉRE IRÁNYULÓ VIZSGÁLATOK

Irtá: Nagy László, Nagy Tibor és Vinnay István

### Összefoglalás

Pulzált neutronforrás és időanalizátorral történő regisztrálás módszerével előzetes méréseket végeztünk spontán hasadó izomér állapotok kutatására 14 MeV energiájú neutronokkal bombázott  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  esetén.

### Bevezetés

1962-ben a dubnai Egyesített Atommag Kutató Intézet Magreakciók Laboratóriumában egy ismeretlen izotópot találtak, mely spontán hasadásal bomlik, anomálishan rövid /kb. 0,02 sec/ felezési idővel [1, 2]. Arra következtettek, hogy e spontán hasadás a mag izomér állapotából történik. Ezt a feltevést a további mérések megerősítették /1. pl. Polikanov összefoglaló munkáját [3] /. Az ismeretlen spontán hasadó izotópot többféle reakció útján előállítva, csakhamar sikerült annak azonosítása / $^{242m}\text{Am}$ /, s a felezési idő pontos meghatározása / $t=14$  msec/ [4-6]. Ebből megállapítható, hogy az izomér állapotból történő spontán hasadás az alapállapotból történő spontán hasadáshoz képest kb.  $10^{21}$ -szer nagyobb valószínűséggel következik be [3].

A következő kutatások egy sor hasonló, feltehetően izomér állapotból spontán hasadó izotóp felfedezésére vezettek [7-13], melyek spontán hasadásának felezési ideje  $10^{-7}$  sec-től néhány percig terjed.

Ezeknek a rendkívül kis felezési idővel spontán hasadó izomér állapotú izotópoknak egyetlen megfigyelt bomlástípusa mind ez ideig a hasadás volt. Minden olyan törekvés, hogy az izomér nivó valamilyen más típusú /pl.  $\alpha$  / bomlását észleljék, negatív eredményre vezetett [14].

Azokkal a kutatásokkal párhuzamosan, amelyek újabb, anomálishan kis felezési idővel rendelkező spontán hasadó magok felfedezésére irányultak, részletes vizsgálat alá vetették a már ismert ilyen típusú ma-

gokat. A spontán hasadás felezési idején kívül sok esetben sikerült meghatározni az adott spontán hasadó magra vezető reakciók gerjesztési függvényét, az izomér hatáskeresztmetszet-viszonyt ( $\alpha_{mf}$ ), az izomér nivó gerjesztési energiáját ( $E_m^*$ ). A legrészletesebben tanulmányozott  $^{242m}\text{Am}$ -nál pl.  $^{243}\text{Am}(n,2n)^{242}\text{Am}$  reakció esetében,  $E_n = 14,7$  MeV neutron energiánál  $\alpha_{mf} \approx 4 \cdot 10^{-4}$  [15] és  $E_m = 2,9 \pm 0,4$  MeV [16]. Ilyen adatok több reakció és izomér esetére táblázatba foglalva megtalálhatók pl. Gangrszkij összefoglaló munkájában [17].

Az izomér állapotból spontán hasadó magok hasadásának mechanizmusát, sőt magát a hasadás jelenségét is igen nehéz értelmezni. Ha ugyanis az izomér nivó energiája kicsi, nem érthető miért nő meg a hasadás valószínűsége olyan nagy mértékben, ha viszont nagy a nivó energiája - s az eddig szerzett tapasztalatok alapján ezzel kell számolni [16, 18] - kérdés, miért nem  $\gamma$ -átmenettel jut a mag alapállapotba.

Bár a jelenség felfedezése óta annak értelmezését többen is megkísérelték [19-23], a felfedezést követő években csak tulságosan általános, számolással nehezen követhető képet sikerült alkotni a jelenségről.

Jelenleg úgy tűnik, hogy a jelenség értelmezéséhez az alapot Sztrutyinszkij elméleti eredményei adják meg. Sztrutyinszkij a magok héjszerkezetének a hasadási barrierre való befolyását figyelembe véve néhány nehéz mag hasadási barrierjére kétpupu görbét kapott [24], azaz a mag potenciális energiája a deformációs paraméter függvényében második maximummal is rendelkezik.

Feltevés szerint a spontán hasadó izomér állapotú magok ilyen kétpupu barrierrel rendelkeznek, s az izomér nivó a két pup közötti bemélyedés fenekén helyezkedik el. Ezzel a hipotézissel számolva Jungklausen kielégítően tudta magyarázni a  $^{242}\text{Pu}(d,2n)^{242}\text{Am}$  reakció során kapott kísérleti eredményeket [25]. Nix és Walker a kétpupunál bonyolultabb hasadási barrier lehetőségét tárgyalja [26].

Ma már mintegy husz izomér állapotból spontán hasadó izotóp ismeretes. A kísérleti adatokból annyit máris meg lehet állapítani, hogy ezek spontán hasadási felezési idejének  $Z^2/A$  függése  $Z$  a mag rendszáma,  $A$  a tömegszáma jelentősen kisebb, mint a közönséges spontán hasadó magoké [17]. További törvényszerűségek megállapítása végett szükséges még több ilyen típusú mag felfedezése, tulajdonságaik megismerése.

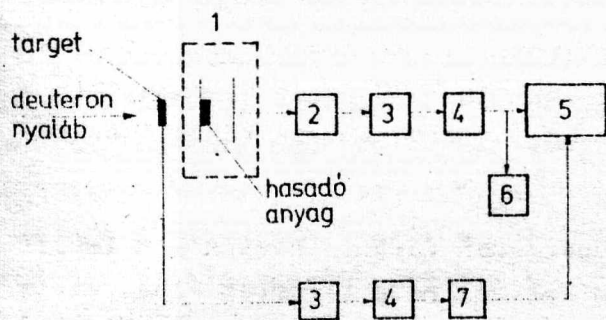
Jelen munka célja az volt, hogy 14 MeV energiájú neutronokkal besugárzott  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  magoknál kutassunk, eddig nem alkalmazott mód-

szerrel, esetleg létező spontán hasadó izomér állapotok után, az 1-10 msec nagyságrendű időtartományban.

### A mérőberendezés és mérés

A mérés elve a következő: a vizsgált anyagot impulzus üzemen neutronokkal sugároztuk be, és időanalizátor segítségével regisztráltuk a neutroncsomag időtartama alatt bekövetkező prompt hasadásokat, illetve a csomag befejeződése után a szünetben lezajló hasadásokat. A besugárzás 200 keV-os neutrongenerátornál történt.

Az alkalmazott mérőberendezés blokksémáját az 1. ábra mutatja.



1. ábra

A hasadási termékeket ionizációs kamra detektálta (1). A kamrában keletkező impulzusok előerősítőn (2), erősítőn (3) és diszkriminátoron (4) át időanalizátorba (5), illetve szkélerbe (6) jutottak.

Az időanalizátort a trícium-targetre rájutó deutériumnyaláb okozta áramimpulzusok indították, amelyek az időanalizátorba erősítő

(3), diszkriminátor (4) és késleltető egység (7) után jutottak. Minthogy a csomagok közti impulzusok várható száma rendkívül alacsony /óránként néhány beütés/ nagy gondot kellett fordítani mind a jel-, mind a startg zajmentességére. A mérésben használt diszkriminációs küszöbök mellett neutronnyaláb nélkül több órás mérésben egyetlen impulzust sem kaptunk.

Az ionizációs kamrában az elektródok közötti távolság 1,8 cm, a feszültségkülönbség 2000 V volt. A kamrát 2 atm. nyomású argon gázzal töltöttük meg, amelyhez 2% széndioxidot adagoltunk. A rétegtartó alumínium fóliát közvetlenül a nagyfeszültségű elektródra helyeztük. Az adott térerősség és gázösszetétel mellett a hasadási termékektől és  $\alpha$ -részecskéktől származó impulzusok 1-2  $\mu$ sec felfutásúak voltak.

A hasadó anyagokat a rétegtartókra ecseteléssel vittük fel. A rétegek átmérője 10 cm, a  $^{235}\text{U}$  réteg vastagsága 1,5 mg/cm<sup>2</sup>, a  $^{238}\text{U}$  rétege 1,2 mg/cm<sup>2</sup> volt. Az ionizációs kamrát a neutronforrás közvetlen közelébe helyeztük, a trícium-target és uránréteg közötti távolság így kb. 1 cm volt.

A neutroncsomagokat az ionnyaláb szaggatásával hoztuk létre. Ezt kétféle módon valósítottuk meg: elektronikusan, ill. mechanikus uton. Előbbi esetben a nagyfrekvenciás ionforrásra adott kihuzófeszültséget nagyfeszültségű impulzusgenerátor szaggatta úgy, hogy a csomagok közötti szünetekben a kihuzó elektródra 450 V ellenfeszültséget adott, egyidejűleg leállítva az ionforrás gerjesztő oszcillátorát is. Az impulzusok ismétlődési frekvenciája 80 Hz, az ioncsomagok szélessége 0,6 msec volt.

Mechanikus ionnyaláb-szaggatás esetében az ionnyaláb szaggatását egy 1 mm vastag, 10 cm átmérőjű rozsdamentes acéltárcsa végezte, amelynek a kerülete mentén az ionok áteresztése céljából egy 0,5 cm széles, sugárirányban 1 cm hosszú rést vágtunk ki. A gyorsítócsőben a nyaláb utjába helyezett tárcsát kívülről motor forgatta. Az ionnyaláb a tárcsa forgása közben csak a résen juthatott át. A tárcsára eső ionnyaláb átmérője 0,5 cm volt. A tárcsa percenkénti 1000 fordulatszáma mellett az ioncsomagok szélessége kb. 2 msec, az ioncsomagok közötti szünetek hossza pedig 60 msec volt.

A neutroncsomagok közötti szünetekben várható nagyon kis impulzusszám miatt számolni kellett a terem faláról és a teremben elhelyezett védelmi paraffinfalról visszaverődő lassu neutronok hatásával. A kamra és a falak közötti távolság helyenként 5-6 méter, ezért pl. a termikus neutronok a neutroncsomagok megjelenése után 5-6 msec idő múlva is okozhattak hasadást a vizsgált rétegben. Ennek az effektusnak a kiküszöbölése végett a kamrát 1 mm vastag kadmium-lemezzel vettük körül. A kadmium-lemezen átjutó 0,4 eV-nál nagyobb energiájú neutronok hatása miatt a neutroncsomagok után 1 msec időintervallumban bekövetkező események nem értékelhetők spontán hasadásként. Ugyancsak elvesznek a regisztrálási időből az időanalizátor-ciklus befejezésétől a következő indító jelig eltelt idők. A regisztrált hasadások számát ezekre az idővesztésekre nézve korrigáltuk.

### Mérési eredmények

Az elektronikus nyalábszaggatás esetén, amikor a neutroncsomagok szélessége 0,6 msec, a szüneteké 12 msec, 128 csatornás időanalizátort használunk, amelynél a csatornaszélesség 64  $\mu$ sec volt. A startjel megfelelő késleltetésével elértük, hogy az analizátor a neutroncsomagokból azonnal keletkező /prompt/ hasadásokat és a csomagok közötti szünetekben bekövetkező hasadásokat egyaránt regisztrálja.

