



B E S Z Á M O L Ó
A M. KIR. FÖLDTANI INTÉZET
VITAÜLÉSEINEK
MUNKÁLATAIRÓL

COMMENTARII
DE STUDIIS DISPUTATIONUM INSTITUTI GEOLOGICI
REGII HUNGARICI

A M. KIR. FÖLDTANI INTÉZET
1944. ÉVI JELENTÉSÉNEK
FÜGGELÉKE

APPENDIX
RELATIONIS A. 1944 INSTITUTI GEOLOGICI
REGII HUNGARICI

B U D A P E S T , 1 9 4 4



B E S Z Á M O L Ó
A M. KIR. FÖLDTANI INTÉZET
VITAÜLÉSEINEK
MUNKÁLATAIRÓL

COMMENTARII
DE STUDIIS DISPUTATIONUM INSTITUTI GEOLOGICI
REGII HUNGARICI

A M. KIR. FÖLDTANI INTÉZET
1944. ÉVI JELENTÉSÉNEK
FÜGGELÉKE

APPENDIX
RELATIONIS A. 1944 INSTITUTI GEOLOGICI
REGII HUNGARICI

KIADJA: A M. KIR. FÖLDTANI INTÉZET
DR. LÓCZY LAJOS IGAZGATÓ KÖZREMŰKÖDÉSÉVEL SZERKESZTI
DR. SZALAI TIBOR ÉS DR. SZENTES FERENC

Felelős kiadó: Lóczy Lajos 442513. Athenaeum, Budapest Felelős: Kárpáti Antal igazgató

BESZÁMOLÓ A M. KIR. FÖLDTANI INTÉZET VITAÜLÉSEINEK MUNKÁLATAIRÓL¹

5. SZAKÜLÉS

1944 április 11-én d. u. 5 órakor.

Elnök :

Dr. Lóczy Lajos.

Tárgy:

Dr. Bacsák György: Az utolsó 600.000 év földtörténete.

Megjelentek : Albert Béla, Bacsák György, Bacsák János, Balogh Kálmán, Bartkó Lajos, Egyed László, Ferencz Károly, Földvári Aladár, Földvári Aladárné, Hampel Ferenc, Jugovics Lajos, Láng Sándor, Lóczy Lajos, Majzon László, Noszky Jenő, Strausz László, Scherf Emil, Szalai Tibor, Szentes Ferenc, Vajk Raul, Varga Sarolta, Vigh Gusztáv, Vigh Gyula, Vitális Sándor.

¹ A M. Kir. Földtani Intézet 1944. Évi Jelentésének Függeléke.

DR. BACSÁK GYÖRGY:

AZ UTOLSÓ 600.000 ÉV FÖLDTÖRTÉNETE

1. Az utolsó 600.000 év helyett használhattam volna akár a negyedkor, akár a pleisztocén és holocén műkifejezéseket is, de ezt szándékosan nem tettem. Kifejezésre akartam juttatni, hogy számítástechnikai akadályok miatt csak 600.000 évig tudjuk a Föld történetét nagy pontossággal közvetlenül nyomon követni s ezt a természetmegfigyelésből merített tapasztalati adatokkal ellenőrizni. Kifejezésre akartam juttatni, hogy ezt az ismert 600.000 évet nem lehet minden további nélkül a negyedkorral azonosítani. Mai tudásunk szerint a pleisztocént sem a múlt, a pliocén felé nem lehet szigorúan elhatárolni, sem azt az elterjedt felfogást nem lehet helyeselni, mintha a Würm III. jégének a közvetlen félmultban bekövetkezett pusztulásával az eljegesedések sorozatának egyszersmindkorra vége szakadt volna. Erre semmi támpont sem jogosít föl, sőt ellenkezőleg, egészen világos, hogy a holocén csak *töredéke* egy előttünk álló hosszabb interglaciálisnak. Minden hipotézis kizárásával ki lehet mutatni, hogy a jelen interglaciális elmúltával még további eljegesedések esedékesek, tehát a pleisztocén eddig letelt része is csak egy *töredék*, melynek a távol jövőben olyan folytatása következik, mely vele egy kalap alá való. Előadásom célja éppen az, hogy miképpen lehet ennek a morzsányi rövid 600.000 évnyi földtörténetnek ismeretéből levezetni azt, hogy mi az oka ennek a tágabb értelemben vett negyedkori eljegesedési sorozatnak s miért kell ezt csak egy *kivételes* állapotnak tekinteni azzal a sokkal hosszabb, több százmillióéves nem kivételes, hanem *normális* időszakkal szemben, mely a karbonkori eljegesedésektől a pleisztocénig tartott.

2. Abban, úgy hiszem, mindenki egyetért, hogy a harmadkorral szemben a negyedkort éppen az jellemzi, hogy benne

az eljegesedéseknek egész sorozata fordult elő. A negyedkori eljegesedéseknek megismétlődésében tapasztalható törvényszerűséget ki lehet deríteni, ha azt az idő függvényeként kezeljük s kellő időszámításra szerelkedünk fel. Ha pedig a megismétlődések törvényszerűségét megállapítottuk, akkor nyugodtak lehetünk afelől, hogy az eljegesedés fizikai okát is helyesen fogjuk fölismerni.

A fizika története során mindennapi jelenség, hogy valamely törvényszerű összefüggést csak akkor lehet kideríteni, ha annak megfelelő pontosságú időmérés fölött rendelkezünk. Galilei hiába dobálta le golyócskáit a pisai ferde toronyból, mert az időt nem tudta elég pontosan lemérni s a földszinten elhelyezett megfigyelője sokszor korábbi időpontot jegyzett föl, mint az emeleten lévő. Mihelyt azonban enyhe esésű lejtőre tért át, időmérése elég pontosnak bizonyult s a szabad esés törvényét könnyen és biztosan fölismerte. A jégkorszakok ismétlődésének törvényszerűségét is csak azon az alapon lehet megfejtetni, ha megfelelő időmérést sikerül találnunk. Az évnek mint egységnek közvetlen többszörözése erre a célra nem válik be. Szerencsére a Naprendszernek, ennek a csodálatos óraműnek másféle óramutatói is vannak, melyek a mi célunknak megfelelnek. Az év a Napnak látszólagos körülszaladása az állatöv csillagképei körül. De ez az óramutató sem jár egyformán, nálunk télen gyorsabb, nyáron lassúbb a járása s átlag bevezetésére vagyunk kényszerítve, hogy egyforma tartamú napokat kaphassunk. Attól tehát nem szabad meghökkenni, ha a most sorra kerülő egyéb naprendszeri óramutatók sem járnak egyenletesen.

3. Ezek közül az óramutatók közül legismertebb a precesszió, a tavaszpont hátrálása az állatöv csillagképeinek szokott sorrendjével ellentett irányban. A tavaszpont a történeti időkben vándorolt a Bikából a Kosba s innét a Halak csillagképébe. Ha a tavaszpontot az őszi napéjegyenlőség pontjával összekötjük, ez az egyenes a Napon átmegy s úgy foghatjuk föl, mint egy óramutatót, mely észak felől nézve ugyanolyan irányban forog, mint a közpolgári óramutató. Ezt az irányt a mértanban és mechanikában retrográd iránynak nevezik. A hátrálás évente 50 szögmásodperc s így a teljes 360°-os fordulathoz közel 26.000 év szükséges. A precesszió fizikai oka, hogy a Föld nem gömb, hanem forgási elipszoid s az egyenlítői köpenybe belekapaszkodik a Hold, a Nap s igen kis mértékben a bolygók is és az ekliptika síkjához képest ferdén álló egyenlítőt abba bele szeretnék fordítani. De mivel a Föld forgó test, a forgási

tengely megtartja ferdeségét s ez elől a Hold—Nap-hatás elől úgy tér ki, hogy a forgási tengely egy kúppalást mentén peregni kezd, mint a játékpörgettyű. Annak magyarázata, hogy a pergés ilyen lassú, abban rejlik, hogy az egyenlítői köpeny kicsi tömegének a benne lévő hatalmas tömegű gömbnek tehetetlenségét is le kell küzdenie.

4. A közpolgári életben kevésbé ismert az a másik két óramutató, melyet kizárólag a többi hét nagybolygó háborgatása hoz forgásba. Ezek az óramutatók is a Nap körül forgolódnak, de ezeknek járása már lényegesen bonyolultabb. A háborgatás lényegét röviden úgy lehet jellemezni, hogy annak hatása alatt a Föld pályája valamelyest eltér az eszmei, kepleri elipszistól.

Az egyik ilyen óramutató a Föld pályájának nagytengelye, apszisvonala, mely rendszerint direkt irányban, tehát északról nézve az óramutató járásával ellentett irányban forog. Hozzátartozik mint inga a Földpálya középpontkivüliségének ingadozása. Ez az ingadozás csakis a kistengely hosszának változásával jön létre. A nagy tengely nemcsak a Földnél, hanem minden bolygónál szekuláris vonatkozásban is állandó, ez a Naprendszer stabilitásának alapja. A másik mutató a csomóvonal, mely a felszálló és leszálló csomópontokat, vagyis azt a két pontot köti össze, melyekben az ekliptika síkja a Naprendszer közepes síkját átmetszi. A csomóvonal forgása rendszerint retrográd irányú s hozzátartozik mint inga az ekliptika síkjának a mondott alapsíkhoz, vagy az állócsillagokhoz képest tapasztalható elbillenése, ingadozása. Ez az ingadozás azonban még nem azonos a látszó, ekliptikai ferdeségben ($23\frac{1}{2}^{\circ}$) tapasztalható szekuláris változásokkal, hanem utóbbinak csak egyik alkotórésze.

Ahhoz, hogy nem is egy, hanem mindjárt három óramutatónak járását és leolvasását kitanuljuk, természetesen hosszabb gyakorlat kell s azonfelül megfelelő számlapra is szükségünk van. Ebben a vonatkozásban Európa a legkedvezőbb helyzetben van s azért mindig csak az európai eljegesedés menetével fogunk foglalkozni. Amerikában ugyan hatalmasabb morfológiai nyomok (Öttó, stb.) maradtak az eljegesedések tanúságaképpen ránk, de sokszor a finomabb nyomok jobb leolvasást tesznek lehetővé. Azonkívül a paleontológiai leletanyagunk az időmeghatározásra főleg csak akkor használható, ha az ember tűzhelye mellől került ki. Amerikába pedig csak a holocén folyamán vándorolt be az ember, nekik jégkorszaki emberi kultúráik nincsenek.

5. A most leírt háromféle eszmei óramutató és kétféle inga felhasználásával sikerült Milankovicsnak több évtizedes kitartó munkával a számunkra megfelelő időszámítást nyélbe ütnie. Ennek segítségével megállapította két görbének, a Δe és $e \sin \Pi$ -nek 600.000 éven keresztül való lefolyását s ennek a két görbének interferenciái, hullámvölgynek hullámvölgygel, hullámhegynak hullámheggyel való találkozása alapján levezette híres besugárzási görbét, melyben az eljegesedéseknek ugyanaz a sorrendje és erőssége jutott kifejezésre, mint amilyent pontos időmeghatározás nélkül a negyedkorkutatók a természetmegfigyelésből közvetlenül megállapítottak. Meglévén mármost a pontos időmérés is, a fizikai okot nem volt nehéz kiolvasni. Az eljegesedések oka átlag 10.000 évig tartó olyan állapot volt, melyben az átlagosnál hidegebb nyarak az átlagosnál melegebb telekkel párosultak.

Milankovics fő érdeme ezen a téren az volt, hogy *eszmei értelemben vett légüres térre mert áttérni olyan jelenségnél, ahol éppen a légkör sajátosságai és tüneményei játsszák a főszerepet*. Milankovicsnak sok jeles előfutárja mind ezen a ponton bukott el.