Mechanikus nyalábszaggatás esetén 512 csatornás időanalizátort használtunk 128  $\mu$ sec csatornaszélességgel. Ez esetben az értékelhető idő-



tartományt az csökkentette, hogy a szaggató tárcsát hajtó motor fordulatszám a tárcsa, ill. a tengely felmelegedése miatt működés közben változott, ez a neutroncsomag határait az analizátoron szétkenete.

A mérési eredmények az I. táblázatban láthatók.

	Elektronikus nyaláb- szaggatás		Elektronikus nyaláb- szaggatás	
	$U^{235}$	$U^{238}$	$U^{235}$	$U^{238}$
$\sigma_m$ [cm <sup>2</sup> ]	$< 4 \cdot 10^{-28}$	$< 1 \cdot 10^{-28}$	$< 5 \cdot 10^{-29}$	$< 6 \cdot 10^{-29}$

Mint hogy a szünetekben kapott beütésszám, illetve annak egy része háttérből származhatott, az izomér állapot keletkezési hatáskeresztmetszetére csak felső korlátot tudunk adni. A közölt adatok statisztikus hibája mintegy 50%. A méréseknek e fázisában nem törekedtünk nagyobb pontosságra, mivel a mérések fő célja a spontán hasadó izomérek kutatására kidolgozott módszer kipróbálása volt.

Az eredmények összehasonlítása alapján úgy tűnik, hogy az elektronikus szaggatás a szünetekben nem biztosította a teljes neutronmentesítést. Lehetséges, hogy az ionforrás nem aludt ki teljesen a szünetek idejére, ill. az alkalmazott ellentér nem 100%-osan akadályozta meg az ionkilépést. Felvethető természetesen az a gondolat is, hogy a kétféle módszer esetén a  $\sigma_m$  értékekre kapott eltérések abból származnak, hogy elektromos szaggatás esetén msec nagyságrendű, a mechanikus szaggatásnál pedig 10 msec nagyságrendű felezési idejű spontán hasadó izomér magok keletkezési valószínűségére tehetünk kijelentést.

Méréseink alapján lehetségesnek látszik spontán hasadó izomér állapotok kutatása a közölt módszerrel. Ehhez kívánatos az elektronikus szaggatás tökéletesítése, mert ez a mechanikusnál jóval rugalmasabb lehetőséget ad a vizsgálni kívánt időtartomány megválasztására, így az eddig alkalmazott technikákkal el nem érhető tartományok is vizsgálhatóvá válnak.

Köszönetünket fejezzük ki G.N.Fljorov akadémikusnak, aki ez irányu méréseinkhez ösztönzést és első utmutatást adott, továbbá Sz.M. Polikanovnak és J.P.Gangrszkijnak, az EAI munkatársainak, az értékes diszkusszióért.

I r o d a l o m

- [1] Поликанов, С.М., Друин, В.А., Карнауков, В.А., Михеев, В.Л., Плева, А.А., Скобелев, Н.К., Субботин, В.Г., Тер-Акопьян, Г.М., Фомичев, В.А.: ЖЭТФ, 42, 1464 (1962.)
- [2] Перельгин, В.П., Алмазова, С.П., Гвоздев, Б.А., Чубурков, Ю.Г.: ЖЭТФ, 42, 1472 (1962.)
- [3] Поликанов, С.М.: Успехи физ. наук, 94, 43 (1968)
- [4] Поликанов, С.М., Ван Тун-сен, Кекк, Х., Михеев, В.Л., Оганесян, Ю.Ц., Плева, А.А., Фефилов, Б.В.: ЖЭТФ, 44, 804 (1963)
- [5] Флеров, Г.Н., Поликанов, С.М., Гаврилов, К.А., Михеев, В.Л., Перельгин, В.П., Плева, А.А.: ЖЭТФ, 45, 1396 (1963)
- [6] Linev, A.F., Markov, B.N., Pleva, A.A. and Polikanov, S.M.: Nucl. Phys. 63, 173 /1965/
- [7] Поликанов, С.М., Кучев, А.М., Марков, Б.Н., Плева, А.А.: Препринт ОИЯИ Р-2115, Дубна (1965)
- [8] Лобанов, Ю.В., Кузнецов, В.И., Перельгин, В.П., Поликанов, С.М., Оганесян, Ю.Ц., Флеров, Г.Н.: Я.ф. 1, 67 (1965)
- [9] Друин, В.А., Скобелев, Н.К., Фефилов, Б.В., Кузнецов, В.И., Лобанов, Ю.В., Оганесян, Ю.Ц.: Препринт ОИЯИ Р-1580, Дубна (1964)
- [10] Кузнецов, В.И., Скобелев, Н.К., Флеров, Г.Н.: Я.ф. 4, 99 (1966)
- [11] Кузнецов, В.И., Скобелев, Н.К., Флеров, Г.Н.: Я.ф. 4, 279 (1966)
- [12] Гранский, Ю.П., Марков, Б.Н., Поликанов, С.М., Харисов, И.Ф., Юнгклауссен, Х.: Препринт ОИЯИ Р-2673, Дубна (1968)
- [13] Borggreen, I., Gangrsky, J.P., Sletten, G., Bjornholm, S.: Phys. Lett., 25B, 402 /1967/
- [14] Leachman, R.B., Erkila, B.H.: Bull. Am. Phys. Soc., 10, 1204 /1965/
- [15] Flerov, G.N., Pleva, A.A., Polikanov, S.M., Ivanov, E.I., Martalogu, N., Poenaru, D., Vilcov, N.: Physics and Chemistry of Fission, v. 1, 307 /1965/
- [16] Flerov, G.N., Pleva, A.A., Polikanov, S.M., Tretiakova, S.P., Martalogu, N., Poenaru, D., Sezon, M., Vilcov, I., Vilcov, N.: Nucl. Phys., A97, 444 /1967/
- [17] Грангрский, Ю.П.: Препринт ОИЯИ Р6-4307, Дубна (1969)
- [18] Bjornholm, S., Borggreen, J., Westgaard, L., Karnaukhov, V.A.: E7-3160, Dubna /1967/
- [19] Hyde, E.K., Perlman, I., Seaborg, G.T.: The Properties of the Heavy Elements. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. New Jersey, /1964/
- [20] Bowman, C.D., Auchampaugh, G.F.: CN-23/38. Conf. on Nucl. Data-Microsc. Cross Sections and Other Data Basic for Reactors, Paris, 17-21 October /1966/
- [21] Price, P.V., Walker, R.M.: J. Appl. Phys. 33, 3400 /1962/
- [22] Price, P.V., Walker, R.M.: Phys. Lett., 3, 137 /1962/
- [23] Перельгин, В.П., Третьякова, С.П., Звара, И.: ПТЭ 4, 78 (1964)
- [24] Strutinsky, V.M.: Nucl. Phys., A95, 420 /1967/
- [25] Друин, В.А., Скобелев, Н.К., Фефилов, Б.В., Кузнецов, В.И., Лобанов, Ю.В., Оганесян, Ю.Ц.: Препринт ОИЯИ Р-1651, Дубна (1964)
- [26] Nix, J.R., Walker, G.E.: Los Alamos, New Mexico nov. 15, /1968/ Preprint LA-DC-10, 114.

## MÁGNESZALAG KEZELŐ RENDSZER BUBORÉKKAMRÁS ESEMÉNYEK TÁROLÁSÁHOZ

Irta: Telbisz Ferenc

### Összefoglalás

A buborékkamrás események mágnesszalagon történő tárolásával kapcsolatban kidolgoztunk egy rendszert, amely alkalmas tetszőleges eredetű, nagy mennyiségű adat tagolt tárolására, amely az ICL összetett adat-file kezelő rendszer kibővítésének tekinthető. A kifejlesztett szubrutinok részben a szentinelokkal történő manipuláció megkönnyítésére, részben a mágnesszalagok használatának automatikus nyomon követésére és a szalagokon levő információ védelmére szolgálnak. Az ismertetett szubrutinok a KFKI ICL számítógép MASTER LIBRARY TAPE-en megtalálhatók.

1. Minden buborékkamrás kísérletnél nagy számú eseményt kell feldolgozni. Ez csak úgy lehetséges, ha az eseményeket a feldolgozásnak minél korábbi fázisában, lehetőleg közvetlenül a mérés után mágnesszalagra visszük, és az átmeneti eredményeket ugyancsak mágnesszalagon tároljuk.

A mágnesszalagos rendszernek két fontos követelményt kell kielégítenie.

- a/ Az adatok megfelelően tagolt, strukturált formában legyenek tárolva, hogy ilyen módon a könnyű hozzáférés biztosítva legyen.
  - b/ Ha hibás programkezelés, fizikai megrongálódás vagy egyéb ok miatt a mágnesszalagon levő információ megsérül, lehetőleg csak a ténylegesen megsérült rész vesszen el, a többi maradjon hozzáférhető állapotban.
2. Ezen két követelmény kielégítésére célszerűnek látszott, hogy a FORTRAN mágnesszalag kezelő rendszer helyett az ICL összetett adat-file rendszerét vegyük át [1]. A rendszernek két fő jellemzője:
    - a/ az adatok subfile-okba rendezhetők;
    - b/ van egy speciális 2 szavas block, az un. tape mark /a.továbbiakban TM/, amit az elektronika is detektál, így ezek segítségével könnyű a szalagot előre-hátra mozgatni.

Az összetett adatfile kezelésére elég jó szubrutin-rendszer áll rendelkezésre, ami FORTRAN és PLAN szegmensekből könnyen hívható, és némi óvatossággal ALGOL programokból is használható.

3. Az események tárolása a mágnesszalagon a következő formában történik.
  - 3.1. Az események subfile-okba vannak rendezve, amelyek nevét a felhasználó határozza meg. Minden subfile Start of subfile Sentinel-lel kezdődik, (SSS), utána Start of Data Sentinel (SDS) következik. Az események User's Sentinel-lel (US) kezdődnek, a subfile végét End of Subfile Sentinel (ESS) jelzi. Itt eltértünk egy kicsit az ICL rendszertől, amennyiben az ESS-ben nem a subfile-ben található adatblokkoknak, hanem az eseményeknek a számát jegyeztük fel.
  - 3.2. Az egyes események kezdetét jelző US-nek a 20 szavas qualifier block-jában a következő adatok kerülnek feljegyzésre.
    1. szó #00000004, az US jelzése
    2. szó az esemény sorszáma /ill. a subfile-ben ezt megelőző események száma/
    3. szó } 0 /kötelezően előírt az összetett adatfile-okra./
    4. szó }
    5. szó az esemény azonosítási száma /felvételszám/
    6. szó az adatok feldolgozási fokát jelző 4 karakteres szó, pl.:  
DIGI: nyers mérési adatok  
GEOM: geometriai programmal feldolgozott esemény
    7. szó a vertexek száma
    8. szó nem meghatározott, esetenként az eddigi feldolgozásra jellemző adatok
    9. szó az eseményhez tartozó alakzatok száma = vertexek száma + nyomok száma + 1
    10. szó az esemény geometriai típusát /topológiáját/ jellemző szám [2]
    - 11-20. szó felhasználó információi: L. a speciális programok leírásait.
  - 3.3. Az US után következnek az eseményhez tartozó számadatok, adatblokkba rendezve. /Bővebben: lásd az egyes programok leírásait./
4. A fenti rendszer kényelmes kezeléséhez az ICL által készített szubrutin-rendszert ki kellett egészíteni.

4.1. A gyári szubrutinokkal csak SSS-t és ESS-t lehet írni, ill. keresni, ezért más típusu sentinelek irására és keresésére is írtunk szubrutinokat. Az alább leírásra kerülő három szubrutinnál MTU a mágnesszalag relatív számát jelenti, L és M pedig COMPRESS INTEGER módban deklarált husz szavas INTEGER tömbök. M tartalmazza az irandó, ill. beolvasandó sentinel qualifier block-ját. L és M szerepére az egyes szubrutinok ismertetésénél még visszatérünk. Mindhárom szubrutin használható COMPRESS INTEGER és NON COMPRESS INTEGER módban is. Az utóbbi esetben fellépő nehézségeket, ill. eltéréseket a megfelelő helyeken említjük majd meg.

4.1.1. Sentinel író rutin. Hívása  
CALL WSENT (MTU, N, M)

Az MTU relatív számu mágnesszalagra egy US-t vagy SDS-t ír. /Más típusu sentinel irásának megkísérlése hibaként jelentkezik./ M a qualifier blokkot tartalmazó tömb azonosítója /vagy első szava/. Ha

M(1) = 2 Start of Data Sentinel,

M(1) = 4 User's Sentinel.

N : a qualifier block második szavába beírandó érték /szóköszösen: SDS esetén a maximális blokkméret, US esetén az esemény sorszáma/, de esetenként ezektől különböző más érték is lehet.

A visszatérés után M (2), M (3), M (4) = 0. A mágnesszalag a qualifier block után áll. Hibajelzés, ha nem SDS-t vagy US-t akartunk írni, vagy írás közben End Point Marker-t talált: M(1) előjelét ellenkezőre változtatja.

4.1.2. Sentinel kereső rutin. Hívása  
CALL FSENT (MTU, L, M)

Az MTU rel. számu mágnesszalagon előre haladva /a szalag visszacsévézése nélkül!/ megkeresi az L és M által meghatározott sentinel.

M-ben található a keresett qualifier block mintája. Itt csak azokat a szavakat kell kitölteni, amelyeket jellemzőknek tekintünk, a többi szó tartalma közömbös. Az L tömbben található rendre egymás után az, hogy a qualifier block milyen sorszámu szavait kell összehasonlítani az M megfelelő helyen álló szavai-

val. A szubrutin a vizsgálatot a következőképpen végzi: sorra veszi L elemeit, előlről kezdve. Ha a megfelelő elem pozitív, akkor a beolvasott blokknak és M-nek az ilyen sor-számu szavait összehasonlítja, ha 0, nem végez összehasonlítást, ha pedig L valamelyik elemében negatív számot talál, semmilyen további összehasonlítást nem végez, ezért L 20-nál kevesebb elemü tömb is lehet. Tekintettel arra, hogy NON COMPRESS INTEGER módban az egész változóknak csak az első feléhez tudunk hozzáférni /a második felükben 0 áll!/, ilyenkor L-ben legfőljebb 10 különböző szót tudunk kijelölni összehasonlításra. Ha valamennyi összehasonlitandó szó megegyezett, a szalagot a sentinel TM-ja után állítja. Ha nem egyezett meg minden kívánt szó, a keresést tovább folytatja egészen a Trailer Label (TL)-ig. Ha a keresés sikertelen volt, M(1) előjelét ellenkezőre változtatja. A szalag ilyen esetben a Trailer Label-nek a TM-ja után áll.

#### 4.1.3. Szubrutin sentinel keresésére és beolvasására.

Hívása:

CALL RESENT (MTU, L, M)

A mágnesszalagon előre haladva megkeresi az L és M által meghatározott sentinel, és ha megtalálta, a sentinel qualifier blockját az M tömbbe be is olvassa.

L és M szerepe ugyan olyan, mint az FSENT rutinnál /lásd 4.1.2./

Az eljárás addig folytatja a keresést, amíg vagy ESS-t vagy TL-t nem talál. Ha a keresés sikeres volt, a szalagot a qualifier block után állítja, ha a keresés sikertelen volt M(1) előjelét ellenkezőre állítja és a szalag a TL után áll.

4.2. A rendszerint egymáshoz kapcsolódó, egymás után végzendő műveleteket összekapcsoló, ill. a mágnesszalagok használatának automatikus nyilvántartására és védelmére szolgáló szubrutinokat is irtunk. Ezek 3 mágnesszalag egyidejű kezelésére alkalmasak, amelyeket 1, 2, ill. 3 relatív számmal kötnek le.

4.2.1. A szubrutinok egymással egy COMMON blockon keresztül közlekednek:

COMMON/MAGTAPE/ NAME (3,3), NEVENT (3), MP (3), NK (3)

NAME (1,K) első karakter pozíciójától kezdődően van a K relatív sorozámmal lekötött mágnesszalagon utoljára megnyitott subfile nevén a K kártya

NEVENT (K) az K.rel. sorszámú MT-n az utolsó megnyitott subfile-ban levő események száma

MT (K) az K.rel. sorszámú mágnesszalag állapotát jelzni  
MT (K) = 0 ilyen rel.sorszámmal nincs megnyitva MT  
= 1 utoljára írás történt rá  
=-1 utoljára olvastunk róla.

NK (K) az K.rel. sorszámú MT utolsó megnyitott subfile-ja elejéről elhagyandó események száma /lásd 4.2.2. pont/.

Valamennyi, a COMMON-ban szereplő változó COMPRESS INTEGER módban van deklarálva. Ha ezekhez más szegmensből akarunk hozzáférni, ezt figyelembe kell venni.

#### 4.2.2. Mágnesszalagok, ill. subfile-ok megnyitására szolgáló szubrutin.

Hívás:

CALL OPENMT (K, L, MODE, INP)

INP input buffer, ami legalább 80 karakter befogadására alkalmas tömb azonosítója, vagy első eleme. Ha  $K > 0$ , az input bufferbe beolvassa a megnyitandó MT file nevét és subfile nevét.

Formátuma:

FORMAT (1HV, A12, 1X, A12)

Ha  $K < 0$ , az input bufferben található karakter információt használja fel, (input perifériát nem mozgat!)

K ABS (K) = a megnyitandó MT rel. száma

MODE a megnyitandó MT módusa. /lásd [1], TOPEN rutin leírása/. Ha ilyen számon már van megnyitott MT, nem nyit újabbat.

L a megnyitott MT-n megkeresi az adott nevű subfile-t.

$L > 0$  a subfile végét keresi meg és NEVENT (K) -be beírja az ESS második szavát /események, ill. blokkok száma/ és az ESS TM-ja elé áll.

$L = 0$  mint  $L > 0$  esetén, de a subfile elejére visszacsévéli a szalagot.

$L < 0$  a subfile elejét keresi meg és NEVENT (K) = 0

Ha ilyen nevű subfile-t nem talál, ír egy ilyen nevű SSS-t és utána SDS-t.

Ha  $L = 0$ , megadható az is, hogy ne a subfile elejére csévélje vissza a szalagot, hanem az NK (K) - adik esemény után állítsa. Ilyenkor NK(K)-t a subfile neve után kell megadni, ugyanabban a sorban 2X, I4 formátum szerint, de oktál szám alakban.

A file és subfile nevével együtt a működés eredményéről subfile FOUND, ill. CREATED, valamint NEVENT (K) értékéről (NE = ) az INP-ban ad karakter formában információt, valamint a QINT rutinban meghatározott periférián output-at is /lásd 4.2.6/.

Üzenet példák:

```
JOHANNA FILE EMANUEL SUBF CREATED LEONORA  
FILE SUBRILE NEVE FOUND NE = 0017
```

4.2.3. Egy adatblokk irására szolgáló rutin. Hívása:

```
CALL WRITEBLOCK (X, N, MT)
```

X a kiírandó blokk kezdő címe

N az átvendő szavak száma

MT a mágnesszalag rel.szám

4.2.4. Egy adatblokk olvasására szolgáló rutin. Hívása

```
CALL READBLOCK (X, N, MT)
```

X a beolvasandó adatokat befogadó input blokk kezdőcíme

N } lásd 4.2.3.  
MT }

4.2.5. Hibarutinként, ill. program befejezésként használható rutin. Hívása:

```
CALL HERMES (N)
```

N hibakód szám

N = 101 /decimális/ ≡ 145 /oktális/:

a WRITEBLOCK nem tudta az írást végrehajtani

N = 106 /decimális/ ≡ 152 /oktális/

a READBLOCK nem tudta az olvasást végrehajtani



N = 117 /decimális/ = 165 /oktális/  
OPENMT-ben több eseményt akartunk kihagyni a  
subfile elejéről, mint amennyi van a subfile-ban.  
N = 120 /decimális/ = 166 /oktális/ fenntartott hívás  
N = 200 /decimális/ = 310 /oktális/ a szalagok felszabadi-  
tása után EXIT hívása helyett RETURN van.

Azokra a szalagokra, amelyekre utoljára irás történt,  
ESS-t ír, /a 2. szóba NEVENT (K)-t írja be/, a megnyitott  
szalagokat UNLOAD-olja és EXIT-et hívja.

A QINT output rutinon keresztül kinyomtatja az N paramé-  
ter értékét, továbbá a mágnesszalag állapotát; minde-  
gyiken az utolsó kezelt subfile-ban levő események szá-  
mát, 4 db oktális szám formájában.

Például:

ERROR : 0145 0037 0010 0000

Ez az üzenet a következőt jelenti: a 145-ös hiba követ-  
kezett be, azaz a WRITEBLOCK nem tudta az irási utasi-  
tást végrehajtani, az 1-es MT-on kezelt utolsó subfile-  
ban 37 /oktális! / db esemény van, a 2-es MT-n 10 db, a  
3-as MT-n az utolsó vizsgált subfile üres /vagy esetleg  
3-as relativ számmal nem volt mágnesszalag lekötve! /.

#### 4.2.6. Megjegyzések

- 1/ A rendszer által használt output rutin neve: QINT.  
Hívása CALL QINT (A) , ahol A a kinyomtatandó tömb  
azonosítója, vagy első eleme. A jelenlegi rutin a 2-es  
logikai sorszámmal lekötött lassu perifériát használ-  
ja és ezen FORMAT (10A8) szerint kiírja az A tömb  
tartalmát (max. 80 karaktert.) Természetesen ugyanilyen  
néven más rutin is adható a könyvtár végigolvastatása  
előtt.
- 2/ A HERMES hívja a TIMES rutint, ami az utolsó hívása  
óta (ha ilyen nem volt, akkor a program betöltésének  
megkezdése óta) eltelt időt kinyomtatja ugyancsak a  
2-es logikai számú lassu periférián.