Milankovics maga talán észre sem vette, vagy legalább sehol sem hangsúlyozza ki ezt a hőstettét. De ha azokat a nehézségeket vizsgáljuk, melyek a Milankovics-elmélet általános elterjedését gátolják, a háttérben gyakran éppen ez a légüres tér lapul meg. Ennek magyarázata az, hogy a Galileinek a szabad esésről levezetett *egyenletesen gyorsuló* mozgást bizonyító törvénye is szigorúan véve csak a légüres térben érvényes. A levegőben eső vagy guruló testeknél a légellenállás fokozatosan növekszik s csakhamar eléri az indító erő mértékét. A két ellentett irányú erő egymást megsemmisíti s ettől fogva a test *változatlan* sebességgel mozog. Aristoteles aligazsága tehát mint megfigyelés egészen helyes. Ha Galilei egy súlyos golyó helyett, melynél a légellenállás nem számít, egy igen könnyű celluloid pingpong-lapdát gurított volna le az ő lejtőjén, akkor rövid egyenletesen gyorsuló mozgás után igen hamar bekövetkezett volna az az állapot, hogy a lapda változatlan sebességgel gurult volna tovább, mint olyan test, melyre semmiféle erő sem hat s csak saját tehetetlenségénél fogva mozog. Ugyanilyen az oldal-széllal haladó vitorlás esete, az ejtőernyős, a röpcédula és más eféle megszámlálhatatlan sok eset. A közvetlen tapasztalat és élmény befolyása alatt álló megfigyelők, ha hiányzik az elméleti fizikai érzékük, nem képesek azt felfogni, hogy ezek olyan testek, melyekre semmiféle erő sem hat. Egy kiváló geográfus tanár, amikor hosszas

kutatásai alapján a legszebb bizonyítékot találta föl Milankovics elmélete mellett, azzal kezdte közleményét, hogy kénytelen Milankovicsnak hadat üzenni és visszatérni az ismeretlen okból származó általános lehűlés és felmelegedésnek már rég sutba került tanításához.

Más szóval, Milankovics a jelenben és a múltban azt az eszmei éghajlatot kutatta, melyet a klimatológusok *szoláris éghajlatnak* neveznek. Ennek sorsát csak az dönti el, hogy a Föld különböző övezetei és az év különböző szakai azon a mindenkor egyforma hőmennyiségen, melyet a Nap egy év alatt a Földre sugároz, milyen kulcs szerint osztozkodtak. Ezt a kulcsot pedig egyedül a Föld változó pályaelemei döntik el, melyeknek változásait éppen a fentebb érintett óramutatók alapján lehet nyomon követni.

Milankovics elméletét összefoglaló alakban először 1920-ban francia nyelven tette közzé, de ez nem sok visszhangot keltett. Annál nagyobb hírre tett szert az az értekezése és a hozzácsatolt grafikus kalendárium, mely német nyelven mint betét 1924-ben a Köppen—Wegener-féle »Die Klimate der geologischen Vorzeit« című műben jelent meg.

6. Köppen azért vette föl ezt a betétet az ő művébe, holott az egyébként nem is igen illett bele, mert egyik alapvető posztulátumát, melyet ő maga semmivel sem tudott igazolni, egészen váratlan oldalról igazolva látta. Köppen már régen azt vallotta az akkoriban még általánosan hangoztatott »lehűlési és felmelegedési« elmélettel szemben, melyet hasonlóképp semmivel sem lehetett alátámasztani, hogy az eljegesedést olyan formában, mint amire a hátrahagyott nyomai vallanak, nem okozhatta más, mint hideg nyaraknak meleg telekkel való párosodása. E nélkül a magas hegyekből kiinduló, egymás hegyén-hátán folydogáló jégáraknak azt a tömkelegét, mely néha fél Európát elborította, nem lehet elképzelni.

Hogy milyen igaza volt Köppennek, azt megfordított hatásukkal az 1939/40. és 1941/42. évi kegyetlen hideg teleink ékesen bebizonyították. A rákövetkező nyarakon a póvölgyi áramfejlesztő- és öntözővízművek az Alpokból csak fél- vagy harmadannyi áramot és öntözővizet kaptak, mint átlagos években. A hideg teleken a magashegyi hógyűjtőmedencék a felhők fölé estek s hócsapadékot alig kaptak. Csak enyhe telek töltik föl bőségesen a magas hegyek hógyűjtőmedencéit. A Köppen által követelt hideg nyár szerepe magától értetődik s nem is volt vitás.

Köppen már önállóan rámutatott arra is, hogy annak a hideg nyaraknak és meleg teleknek csak hosszú ezer évekig tartó s az átlagtól való lényeges eltérést elérő esetei jöhetnek szóba, mely föltételt ma is röviden Köppen-féle küszöbértéknek szoktak nevezni. Az egyszer kifejtett jégtakaró aztán klimatológiai hatásával (Inland-eiswirkung) az eljegesedéstől megkímélt középső Európában is nagy forradalmat okozott, ami tényleg általános lehüléssel és még inkább a csapadékviszonyok s az uralkodó szélirány dolgában érthető változással járt, de ez nem oka, hanem következménye volt az eljegesedésnek.

7. A Köppen—Wegener-féle művel kapcsolatban az ő elmélete is minden oldalról rázúduló bírálattal Milankovics nem sokat törődött, ellenben szívén találta őt az a kifogás, hogy a számításai-ban sem akartak megbízni. Milankovics 1924-ben még az 1904-ből származó Pilgrim-féle csillagászati táblázat alapján dolgozott, melyek viszont Stockwell amerikai csillagásznak 1873-ban közzétett képletei és állandói alapján voltak kiszámítva. Ennek hitelességét nem akarták Európában elfogadni.

Erre Milankovics megnyerte munkatársul Miskovicsot, a belgrádi egyetemi csillagda igazgatóját, egy kitérő matematikust, aki Budapesten Wodetzky tanár keze alatt végezte az egyetemet. Miskovics 1927. évben nagy körültekintéssel fogott munkához és két év alatt néhány kalkulátor segítségével Leverrier formuláihoz ragaszkodva, újra kiszámította a szükséges csillagászati táblázatokat. Az eredmény nem igazolta a Stockwell és Pilgrimmel szemben támasztott bizalmatlanságot. Mutakoztak ugyan csekélyebb eltérések, de ezek érthetők abból, hogy Miskovics a bolygók tömegeit mai tudásunk alapján vette számításba.