3/ A rendszer helyes működéséhez szükséges, hogy minden olyan szalaghasználat esetén, ami nem ezeken a rutinokon keresztül történik, a /MAGTAPE/ COMMON block regisztereinek tartalmát a felhasználó megfelelően módosítsa.

4.3. Valamennyi szubrutin a mágnesszalag használatának idejére a program futását felfüggeszti.

#### 5. A szubrutinok használata

5.1. Valamennyi, a 4. pont alatt említett szubrutin a MASTER LIBRARY TAPE-en megtalálható a BSSY szubrutin blokkban. A szubrutinok bemásolódnak a READ FROM (MT,-.BSSY) utasítás hatására. Ez után még szerepelnie kell a READ FROM (MT,-.FSCE) utasításnak is.

5.2. Az OPENMT rutin használatához a programban valahol el kell helyezni a

CALL VLPSF

utasítást. Ezenkívül, ha az OPENMT rutinnal lassu perifériáról akarjuk beolvasatni az adatokat ahelyett, hogy az INP tömbön keresztül adnánk át, az input szubrutin rendszer valamelyik periféria nyitó rutinjával [3] még az első hívása előtt meg kell nyitnunk a megfelelő input perifériát.

#### I r o d a l o m

- [1] ICT 1900 FORTRAN Gépi Reprézntáció KFKI Manual /1967/
- [2] Aczél Gy., Krammer G., Pósch M., Surányi Gy., Telbisz F., Vesztergombi Gy.: Geom.progr./Megjelenés alatt/
- [3] Input Szubrutin rendszer KFKI Programkönyvtár SA/01.121

Érkezett: 1969. ápr. 18.  
KFKI Közl. 17.évf. 3.szám, 1969.

## TERMOLUMINESZCENS ÜVEGDOZIMÉTER

Irta: Békés Mártonné, Fehér István,  
Deme Sándor és Suha Zoltán <sup>\*</sup>/

### Összefoglalás

Ismertetjük a termolumineszcens üvegdoziméterek hazai előállítását és főbb dozimetriai tulajdonságait. Az általunk készített üvegdoziméterek összetétele közelítően megegyezik az irodalomban [3] leírt összetétellel. A Mn-aktivátor optimális koncentrációját 0,06-0,08%-osnak találtuk. Az általunk készített dózismérő és kiértékelő berendezés 30 mR-3000 R tartományban lineáris. Az üveg energiafüggése 0,5 mm Cd szűrővel jelentősen csökkenthető. Az üvegdozimétereket elsősorban baleseti és lokális /pl. kéz/ dozimetriai mérésre használjuk.

### Bevezetés

A termolumineszcens elven működő doziméterek az utóbbi időben egyre szélesebben terjednek el, mert a radiofotolumineszcens dózismérőkkel kombináltnan alkalmazva őket szinte az összes külső béta és gamma besugárzás személyi dozimetriai problémája megoldható segítségükkel [1, 2]. Mindkét típusra jellemző a kis méret, nagy érzékenység, nagy lineáris tartomány, s jól egészítik ki egymást abból a szempontból, hogy míg a termolumineszcens dózismérő kiolvasása az információ törlésével jár, s így elsősorban a differenciális dózisértékek meghatározására alkalmas, addig a fotolumineszcens dózismérőknél a kiolvasáskor nem vesz el az információ, tehát kiválóan alkalmasak a felhalmozott dózis meghatározására. Ha összehasonlítjuk a két említett típus együttes alkalmazási lehetőségét a jelenleg széleskörűen használt kondenzátorkamra-filmdoziméter kombinációval, akkor megállapíthatjuk, hogy a termolumineszcens doziméter - a kiolvasás viszonylagos nehézségétől eltekintve - lényegesen jobban használható a kondenzátorkamránál, mert mindig mérésre kész /nem kell használat előtt feltölteni/, dózismérési tartománya két-három nagyságrenddel nagyobb, olcsó, mechanikailag érzéketlen. Hasonló okból előnyösebb a fotolumineszcens dózismérő a filmdoziméternél. A radiofotolumineszcens doziméter előnyei a

---

<sup>\*</sup>/ Karcagi Üvegyár, Berekfürdő

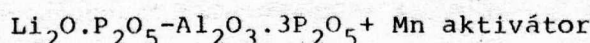
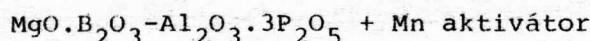
filmmel szemben elsősorban könnyű kiértékelési módja, a kiértékelés utáni további felhasználás lehetősége /ami az összegeződő hibát jelentősen csökkenti/, továbbá a külső behatások iránti kis érzékenysége.

A két új típusú doziméter közül a termolumineszcens doziméter hazai előállításával foglalkoztunk. A termolumineszcens üveg segítségével számos olyan problémát meg tudtunk oldani /baleseti dozimetria, résztest-, elsősorban kézdozimetria/, melyek a korábbi eszközökkel kevésbé voltak megoldhatók.

Az irodalomban leírt és rutin dozimetriai célra használt kristályok /LiF, CaF<sub>2</sub>, stb./ és termolumineszcens üveg közül mi az utóbbit állítottuk elő. Választásunk azért esett a termolumineszcens üvegre, mert aktivátora jól ismert makromennyiségű mangán, mechanikai és kémiai ellenállóképessége /üvegtabletták formájában használják/ kedvezőbb, és olcsóbb, mint az egykristály vagy kristályporos termolumineszcens anyagok.

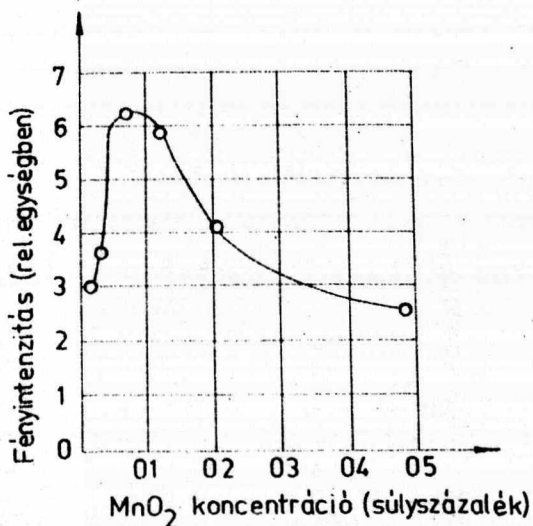
#### A termolumineszcens üveg előállítása

A termolumineszcens üveg összetételét, előállítási módját, és főbb dozimetriai jellemzőit szovjet [4], majd csehszlovák szerzők [5] ismertették. Adataik szerint legeredményesebben mangán alkalmazható az alapanyagként használt aluminofoszfát üveg aktiválására. Az irodalmi adatok alapján kiindulásul az alábbi molekuláris üvegeképletek szolgáltak:



Az első olvasztási kísérletek azonban azt bizonyították, hogy az előbbieken megadott molekuláris üvegeképletek alapján nem olvasztható stabil és tiszta üveg. Ezért elsősorban cinkoxidot alkalmaztunk kétértékű oxidként magnéziumoxid helyett, mivel a cinkoxid nagymértékben növeli az aluminofoszfát üvegek mechanikai szilárdságát, kémiai ellenállóképességét és az olvasztási stabilitást. Az olvasztási hőfok 1300°C volt, majd 620°C-on feszültségtelenítettük az üveget. Az üvegorongokat csiszoltuk, és a sík felületeket poliroztuk.

A kísérletek folyamán mintegy 40 féle üvegösszetételt vizsgáltunk meg. Az érzékenység, a kifutási görbe /glow-görbe/ és az előállítás technológiai megbízhatósága alapján az alábbi összetételt találtuk optimálisnak: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 70%, SiO<sub>2</sub> 2%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 9,5%, ZnO 9,5%, SrO 4,5%, MgO 1%, AlF<sub>3</sub> 1,5%, ZnS 2%.



1. ábra

Az optimálisnak talált üveg érzékenysége a Mn-koncentráció függvényében.

### A dozimetriai tulajdonságok vizsgálata

Az üvegdozimétereket - az energiafüggés mérésének kivételével - <sup>60</sup>Co sugárforrással sugároztuk be. Ehhez a [6] -ban leírt besugárzó berendezést használtuk, mely a 250 R/h-ig terjedő intenzitású térben tette lehetővé a  $\pm 1$  sec pontosságú besugárzást. Az energiafüggést Stabilivolt 200-as röntgengéppel mértük.

Az üvegek kiértékelésére a 2. ábrán bemutatott összeállítást használtuk. A fej lehetővé tette az üvegek max. 3°C/s sebességű felfűtését, vagy az állandó hőmérsékletű fűtést. Az előbbi a kifűtési görbe felvételekor, az utóbbit a teljes fény mennyiség mérésénél használtuk. A fej víz-hűtésű, hogy a melegedés okozta háttérváltozást el tudjuk kerülni.

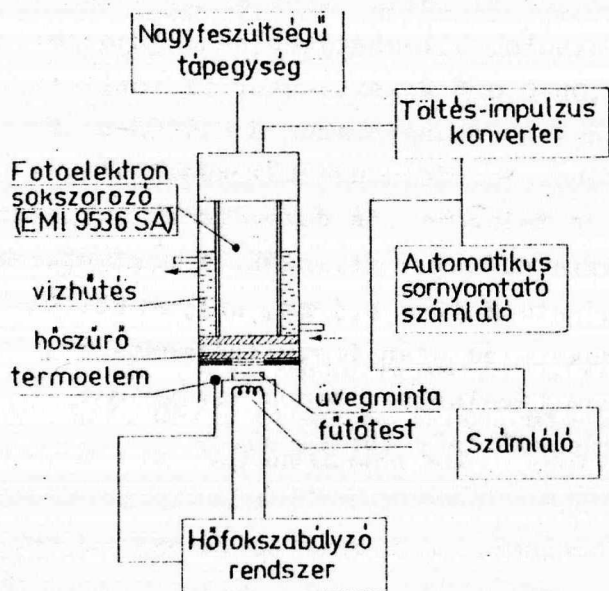
A 3. ábrán látható az üvegre jellemző kifűtési görbe. Ez egy, meglehetősen széles maximummal rendelkezik, a csúcs kb. 250°C-nál van.

Az üvegdoziméter a gamma-dózist 30 mR-től mintegy 3000 R-ig lineárisan méri, nagyobb dózisok esetén a görbe telítésbe megy /4. ábra/.

Az egy sorozatból /öntésből/ származó üvegek sulyra normált érzékenységének szórása  $\pm 4\%$ . A különböző sorozatból közötti eltérés 10-15%-ot is elért.

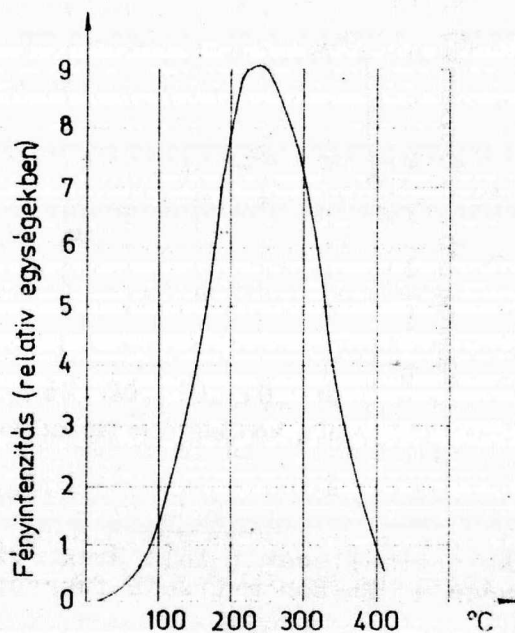
Az üvegek melegítés hatására besugárzás nélkül is emittálnak fényt.

Ebből az összetételből több mintát készítettünk különböző mangán-koncentrációval. Mint az 1. ábrán is látható, a legnagyobb érzékenységet 0,06-0,08% Mn aktivátor biztosította. Nagyobb mennyiségben a 0,066%-os Mn koncentrációju üvegből készítettünk dozimétereket. A doziméterek teljesen átlátszóak, viztiszták. A doziméterek mérete  $\varnothing 12 \times 1,5$  mm, sulyuk kb. 0,5 g. Hőkezelés után feszültségmentesek, sem tároláskor, sem a vizsgálati fűtéseknel nem törtek el.



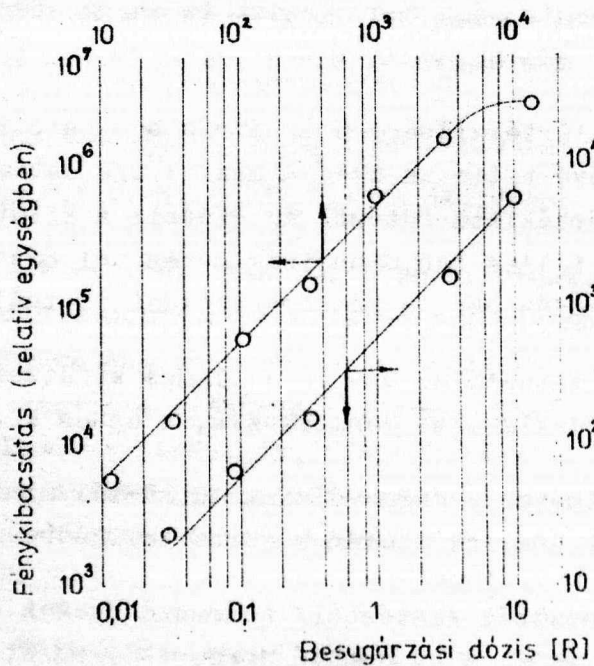
2. ábra

Az üvegkiértékelő összeállítás vázlatja.



3. ábra

Kifűtési görbe.

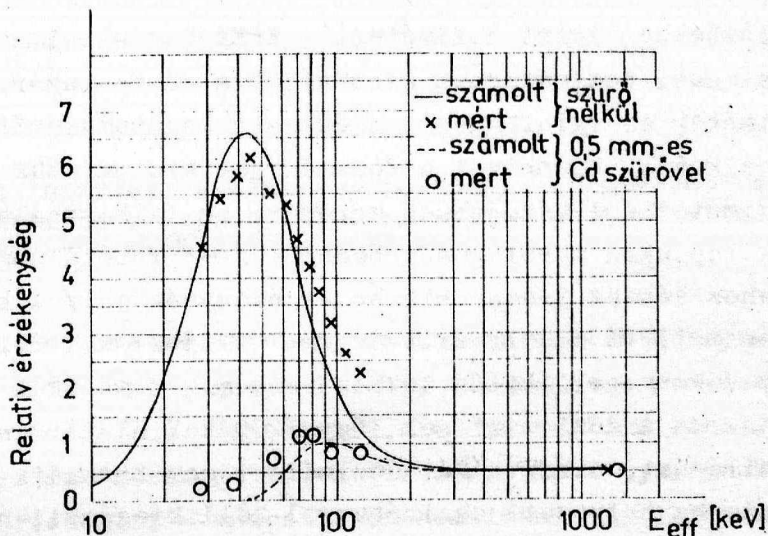


4. ábra

A dózis és a mért impulzusszám közötti összefüggés.

Ezt a fénymennyiséget predózisnak nevezzük és ez esetünkben kb. 20 mR besugárzásnak felel meg, szórása /90%-os valószínűségen belül/ nem haladta meg a  $\pm 5$  mR-nek megfelelő értéket.

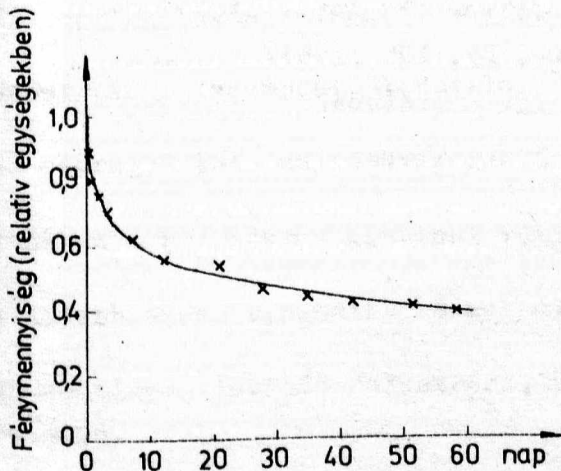
Kiszámítottuk és kísérletileg is megvizsgáltuk az üvegek energiafüggését. Az 5. ábrán a számított és mért energiafüggést mutatjuk be szűrő nélkül és 0,5 mm-es kadmium szűrővel.



5. ábra

Az üveg számított és mért energiafüggése.

Az üvegekben tárolt fénymennyiség idővel szobahőmérsékleten is csökken. A csökkenés mértékét a 6. ábra mutatja. Az általunk mért fading



6. ábra

Az üvegekben tárolt fénymennyiség a tárolási idő függvényében, szobahőmérsékleten

nagyobb annál, amit az irodalom a termolumineszcens üvegre közöl. Feltételezésünk szerint ezt az alacsony hőmérsékletnél induló kifutési görbe okozza. Az információcsökkenés /fading/ csak abban az esetben zavar, ha a besugárzás ismeretlen időben történt. A jövőben kísérleteket kívánunk folytatni e zavaró hatás csökkentésére.

### Felhasználás

Az előzőekben leírt dozimétert a KFKI-ban alkalmazott [7] -ben ismertetett baleseti doziméterben használjuk a gamma-sugárzás dózisének mérésére. A doziméter energiatartományát csökkentő kadmiumszűrőt a baleseti doziméter tokja alkotja. Ezenkívül a doziméterek kis méretük révén kombinált béta-gamma doziméterként kézdózisok mérésére is felhasználhatók. /A szűrő nélküli üvegek lapjukra merőlegesen beeső  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  béta sugárzásra a kemény gamma-sugárzáshoz képest 3-szor kisebb érzékenységek./ A kézdózisok mérését két, egymás mellett elhelyezett üveggel oldjuk meg, melyek közül az egyik csak egy vékony polietilén tokban van, míg a másikat 0,5 mm vastag kadmium borítja. Ha a dózismérésnél lágy /200 keV alatti energiájú/ gamma-sugárzás is felléphet, akkor a két dozimétert egy harmadik, 2-3 mm-es vastagságú plexi tokba helyezett doziméterrel kell kiegészíteni.

### I r o d a l o m

- [1] Attix, F.H.: NRL 5777 /1962/
- [2] Fowler, J.F.: Phys.Med.Biol. 8, 1 /1963/
- [3] И.Б. Кеирим-Маркус, З.М. Сырицкая, В.В. Якубик: Стекло, №2 (III), 77(1961)
- [4] И.А. Бочвар, А.А. Васильева, И.Б. Кеирим-Маркус, Т.И. Просина, З.М. Сырицкая, В.В. Якубик: Атомная Энергия, 15/7 (1963), 48
- [5] Z.Spurny, Symp. Personnel Dosimetry for Radiation Accidents, Vienna, 1965.
- [6] Makra Zs., Mészáros I.: KFKI Közl., 15, 105 /1967/
- [7] Békés M-né, Deme S.: KFKI Közl., 12, 247 /1964/

Érkezett: 1969. márc. 25.

KFKI Közl., 17.évf. 3.szám, 1969.



## MOZGÁSÁTVITELI ÉS KISTELJESITMÉNYŰ HAJTÓMŰVEK

Irta: Dr. Dékány István, Mészáros István és Péter István

### Összefoglalás

A cikk ismerteti a KFKI-ban tervezett és gyártott építőköcka-elvű hajtómű konstrukciókat. Ezen belül tárgyalja a mozgásátviteli, a kisteljesítményű hajtóművek használati módját.

A kutatás, a kísérletezés, az automatizálás gépészeti berendezéseiben gyakran előforduló igény, lassító, főleg csak mozgásátvitelt szolgáló hajtóművek beépítése. Egyedi kialakítású hajtómű konstrukciók a gyártás miatt nem gazdaságosak és mivel fix módosítást nyújtanak, egyszerű beavatkozással változtatni a módosításon nem lehet. Az ilyen nehézségek át-hidalására készültek intézetünkben az építőköcka-elvű hajtómű konstrukciók.

### Az építőköcka-elvű hajtómű konstrukciónak számos előnye van:

- Az egyes szerkezeti egységek többféle összeállításban, többféle szerkezetben /célszerű csatlakozó elemekkel/ használhatók fel az adott feladatnak megfelelően.
- Viszonylag kevés egységből sokféle kombináció hozható létre.
- Konstrukciós szempontból a feladat leegyszerűsödik.
- Az előregyártott hajtóművek raktárkészletből vehetők.
- Csökken a berendezés gyártási ideje.
- A kisebb számú típusalkatrészek gyártása gazdaságosabb.
- Az esetleges javítás /alkatrész, vagy egységcserével/ egyszerűen elvégezhető.

Az építőköcka-elvből fakadó előny gyártás szempontjából kötöttséget is jelent, mert az alkatrészek cserélhetőségét biztosítani kell. Ajánlatos ezért a választott rendszerben az egyes típusalkatrészek számát kevésben megválasztani és méreteiket szokványosítani, esetleg szabványosítani.

Ezek a hajtóművek kisméretűek, jó helykihasználásúak, ami alkalmazásuknál külön előnyt jelent. Módosításuk rögzített érték, nem szabályozható, vagy állítható, a hajtómű szétszerelése és átszerelése nélkül.

### A hajtóművek kialakításának főbb konstrukciós szempontjai

#### A hajtóművek feladatai

Az óramű pontos mozgásoknál gyakran előfordulnak olyan esetek is, amikor nemcsak mozgásátvitel a cél, hanem kis teljesítmény átvitelére is szükség van. Ezeknek az átvihető nyomatékuk a gyakorlatban használatos teljesítmény-hajtóművek jellemzőinél lényegesen kisebbek. Ezért két típus kialakítása látszott célszerűnek.

Az egyik, mely csak mozgásátviteli célokat szolgál, míg a másik bizonyos diszkrét értékű teljesítményátszarmaztatást is biztosít. Viszonylag nagyobb nyomatékok átszarmaztatásánál, ha a módosítás is elég nagy, a két típus egymással is összekapcsolható.