Ezen az új alapon fejtette ki Milankovics 1930-ban terjedelmesebben elméletét, melynek a »Math. Klimalehre...« címet adta. Azonban ennek a műnek sem lett átütő ereje. A tudományos közvélemény nem éppen alaptalanul megbízhatatlannak ítélte Milankovics bizonyítási eljárását, mellyel azt akarta igazolni, hogy elméleti eredményei egyeznek a természetmegfigyelésből levont teljes tagolással (Vollgliederung). Azonkívül sokan akadtak, akik egyáltalán nem voltak hajlandók a teljes tagolást dogmaként elfogadni. De még ennél is nagyobb akadályt jelentett éppen csillagászok köréből már korábban emelt újabb kifogás, mellyel szemben Milankovics *tehetetlennek* érezte magát s a »Math. Klimalehre« legvégén sajnálatos kisiklások szenvedő hőse lett. Ez az egyszerű és meg-

győzően ható kifogás így hangzott: »A Föld pályaelemei a harmadkorban éppen úgy ingadoztak, mint a negyedkorban s ott mégsem volt semmiféle eljegesedés, az eljegesedésnek tehát egyéb oka volt.« Milankovics a sajnálatos kisiklásaira nem is térek ki. Tévedni emberi dolog.

Milankovics 1938-ban a »Handbuch der Geophysik« című nagy gyűjteményes mű keretében »Astronomische Mittel...« címen újból és sok tekintetben bővítve kifejtette elméletét, majd 1941-ben a szerb Kir. Tud. Akadémia kiadmányaként megjelent hatalmas művével, »Kanon der Erdbestrahlung« lépett a nyilvánosság elé, de ezeknek sem lett átütő ereje, illetve meg lehet jósolni, hogy az nem lesz meg, mert a most idézett kifogással szemben, melyet röviden a »csillagászati kifogás« neve alatt fogok emlegetni, nem tudott semmi újat felhozni.

8. De egyéb okok is gátolták, hogy Milankovics klasszikus elmélete általános elismerést nyerjen s azt a negyedkori kutatás terén eredményesen kiaknázzák. Ezek azonban inkább *hiányok*, melyeket magából a »Math. Klimatlehre«-ből és a Miskovics-féle táblázatokból aránylag könnyű pótolni.

Az első ilyen hiány az, hogy Milankovics az ő elméletéből folyó különféle interferenciák közül mindig csak a glaciális interferenciákkal s azoknak is csak a kilenc sikerült esetével (Günz I... Würm III) foglalkozott, az interglaciálisok tanulmányozását ellenben elhanyagolta. Pedig az utolsó 600.000 évből 508.000 év esik az interglaciálisokra és interstadiálisokra és csak 92.000 év a kronológiai értelemben vett kilenc jégkorszakra. Ezt a hiányt az egyáltalán lehetséges négyféle interferenciának a glaciális, antiglaciális, szubtrópusi és szubarktusi típusok bevezetésével könnyű pótolni. Ezeket sorban a hideg nyár, meleg nyár, meleg tél és hideg tél jellemzi. És ha a célszerűtlen 1800. évi összehasonlítási alapot a diluviális átlaggal cseréljük fel, akkor ezeknek a típusoknak a legszabatosabb mennyiségtani meghatározást lehet adni: glaciális, antiglaciális, szubtrópusi és szubarktusi az az időszak, mikor a Δe és $e \sin \pi$ rovataiban szereplő mennyiségek előjele rendre —, +, —, +, +, ——. Ezeknek a típusoknak kisebb-nagyobb kötegei alkották az interglaciálisokat és interstadiálisokat. Ennek előnye pedig nem csak az, hogy a negyedkorkutató ebben az 508.000 esztendőben sokkal könnyebben kiismeri magát, hanem az is, hogy a teljes tagolással való egyezés bizonyításának olyan alakot adhatunk, mellyel szemben már nem lehet azt a kifogást használni, hogy a természetmegfigyelésből származó teljes tagolás nem dogma.

A típusok száma, sorrendje, időtartama és intenzitása alapján minden interglaciálist és interstadiálist egymástól szigorúan meg lehet különböztetni. Egészen más pl. a Günz-interstadiális, ahol a legerősebb intenzitású típusok váltogatták egymást és egészen más a Würm II—III interstadiális, ahol más sorrendben, más típusok, másféle időtartamokkal és csakis igen gyenge intenzitással váltogatták egymást. A bizonyítást tehát ilyen alapon úgy lehet megfogalmazni, hogy a negyedkor a morfológiai megfigyelések (terraszok, morénák stb.) alapján kilenc jégkorszakból s a holocént is számítva kilenc megszakításból állt. Úgy a sorrend, mint az időközök és intenzitások tekintetében Milankovics besugárzási görbéje is ugyanilyen 18 elemi részből van összetéve. De 18 elemi részből a permutáció tétele szerint.

$$18! = 6.402., 370.705, 728.000$$

különböző sorrendet lehet összeállítani. Ez már igazi csillagászati szám. Ha 10,000.000 ember nekifogna ezeknek a lehetséges sorrendeknek megolvasásához s ha egy olvasáshoz egy másodperc elegendő volna s naponta 18 órát fordítának a munkára, 30 évig tartana, míg elkészülnének vele. Ha ennyi különféle sorrendi lehetőség dacára a természetmegfigyelés teljes tagolása és a Milankovics elméleti görbéjének tagolása mégis teljesen vág, vagyis a 6.402 billió különböző sorrend közül mégis mind a kettő ugyanannyadik sorrendre esik, úgy ez nem lehet a véletlenség műve. Ebben okozati összefüggést kell látnunk. Ez a meggondolás tehát egy csapásra bizonyítja, hogy mind a két sorrend helyes.

Megjegyzem, hogy azok a vélt okok, melyek miatt sok megfigyelő idegenkedik a teljes tagolástól, nem mondanak ellen a Milankovics elméletnek, sőt támogatják azt.