A hajtóművek összekapcsolását hatszögvégi köztengelyek teszik lehetővé.

#### Módosítás

Mindkét típusu hajtóműnek két változata van. Homlokkerekes /egyenes, vagy ferde fogazású/ és csigahajtású. A homlokkerekes hajtóművek az alpmódosításokat adják. 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5. A csigahajtású hajtóművek kétfokozatúak és velük 1:100, 1:200, 1:400 módosítás érhető el. Egy kivánt módosítás a szükségnek megfelelő darabszámú hajtómű összekapcsolásával valósítható meg. Tipusokon belül a hajtóművek tengelytávolságai azonosak a homlokkerekes és a csigahajtómű változatban is. Ez lehetőséget ad a két változat együttes alkalmazására.

#### Csapágycsak kialakítása

A hajtóművek bemenő fordulatszáma a meghajtó motortól függően különbözőek.

Az alkalmazott csapágyazások:

1000 f/p-ig csuszócsapágy /szinterbronz/  
1000 - 3000 f/p-ig golyósoros /házszerelésű/  
3000 -10000 f/p-ig gördülőcsapágy /svájci gyári készítmény/

A csapágyfészek kialakítása olyan, hogy bármelyik csapágyfajtaival kiszere-  
relhető a hajtómű.

#### Hajtóművekkel átvihető max. nyomaték

Mindkét hajtómű típus csak bizonyos maximális nyomaték átvite-  
lére alkalmas. A mozgásátviteli hajtóműveknél ez az érték a kimenő ten-  
gelyen maximálisan 15 cmkp. Kis teljesítmények átvitelére is alkalmas  
hajtóműveknél homlokkerekes hajtásban max. 80 cmkp, csigakerekes hajtás-  
ban max. 200 cmkp.

A statikus terhelési állapotra megállapított, a kimenő tengelyen  
levehető max. nyomatékot a terhelés egyéb eseteiben csökkenteni kell, me-  
lyek értékei:

lüktető terhelésnél	0,8
dinamikus terhelésnél	0,6

#### Tengelyirányu terhelés

Tengelyirányu terhelés egyik hajtómű fajtánál sem engedhető meg.  
Amennyiben az ilyen terhelés fellép üzemben, akkor ennek felvételéről  
külön kell gondoskodni.

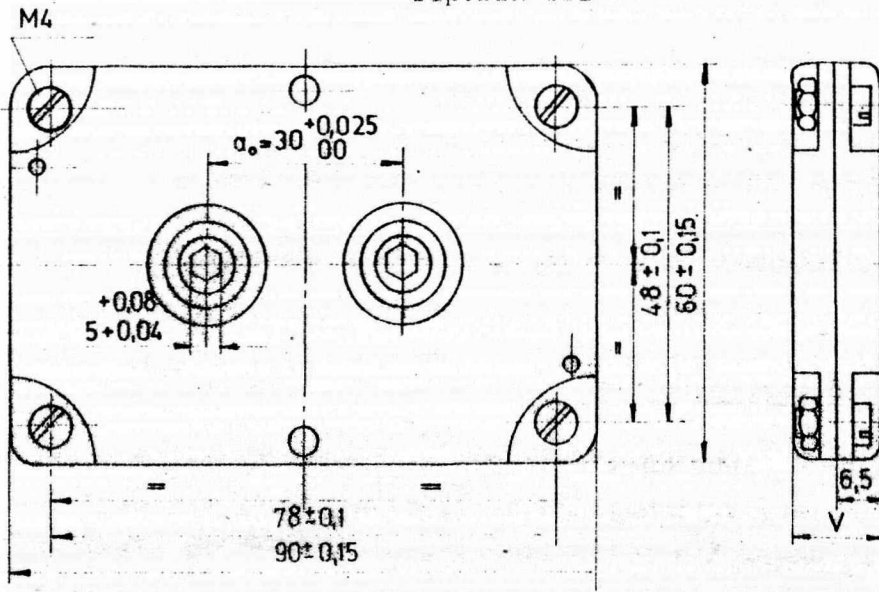
#### Hajtóművek és segédeszközeinek kialakítása

A hajtóművek kialakítása az egyszerű gyárthatóságot és szerelhe-  
tőséget célozza. Mindkét típusu hajtómű házai kokillában is önthetők,  
/Al-Mg-Si/. A fogaskerekek tengelyvégei azonosak és mindkét oldalról belső  
hatszöggel vannak ellátva.

A homlokkerekes mozgásátviteli hajtóművek a felhasználásnak meg-  
felelően csuszó, golyósoros és gördülőcsapággal szerelhetők /1. táblázat/

Folyamatos üzem esetén a fordulattól függően G30, vagy G40-es  
olajjal, szakaszos üzem esetén Mo tartalmu zsirral töltendő fel a haj-  
tóművek.

MOZGÁSÁTVITELI HAJTÓMŰ /HOMLOK KEREKES/  
Tip.SzK 602

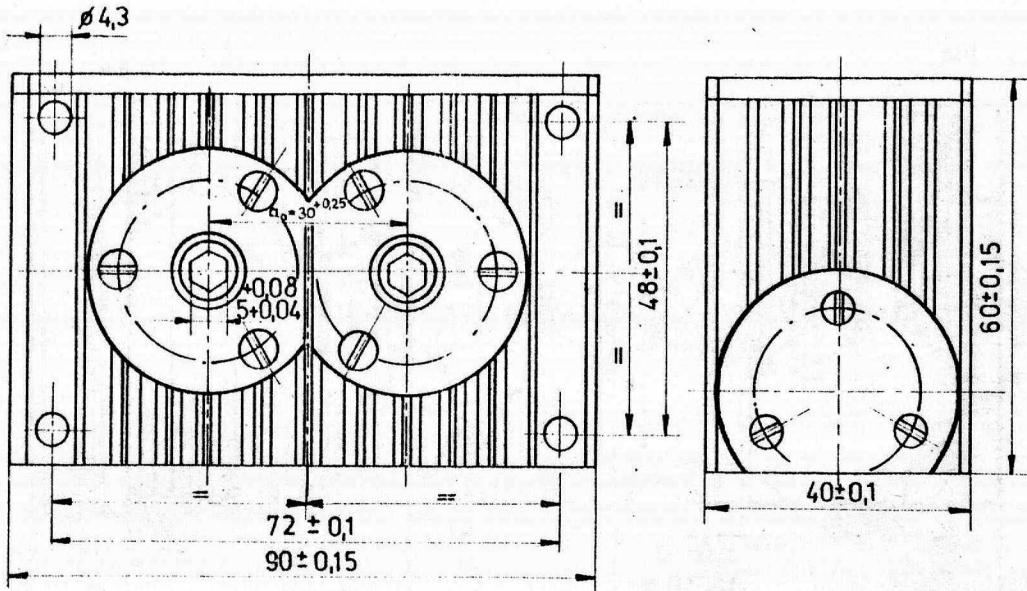


Módosítás		M <sub>max</sub> cmkp	N <sub>max</sub> t/p cs.ágyp tip.szerint			η% csapágy tip.szer.			V mm	súly kp
aránya	fogszám		csuszó A	golyósor B	görd.cs.C	csuszó	golyó soros	görd.cs.		
1:1	50:50	15	0- 1000	1000- 3000	3000- 10.000	80	88	92	13	
1:2	34:68	15	0- 1000	1000- 3000	3000- 10.000	80	88	92	14	
1:3	25:75	15	0- 1000	1000- 3000	3000- 10.000	80	88	92	16	
1:4	20:80	15	0- 1000	1000- 3000	3000- 10.000	80	88	92	17	
1:5	17:85	15	0- 1000	1000- 3000	3000- 10.000	80	88	92	18	

Megjegyzés:

- 1/ A hajtómű megnevezését a tipusszám után a törtvonal alá írt módosítási szám és a csapágykialakítás jele adja. Pl. 1:5 módosítású hajtómű gördülőcsapágygal szerelve, Hajtómű SzK 602/5C.
- 2/ A hajtóművek szakaszos üzem esetén Mo. tartalmu "Limorald" zsirral, folyamatos üzem esetén a fordulattól függően G30 vagy G40 minőségű olajjal vannak töltve.
- 3/ A hajtóműveket ha azok üzemi hőmérséklete a rossz hatásfok miatt /sok hajtómű összekapcsolás/ 60°C-nál magasabbra emelkedik, mesterséges hűtésről /ventillátor/ kell gondoskodni.
- 4/ A hajtóműveket bizonyos üzemóra után ellenőrizni kell:  
A csapágy típus esetén: 400  
B csapágy típus esetén: 300  
C csapágy típus esetén: 200.  
A belső szerelvényeket tisztítani, csapágyakat ellenőrizni, majd 2-3 év után szerint zsirral vagy olajjal tölteni.

MOZGÁSÁTVITELI HAJTÓMŰ /CSIGAKEREKES/  
Tip.SzK 603

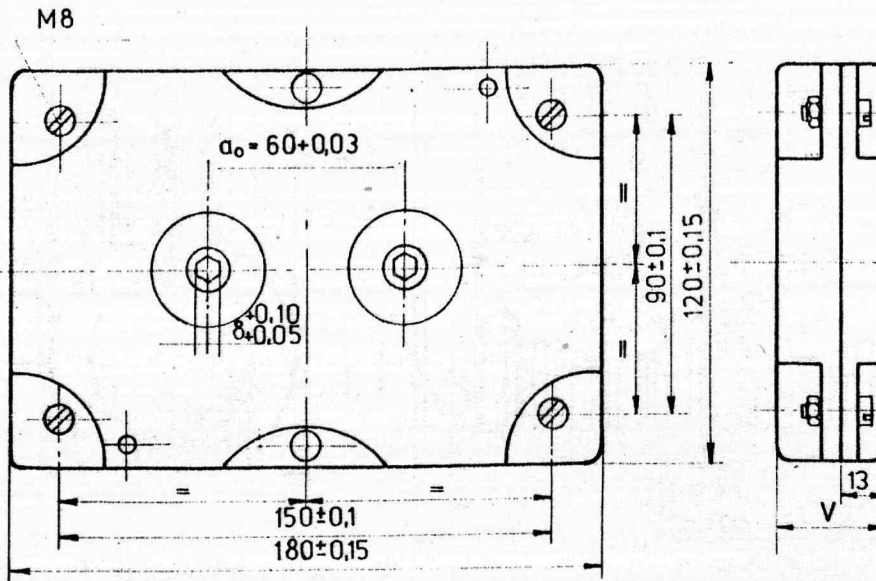


módosítás		$M_{max}$ cmkp	$N_{max}$ f/perc	$\eta\%$ görd.csap.al	Súly kp
aránya	fokozat				
1:100	2	15	10.000	53	
1:200	2	15	10.000	45	
1:400	2	15	10.000	40	

Megjegyzés:

- 1/ A hajtómű megnevezését a tipusszám után a törtvonal alá irt módosítási szám adja. Pl. 1:200 módosítású hajtómű, "Hajtómű SzK 603/200".
- 2/ A hajtóművek szakaszos üzem esetén  $M_o$  tartalmu "Limorald" zsirral, folyamatos üzem esetén a fordulattól függően G30 vagy G40 minőségű olajjal vannak töltve.
- 3/ A hajtóműveket ha azok üzemi hőmérséklete a rossz hatásfok miatt /több hajtómű összekapcsolás/  $60^\circ\text{C}$ -nál magasabbra emelkedik, mesterséges hűtésről /ventillátor/ kell gondoskodni.
- 4/ A hajtóműveket 200 üzemóra után ellenőrizni kell. A belső szerelvényeket tisztítani, csapágyakat ellenőrizni, majd a 2-es pont szerint zsirral vagy olajjal tölteni.

KISTELJESITMÉNYŰ HAJTÓMŰ /HOMLOK KEREKES/  
Tip.SzK 604

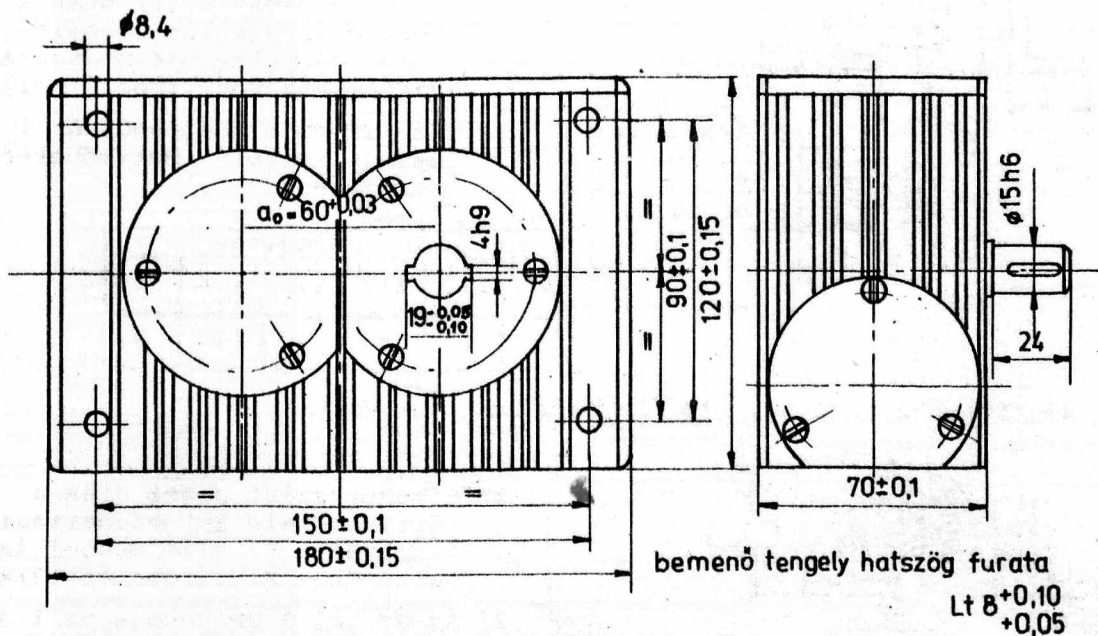


módosítás		M <sub>max</sub> cmkp	n <sub>max</sub> f/cerc	η % görd.csap.al	v mm	súly kp
aránya	fogszáma					
1:1	42:42	80	10.000	90	26	
1:2	28:56	80	10.000	90	28	
1:3	21:63	80	10.000	90	30	
1:4	17:68	80	10.000	90	34	
1:5	14:70	80	10.000	90	38	

Megjegyzés:

- 1/ A hajtómű megnevezését a tipusszám után a törtvonal alá írt módosítási száma adja. Pl. 1:2 módosítású hajtómű, "Hajtómű SzK 604/2".
- 2/ A hajtóművek szakaszos üzem esetén Mo tartalmu "Limorald" zsirral, folyamatos üzem esetén a fordulattól függően G30 vagy G40 minőségű olajjal vannak töltve.
- 3/ A hajtóműveket ha azok üzemi hőmérséklete a várt hatásfok miatt /sok hajtómű összekapcsolás/ 60°C-nál magasabbra emelkedik mesterséges hűtésről /ventillátor/ kell gondoskodni.
- 4/ A hajtóműveket 200 üzemóra után ellenőrizni kell. A belső szerelvényeket tisztítani, csapágyakat ellenőrizni, majd a 2-es pont szerint zsirral vagy olajjal tölteni.

KISTELJESITMÉNYŰ HAJTÓMŰ /CSIGAKEREKES/  
Tip.SzK 605



módosítás		M <sub>max</sub> cmkp	N <sub>max</sub> f/perc	η <sub>görd.csap.al</sub>	súly kp
aránya	fokozat				
1:100	2	200	10.000	53	
1:200	2	200	10.000	45	
1:400	2	200	10.000	40	

Megjegyzés:

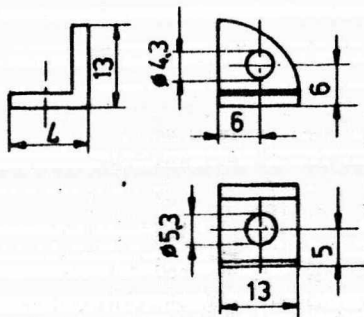
- 1/ A hajtóművek megnevezését a tipusszám után a törtvonal alá irt módosítási szám adja, pl. 1:200 módosítású hajtómű, "Hajtómű SzK 605/200".
- 2/ A hajtóművek szakaszos üzemi esetén M<sub>0</sub> tartalmú "Limorald" zsirral, folyamatos üzemi esetén a fordulattól függően G30 vagy G40 minőségű olajjal vannak töltve.
- 3/ A hajtóműveket ha azok üzemi hőmérséklete a rossz hatásfok miatt /több hajtómű összekapcsolás/ 60°C-nál magasabbra emelkedik, mesterséges hűtésről /ventillátor/ kell gondoskodni.
- 4/ A hajtóműveket 200 üzemóra után ellenőrizni kell. A belső szerelvényeket tisztítani, csapágyakat ellenőrizni, majd a 2-es pont szerint zsirral vagy olajjal tölteni.

RÖGZÍTŐELEMEK

5. táblázat

Rögzőbetét SzK 602 tip. hajtóműhöz. /Jel: S1/

Megjegyzés:

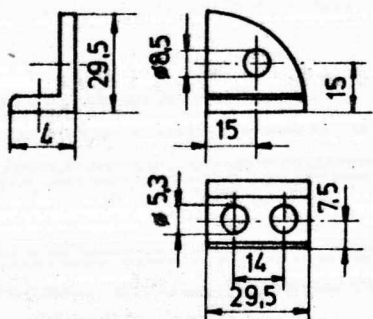


- 1/ A megnevezést a jel után a törtvonal alá irt módosítási szám adja. Pl. 1:4 módosítású hajtóműhöz Rögzőbetét S1/4.
- 2/ Az S1 jel 1 db jobbos és 1 db balos kivitelű rögzőbetéteket jelent.

	módosítás				
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
L	14	15	17	18	19

Rögzőbetét SzK 604 tip. hajtóműhöz. /Jel S2/

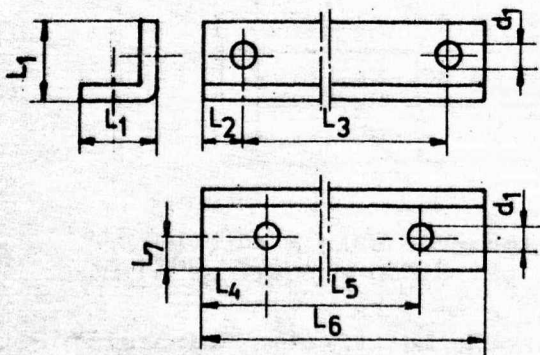
Megjegyzés:



- 1/ A megnevezést a jel után a törtvonal alá irt módosítási szám adja. Pl. 1:4 módosítású hajtóműhöz Rögzőbetét S2/4.
- 2/ Az S2 jel 1 db jobbos és 1 db balos kivitelű rögzőbetéteket jelent.

	módosítás				
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
L	22	24	26	30	34

Rögzőbetét SzK 603 és SzK 605 hajtóművekhez.

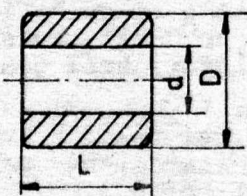


Hajtómű típus	Jel	d <sub>1</sub> mm	L <sub>1</sub> mm	L <sub>2</sub> mm	L <sub>3</sub> mm	L <sub>4</sub> mm	L <sub>5</sub> mm	L <sub>6</sub> mm	L <sub>7</sub> mm
SzK 603	S3	4,3	15	6	78	12	66	90	6
SzK 605	S4	8,5	20	15	150	20	140	180	8,5

Megnevezés: pl. rögzőbetét S3.

Megnevezés: pl. távtartóhüvely T3

Távtartó hüvely



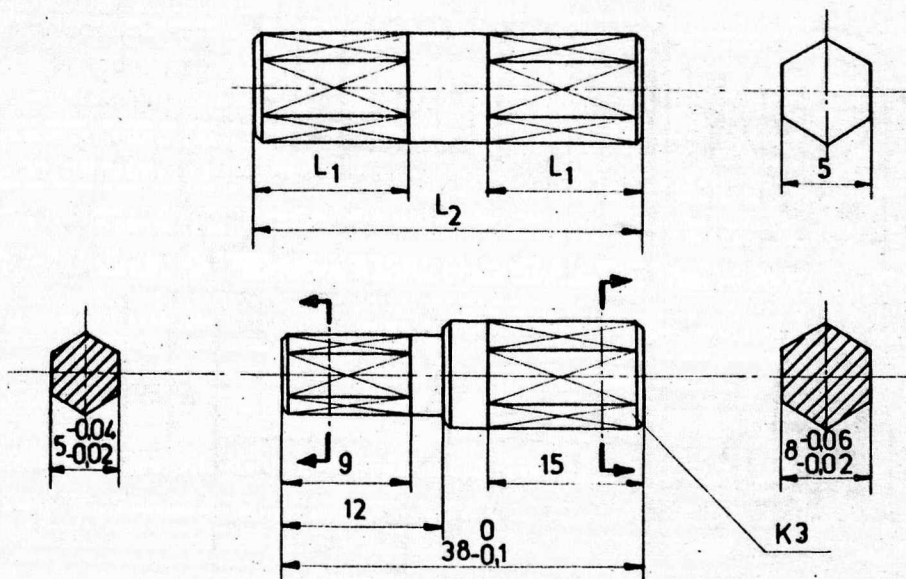
	SzK 602					SzK 603	SzK 604					SzK 605
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5		1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	
d	4,3						8,5					
D	12						15					
L	9	10	12	13	14	5	15	17	19	23	27	8
Jel	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12

Megjegyzés:

a távtartó hüvely méretét az összekapcsolni kívánt hajtóművek módosítása határozza meg. Az SzK 602 és SzK 603 ill. SzK 604 és SzK 605 hajtóművek összekapcsolása esetén a T6 ill. T 12 jelűt kell használni.