A bizonyításnak ez a módja azonban még többet is nyújt, Bizonyítja azt is, hogy ebbe a sorrendbe mint ok, a Föld pálya-elemeinek változásain kívül *semmi más, ettől független jelenség* beleszólással nem bírhat. Mert ha akármilyen más elgondolható hipotetikus oknak, pl. tektonikus változásoknak, a Nap hőkisugárzó képességénél elképzelhető pulzációnak, ismeretlen okból származó általános lehűlésnek és fölmelegedésnek, kozmikus ködöknek, pólusvándorlásnak vagy bármi más oknak ebbe a sorrendbe beleszólása lehetne, akkor a természetmegfigyeléssel való egyezés azonnal felborulna, mert hisz ezeknek a hipotetikus okoknak okvetlenül más az időbeli ritmusa. Ez természetesen nem tagadja a felsorolt természeti tünetmények létét vagy lehetőségét, hanem csak annyit akar mondani,

hogy azok *nem lehettek okai az eljegesedéseknek*. Bizonyosan voltak kisebb-nagyobb tektonikus változások, de nem ezek okozták, nem ezek szabták meg az eljegesedések ütemét. Ha volt a Napban pulzáció, az olyan kisméretű volt, hogy 600.000 éven belül nincs nyoma. Általános lehűlés volt, *de az nem oka, hanem következménye volt az eljegesedésnek* és fölmelegedés is volt mint következménye a jégtakaró pusztulásának stb., de az ok, mely az eljegesedések sorozatát életre hívta, majd elpusztította, a *Föld pályaelemeinek változása volt*.

9. Hogy ezt a tudományos világ nehezen akarja elismerni, az a Milankovics-elméletnek ismét egy másik hiányában leli magyarázatát, hogy t. i. a besugárzási görbe, az *éghajlat csapadékos vagy száraz jellege* felől közvetlenül nem ad semmiféle felvilágosítást, holott a negyedkor alatt ebben is nagy változások, Köppen tanítása szerint, egyenesen forradalmi változások fordultak elő. Milankovics nem határozta meg, hogy a kilencszer újra fejlődött vagy feltöltődött jégtakarók közül melyik, mennyi ideig tartott s hogyan, mikor pusztult el.

Soergel 1937-ben »Vereisungskurve« című művében akarta ezt a hiányt pótolni, de az nem egészen sikerült neki. Eltekintve a mindeddig közzé nem tett számításaiban okvetlenül benne rejlő hibáktól, Soergel nem vette észre, hogy nem az a fontos, hogy a jégtakarók déli peremének előretörését és hátrálását fokról fokra, szögpercről szögpercre nyomon kövessük, hanem az első teendő a *skandináv jégtakaró ama kritikus kiterjedésének megállapítása*, mely döntő tényező abban a kérdésben, hogy az eljegesedéstől megkímélt Középső-Európában, ahonnét a leletanyagunk 90%-a származik, a nedves nyugati légáramlás avagy a száraz keleti szél lesz-e az uralkodó jelenség. Ez dönti el Közép-Európa minden országában, különböző medencéiben az évi csapadék mennyiségét. Az évi csapadék mennyiségtől függ továbbá az a kérdés, hogy túlnyomóan erdő borította-e Közép-Európát, avagy az kipusztult s a szárazságot tűrő pusztta vált-e uralkodóvá, mely aztán a levegő porát mint lösz megkötötte.

10. Milankovics besugárzási görbéjének a típusokkal való kiegészítését s az ebből szinte önként folyó eljegesedési görbét az 1. sz. mellékleten mutatom be s azután áttérek a *csillagászati kifogásra*, erre a Damokles kardjára, mely állandóan nyakunk fölött lóg.

11. Ez a kifogás, mely a maga egyszerűségével első pillanatra roppant meggyőzően hat és amely Milankovicsot teljesen megzavarta, *súlyos logikai hibában szenved*. Ezt a logikai hibát a Csillagászati

Lapok 1942. évi 3. sz. füzetében lepleztem le s minthogy azzal szemben immár két éve semmiféle ellentmondás nem nyilatkozott, talán szabad remélnem, hogy a magyar csillagászokat sikerült meggyőzőn a kifogás alaptalan volta felől. A logikai hiba röviden abban áll, hogy a Milankovics-elmélet szerint a Föld pályaelemeinek pusztá változásaiból, ami a harmadkor alatt is bizonyosan megvolt, még nem következik, hogy okvetlenül eljegesedéseknek is be kellessék következniök. Ezek interferenciáktól függenek. Ez a kifogás tehát csak akkor volna jogosult, ha az, aki a kifogást emeli, azt is bizonyítani tudná, hogy ilyen interferenciák éspedig a Köppen-féle küszöbértéket meghaladó erővel a harmadkor alatt tényleg be is következtek. Erről azonban szó sincs. Soha senki ilyenforma bizonyítást meg sem próbált.

A sikerült glaciális interferenciák a Δe és $e \sin \pi$ hullámvonalai között néha sűrűn megismétlődnek, máskor sokáig kimaradnak. Ott van a 200.000 éves nagy interglaciális (Mindel—Riss), ahol éppen úgy ingadoztak a pályaelemek, mégsem sikerült egyetlen jégkorzsaki interferencia. És itt van az előttünk fekvő hosszú interglaciális, melynek a holocén csak egy kis töredéke, de ez egészen más okból fog származni. A Mindel—Riss interglaciálisnak oka mennyiségtanilag röviden kifejezve $5\Delta e = 10 e \sin \pi$, a mostani interglaciálisé $e \sin \pi \cong 0$. Más hasonló okok is vannak, pl. $\Delta e \cong 0$ stb.

A csillagászati kifogás, úgy, ahogyan azt Milankovics melléne szegezték, egy illogikus extrapoláció.

Lehet az elméletből jogos extrapolációt is kieszelni, de abban aztán nincs semmiféle ellentmondás a természetmegfigyeléssel szemben. Ehhez azonban az elméletbe való sokkal alaposabb elmélyedés szükséges.