KÖZLŐTENGELYEK

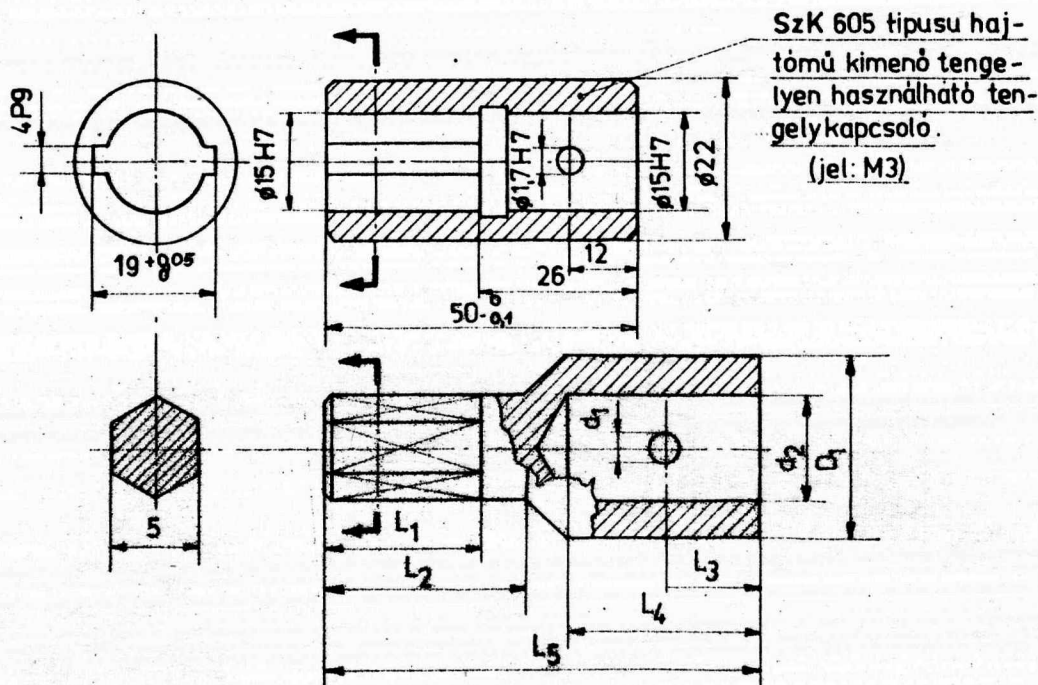


Hajtómű típus	Jel	L <sub>1</sub> mm	L <sub>2</sub> mm	S mm
SzK 602	K1	9	24,5 <sup>-0,1</sup>	5 <sup>-0,04</sup>
SzK 603				5 <sup>-0,02</sup>
SzK 604	K2	15	42,5 <sup>-0</sup>	8 <sup>-0,06</sup>
SzK 605				8 <sup>-0,02</sup>
Vegyes kapcsoláshoz	K3	ábra szerint		

Megjegyzés:

- 1/ A közlőtengelyek megnevezése pl. "Közlőtengely K2".
- 2/ A K3 jelű közlőtengely az SzK 602 vagy SzK 603 típusu hajtóműveknek az SzK 604 vagy SzK 605 típusu hajtóművekkel való összekapcsolása esetén szükséges.

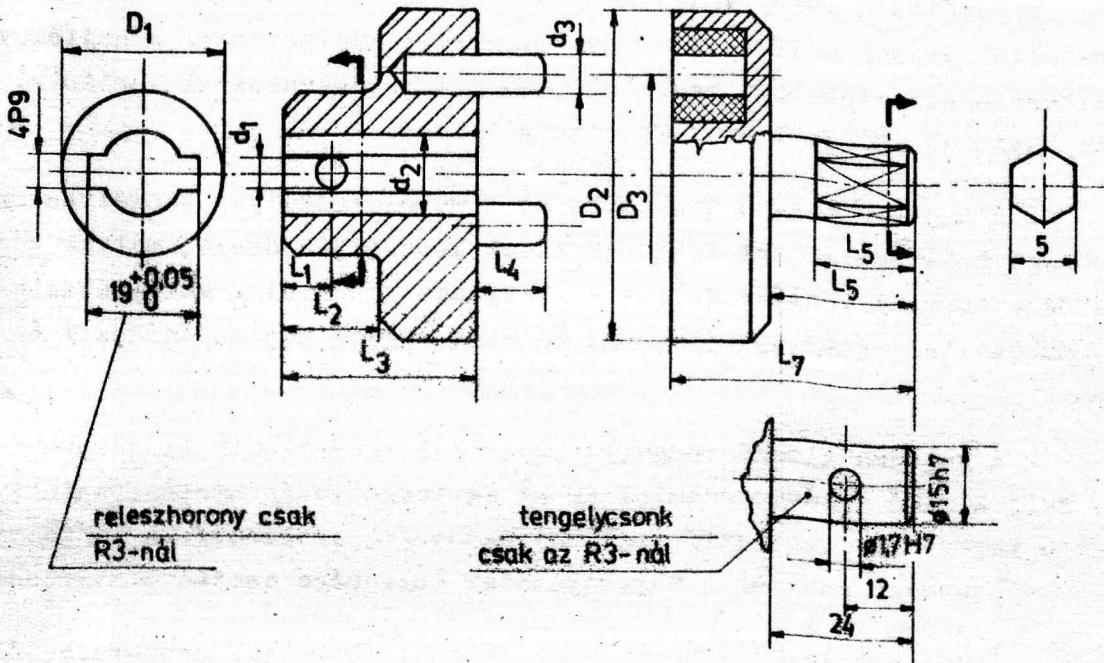
MEREV TENGELYKAPCSOLÓK



Hajtómű típus	Jel	$d_1$ mm	$d_2$ mm	$D_1$ mm	$L_1$ mm	$L_2$ mm	$L_3$ mm	$L_4$ mm	$L_5$ mm	S mm
SzK 602	M1	0,6H7	8	13	9	12,5	8	16	$32^{+0,1}$	$5^{-0,04}$
SzK 603										$5^{-0,02}$
SzK 604	M2	1,3H7	10	15	15	21,5	10	20	$45,5^{+0,1}$	$8^{-0,06}$ $8^{-0,02}$
SzK 605										ábra szerint

- Megjegyzés: 1/ A tengelykapcsoló megnevezése pl. "Merev tengelykapcs.M2".  
 2/ A merev tengelykapcsolók csak a hajtóművek kimenő tengelyein használhatók.  
 3/ A biztosítócsapok A50 minőségű anyagból készüljenek. Az eltérő anyagminőség esetén a maximálisan átvihető nyomtérk figyelembevételével a furatátmérőt ill. a használható csapátmérőt ki kell számolni.

RUGALMAS TENGELYKAPCSOLÓ



Hajtómű típus	Jel	d <sub>1</sub> mm	d <sub>2</sub> mm	d <sub>3</sub> mm	D <sub>1</sub> mm	D <sub>2</sub> mm	D <sub>3</sub> mm	L <sub>1</sub> mm	L <sub>2</sub> mm	L <sub>3</sub> mm	L <sub>4</sub> mm	L <sub>5</sub> mm	L <sub>6</sub> mm	L <sub>7</sub> mm	S mm	
SzK 602	R1	3. ill. 4. pont szerint		3	12	25	15	5	8	15	6	9	10	18	5	-0,04
SzK 603				5	15	45	30	5	8	18	10	15	22	34	8	-0,06 -0,02
SzK 604	R2			5	15	45	30	5	8	18	10	15	22	34	8	-0,06 -0,02
SzK 605	R3	-	15H7	5	25	45	30	6	12	24	10	-	-	36	-	-

Megjegyzés: 1/ A tengelykapcsoló megnevezése, pl. rugalmas teng.kapcsoló R2.

2/ Az R3 jelű tengelykapcsoló csak az SzK 605 típusu hajtómű kimenő tengelyén használható.

3/ A "d<sub>1</sub>" furatátmérőt a maximálisan átvihető nyomaték figyelembevételével kell kiszámítani, vagy a választott tengelyt átmérő szerint furáti aszerint, hogy be vagy kimenő tengelykapcsolóként kívánjuk felhasználni.

4/ A "d<sub>2</sub>" furatátmérőt a választott motortengely átmérő vagy a továbbítótengely átmérője szerint kell kimunkálni, aszerint, hogy be vagy kimenő a tengelykapcsoló.

5/ Az R3 tengelycsenkjába A50 minőségű biztosítócsapot kell használni. Eltérő anyagminőség esetén a furatátmérőt a 3-ik pont figyelembevételével kell számítani.

A mozgásátviteli csigahajtóművek, kisteljesítményű homlokkerekes és csigahajtóművek csak golyóscsapággal készülnek /2. 3. 4. táblázat/.

Egy hajtóműegység összeállításához következő az eljárás: a hajtómotor szerelőlapon rögzítendő, melyet a választott motornak és a rendelkezésre álló helynek megfelelően egyedileg kell kialakítani. A hajtóművek rögzítése a szerelőlaphoz megfelelő hosszúságú csavarokkal történik, távtartó hüvelyek /5. táblázat/ közbeiktatásával.

A hajtómű bemenő tengelyét és a motor tengelyét tengelykapcsoló az egyes hajtóműelemeket közlőtengelyek kapcsolják össze, melyek végei hatszögletesek. A közlőtengelyek kialakítása háromféle. Mozgásátviteli hajtóműhöz, teljesítményhajtóműhöz és ezek vegyes kapcsolásához / 6. táblázat/.

A hajtómű kimenő tengelye ugyancsak rendelkezik tengelykapcsolóval, mely kimenő fordulatszámától és az egytengelyűség biztosíthatóságától függően merev, /7. táblázat/ vagy hajlékony /8. táblázat/. A tengelykapcsolók biztonsági csapjai a max. nyomaték túllépése esetén elnyiródnak.

A hajtóművek különböző típusu rögzítőelemekkel csavarozhatók a beépítési helyre /5. táblázat/.

### I r o d a l o m

- Dr. Vörös Imre: Gépelemek III. fogaskerekek, Tankönyvkiadó, Bp. 1961.  
Dipl.ing. W. Tochtermann: Maschinenelemente Springer-Verlag, Berlin 1951.  
Ten.Bosch: Gépelemek. 2 jav. kiadás, Műszaki Könyvkiadó Budapest  
Pattantyus: Gépész és Villamosmérnökök Kézikönyve, Műszaki Könyvkiadó Budapest 1961.  
OMK Témadokumentációs Kiadvány 49. sz.  
Építőköcka-elvű konstrukció, Budapest 1964.  
W.M.Berg: Servosystem breadboards, Machine Design, 1963. jan.31. p.111.  
R.W.Whelan-I.Chung: Speed Reducers, Machine Design, London, 1962.dec.13. 29 sz. p. 75.  
K.Centrmaier-H.Eder: Zur Systematik der feinwerktechnischen Kupplungen, Feinwerktechnik. 1964. nov. 68 kötet, 11.sz.füzet p. 447.

Érkezett: 1969. május 7.

KFKI Közl. 17.évf. 3.szám, 1969.