A csillagászati kifogásnak most előadott rövid cáfolata csak a pályaelemeknek az *ismert keretek között* való ingadozása esetén érvényes. De most azt akarom bemutatni, hogy logikusan következethetünk a pályaelemeknek olyan ingadozására is, mely *más keretek között* folyt le s ez fogja a pleisztocén igazi lényegét és okát világossá tenni.

12. Hallottuk, hogy a Milankovics-elmélet a Miskovics-féle táblázatokra van felépítve, ezek pedig a Leverrier-féle képleteken nyugszanak, melyek viszont a Lagrange-transzformációkból folynak. Lagrange szerint minden bolygónak s így a Földnek is a többi hét bolygó háborgatása miatt két pár változó eleme van, e , ω és i , ϖ . Az e a Föld-pálya excentricitása (az inga) és ω — mondd görbe pi —

az apszisvonal forgása (óramutató). Az i az ekliptika síkjának inklinációja az állócsillagokhoz képest (inga) és Θ a csomóvonal forgása (óramutató).

A szóbanforgó négy változó elemnek az idő függvényeként való értékét közvetlenül nem lehet kiszámítani, ahhoz a három test problémájának általános megoldása volna szükséges. Ellenben Lagrange még 1782-ben megmutatta annak módját, hogy négy új segédváltozó közbeiktatásával s a szükséges állandóknak fokozatos megközelítéssel való kiszámítása révén hogyan lehet a háborgatási számítás a Naprendszeren belül megoldani. A négy közbeiktatott segédváltozó a következő:

$$h = e \sin \tilde{\omega} \quad l = e \cos \tilde{\omega} \quad p = \operatorname{tg} i \sin \Theta \quad q = \operatorname{tg} i \cos \Theta.$$

Ezek az egyenletek definíciók, nem kell hozzájuk semmiféle levezetés: »Az $e \sin \tilde{\omega}$ mennyiséget nevezzük h -nak« és így tovább. Ezekből a definíciós egyenletekből egyszerű levezetéssel következik, hogy

$$e = \sqrt{h^2 + l^2}, \operatorname{tg} \tilde{\omega} = \frac{h}{l}, \quad \operatorname{tg} i = \sqrt{p^2 + q^2} \text{ és } \operatorname{tg} \Theta = \frac{p}{q}.$$

A $\sin$ és $\cos$ mindig ± 1 vagy ebbe a közbe eső szám, az e és $\operatorname{tg} i$ is igen kicsiny szám, tehát a h, l, p, q segédmennyiségek is különböző előjelű igen kicsiny tiszta viszonzyszámok s a következő egyenletekből, melyek lényegileg azonosak a definíciókkal, bármely időpontra kiszámíthatók:

$$\begin{aligned} h &= \sum_k^{\circ} N_k \sin (g_k t + \beta_k) & p &= \sum_k^{\circ} N'_k \sin g'_k t + \beta'_k \\ l &= \sum_k^{\circ} N_k \cos (g_k t + \beta_k) & q &= \sum_k^{\circ} N'_k \cos (g'_k t + \beta'_k) \end{aligned}$$

Ezekben az egyenletekben a t az évek számát jelenti, ez a független változó s a műtű való számításnál negatív előjellel kell használni. Az $N_k, g_k, \beta_k, N'_k, g'_k, \beta'_k$ pedig állandók, melyeket fokozatos megközelítéssel, vagy mondjuk, rendszeres próbálgatással lehet kiszámítani. A háborgató bolygók száma hét s mindegyikhez tartozik hat állandó, tehát összesen 42 ilyen állandót kell ismernünk. Értéküket Miskovics a modern bolygó tömegek felhasználásával számította ki s azokat táblázatosan a 2. sz. mellékleten mutatom be. Helyes voltak mellett azt az érvet lehet felhozni, hogy a Δe és $e \sin \pi$ -re vonatkozólag ugyanarra az eredményre vezettek, mint amit Pilgrim Stockwellnek egészen más képletei és állandói mellett kapott.

13. Minthogy nekünk a csillagászati kifogás leküzdésének ügyében főleg a p és q történeti lefolyására lesz szükségünk, boncolgassuk

egy kevéssé ezeknek egyenleteit. A Σ -jel elhagyásával ezeket az egyenleteket ilyen alakban írhatjuk:

$$p = N'_0 \sin(g'_0 t + \beta'_0) + N'_1 \sin(g'_1 t + \beta'_1) + \dots + N'_6 \sin(g'_6 t + \beta'_6)$$

Ha ebből a hét tagból kiragadjuk akármelyiket, pl. a harmadikat, akkor ezt kapjuk:

$$p_2 = N'_2 \sin(g'_2 t + \beta'_2)$$

Ha mármost ebbe az egyenletbe helyezzük be a t értékeit visszafelé a multba haladva, mondjuk, ötezer évenként, tehát —5000, —10.000 —15.000 ... stb. évszámokat, akkor az így kapott értékeket mint ordinátákat felrajzolva s végső pontjaikat összekötve nyilvánvalóan egy igen laposra torzított sinus-görbét fogunk kapni, mert az N'_2 a 2. sz. melléklet szerint igen kicsiny szám, 0.002785. A sinus-vonal periódusát a g'_2 értéke, 25'' fogja megszabni, ami közel 52.000 év lesz. A β'_2 szög, 126° pedig csak a sinus-görbe kezdő fázisát határozza meg.

Mindez természetesen áll a

$$q_2 = N'_2 \cos(g'_2 t + \beta'_2)$$

történeti menetét jelző görbére is, mely csak annyiban fog a p_2 -től különbözni, hogy fázisa ehhez képest 90°-kal el lesz tolódva, mint ahogy a cos görbéje a sin görbéjéhez képest el van tolódva. Az amplitudója azonban q_2 -nek ugyanakkora lesz, mint a p_2 amplitudója s a periódusukban sem lehet különbség. Ettől eltekintve érvényes lesz az a törvény is, hogy a q_2 csak ott kulminálhat, ahol p_2 homorúból domborúba vagy viszont átvált s a q_2 csak ott válthat át, ahol p_2 kulminál. Ez magától értetődik, mert q_2 a p_2 -nek első derivátuma.

Egy másik összetevő, pl. a p_3 ugyancsak torzított sin-görbe lesz, de itt a torzítás már jóval kisebb, mert az N'_3 jóval nagyobb, mint az N'_2 . A p_3 periódusa pedig sokkal hosszabb lesz, mert a g'_3 sokkal kisebb, mint a g'_2 ; a p_3 periódusa körülbelül 230.000 év lesz. A kezdeti fázisa β'_3 miatt 20° körül lesz.

14. Végeredményben tehát a $p = \sum_k N'_k \sin(g'_k t + \beta'_k)$ azt jelenti, hogy hét különböző mértékben torzított, különféle periódusú és különféle kezdeti fázisú sinus-görbe ordinátáit kell összeadnunk s ezeknek az összegeknek mint új ordinátáknak végpontjait összekötve megkapjuk a p görbét $p = p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_6$. Az eredményt grafikus alakban a 3. sz. melléklet mutatja. E szerint a p görbéje a sokféle viszontagságot csodálatosan megúsza s eléggé hasonlít egy sin-görbéhez, de a tengelyhez képest annyira föl van emelve,

hogy alsó kulminációval csak háromszor —420.000, —210.000 és —150.000 év körül lép rövid időre a tengely alá, vagyis az előjele ettől a három rövid kivételtől eltekintve, mindig pozitív lesz. Ezt nem várhattuk, hisz minden összetevő sinus-görbéjének ugyanannyi ideig kellene a tengely fölött, mint alatta lefutnia? S az a furcsa, hogy a q görbéjénél már nem tapasztaljuk azt a részaránytalan fekvést a tengelyhez képest, annak minden felső kulminációja a tengely fölött s minden alsó kulminációja a tengely alatt helyezkedik el.

15. A 2. melléklet alapján ennek a különös jelenségnek okát is megérthetjük. A g'_0 értéke Miskovics szerint olyan kicsiny, hogy csak az ötödik tizedes után következne valamely számjegy, ami már nincs is kimutatva $g_0 = 0.00.000$. De azért a p_0 -nak is kell lenni valamilyen igen hosszú periódusának, mert e nélkül egy sin-görbe elképzelhetetlen. A g'_0 tehát csak annyit mond, hogy a p_0 periódusa olyan hosszú, hogy annak a hozzá képest igen rövid 600.000 év alatt semmiféle hatását nem lehet észrevenni. Az N'_0 értéke ellenben a saját rovatában a legnagyobb, tehát a torzítás legkisebb. Ennélfogva grafikusán ábrázolva a tengely fölött vont p_0 ahhoz párhuzamos egyenes lesz. A kezdeti fázis $\beta'_0 = 103^\circ$, sinusa közel jár az 1-hez (0.972). A p_0 tehát az egész 600.000 éven át igen magasan fekszik s ez rántja föl a p görbét a természetes helyzetéből, mely egyébként a tengelyhez képest részarányos volna.

Igen magas értéke van a többihez képest N'_6 -nak is, melynek periódusa a g'_6 miatt 69.000 év. Tehát ez a két tag a p_0 és p_6 nyomja rá a bélyegét az ismert 600.000 év alatt a p görbéjére, míg a többi öt összetevő egymást jobbra $\pm$ értékeikkel kiegyenlíti. A p_6 szabja meg a periódust s a p_0 emeli föl természetellenes fekvésébe a p görbét.

Most már azt is megértjük, hogy a q görbéjénél a q_0 tagnak nem lesz meg az emelő hatása. Ha egyszer a $\sin \beta'_0$ közeljárt az 1-hez, a $\cos \beta'_0$ természetesen alacsony értékű lesz (0.235) s így az N'_0 hatása itt nem tud érvényre jutni a maga teljességében. Ezek után érthető, hogy a q -nak minden felső kulminációja a tengely felé és minden alsó kulminációja a tengely alá esett.

16. Fázisban a q természetesen 90° -kal el van tolódva a p -hez képest s a két görbe egymást szigorúan ellenőrzi, mert a q első derivátuma a p -nek s a kulminációk és átváltások ugyanúgy összefüggenek, mint azt a q_2 és p_2 -re vonatkozólag fentebb már kifejtettük. Ez a táblázatok ellenőrzése miatt igen fontos; a grafikonban

a legkisebb hiba azonnal kiált. A Miskovics-féle táblázat q rovatában nincs is egyetlen hiba sem. Csak a p rovatban van nyilván elírás miatt —415.000 évnél az előjel elvétele. Oda +0.007 4427 helyébe —0.007 4427 való s ennek megfelelőleg a θ rovatban a —415.000 évnél szereplő 154°55'05''-et 205°04'50''-ra kell helyesbiteni.

17. Visszatérve a $g'_0 = 0.00\ 000$ értékére, nem tartom kizártnak, hogy az utolsó vagy utolsó két számjegynél itt is hiba van. Mert túlságosan feltűnő, hogy amíg a g rovat összege 76''. 38 388, addig a g' rovat összege csak 76''. 38 312. Ennek a két számnak nyilván az utolsó két számjegyben is egyeznie kellene. Miskovics a táblázatához írt szövegben említi is, hogy míg az általa alapul vett bolygótömegekkel a többi bolygónál az állandók kiszámítása elég simán ment, addig a Merkurnál és Uránusnál bajok voltak. Az ellenmondásokat csak úgy lehetett kiküszöbölni, hogy javítgatni kellett a tömegben. Teljes pontosságot e téren nem is lehet várni, mert a bolygók tömegeit nem ismerjük teljes pontossággal. De akár van a g'_0 -ben hiba, akár nincs, annyi bizonyos, hogy a p_0 igen hosszú periódusa sem tarthat örökké. Ha pedig a g'_0 értékébe a negyedik és ötödik tizedesnél valamely számjegyeket beírunk, akkor a $\sin(g'_0 t + \beta'_0)$ periódusa egyszerre lényegesen rövidebb lesz s a sinus-görbe tetőzésének az a szakasza is, mely gyakorlatilag a tengellyel párhuzamos egyenesnek vehető, egyszerre összetöppörödik. Azt az időszakot tehát, míg a p_0 miatt a p görbéje nem fekszik részarányosan a tengelyhez, csak *kivételes* helyzetnek szabad tekinteni, amire sokkal hosszabb olyan *normális* időszaknak kell előre és hátra következnie, mikor a p részarányosan fekszik. Ha módunkban állna abszolút pontos állandók felhasználásával számításainkkal a múltba tetszés szerinti távolságokig elkalandozni, így okvetlenül előbb-utóbb elérnénk azt a nem kivételes helyzetet, mikor a p görbéje a tengelyhez képest természetes helyzetében, részarányosan fekszik.

18. Akkor pedig a p -nek minden alsó kulminációja a tengely alá fog esni s akkor eljegesedés sem lesz. Mostmár tehát nemcsak azt állíthatjuk, hogy a Föld pályaelemeinek a mai keretek közt való ingadozása sem okoz okvetlenül eljegesedést, hanem az is világos, hogy azokon a hosszú időszakokon át, mikor a p részarányosan feküdt a tengelyhez képest, az elemek ingadozása egészen más keretek között folyt le, ami eljegesedések keletkezését hosszú százmillió éves időszakokra kizárta.

19. Talán túlságos merészségnek tűnik fel, ha egy olyan egyszerű és bonyolult természeti jelenséget, mint az eljegesedés olyan

morzsányi kis tiszta viszonyszámnak változásaitól teszünk függővé, mint a Lagrange p mennyisége. De annak magyarázata, hogy a p görbéjének részarányos vagy nem részarányos fekvése és az eljegesedés lehetősége között milyen összefüggés látszik, már aránylag könnyű feladat. Felértünk a hágóra s ha utunk nem is vezet torony irányt a célunk felé, ezentúl biztos úton haladunk lefelé. Célunk világos: azt kell igazolni, hogy *a p részarányos fekvése az eljegesedés lehetőségét kizárja.*

20. Kezdjük azzal, hogy a 3. sz. mellékletből a 4. sz. melléklet 1—8. rovataiba kiírjuk azokat az időpontokat, mikor p és q egymással egyenlők voltak s előjeleik is egyeztek vagy különböztek, illetőleg mikor valamelyik értéke zérus volt, azaz a tengelyt metszette. Minthogy $\operatorname{tg} i = \sqrt{p^2 + q^2}$, a 4. sz. melléklet 1, 3, 5, 7 rovatai esetében $\operatorname{tg} i = \sqrt{2}p$, ezt pedig ismerjük a 3. sz. mellékletből, tehát a $\operatorname{tg} i$ -t is ismerjük. A 2, 4, 6, 8 rovat esetében $\operatorname{tg} i = p$ vagy q , tehát a $\operatorname{tg} i$ görbéjét könnyű megszerkeszteni, mint az az 5. sz. mellékletből látható. Éppen úgy semmi nehézségbe sem ütközik a Θ görbéjének megszerkesztése. A 4. sz. melléklet 1—8. rovata sorban megadja azokat az időpontokat, mikor $\Theta = 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ és 360° volt.

Az 5. sz. mellékletből most már láthatjuk, hogy az a két morzsányi tiszta viszonyszám, a p és q miért olyan fontosak. Ezek szabályozzák a $\operatorname{tg} i$ »ingának» s a hozzátartozó Θ »óramutatónak» járását.

Ha ilyenmódon a $\operatorname{tg} i$ görbéje mellé felrajzoljuk a Θ görbéjét, mint azt az 5. sz. mellékleten láthatjuk, akkor tüzetesebb vizsgálatra azonnal feltűnik, hogy a Θ kétféleképpen reagál a $\operatorname{tg} i$ minimumaira: vagy egy időre (25.000 évre) direkt irányú forgásba csap át, vagy meggyorsítja retrográd irányú forgását. Az ismért 600.000 év alatt öt esetben (az 5. sz. melléklet $a—e$ eseteiben) a Θ direkt irányba csapott át, három esetben pedig (az 5. sz. melléklet $f—h$ eseteiben) meggyorsította retrográd irányú forgását.

Ha ennek a jelenségnek fizikai értelme és oka iránt érdeklődünk, úgy arra a következő sematikus ábrából nyerünk felvilágosítást.

A háborgató bolygó pályasíkjából kivágunk egy négyzetet úgy, hogy a BC oldal párhuzamos legyen a Föld csomóvonalának a kezdeti időpontban elfoglalt helyzetével $\mathcal{Q}_0\mathcal{O}_0$ egyenessel. Ezt a négyzetet az ábra távlati rajzban mint $ABCD$ mutatja közepén a Nappal S . A Föld háborgatatlan pályájának azt a részét, mely az $ABCD$ sík fölé esik, jelképezze $\mathcal{Q}_0E\mathcal{O}_0$ görbe szintén távlati rajzban. A két

pályája az $A'B'C'D'$ síkot már nem $\bar{O}$ pontban, hanem csak később $\bar{O}_0$ ponttól balra valahol $\bar{O}_1$ pontban fogja átdöfni, amivel a csomóvonal forgásának átcsapása direkt irányba meg van magyarázva.

Ha ellenben az $ABCD$ sík az MN tengely körül úgy billen el, hogy az AB oldal lefelé, a CD fölfelé kerüljön, akkor a Föld háborgatott pályája az $A''B''C''D''$ síkot már korábban $\bar{O}$ ponttól valahol jobbra $\bar{O}_2$ pontban fogja átdöfni, amivel a retrográd irányú forgás meggyorsulása nyert magyarázatot.

Egyszóval a Θ kétféle reakciója az i minimumaira pusztán a háromtest problémája (Nap, Föld, háborgató bolygó) alapján nem fejthető meg, hanem ahhoz még egy negyedik testet kell igénybe vennünk. A negyedik test háborgató hatását természetesen úgy foghatjuk fel, mint a többi hat háborgató bolygó vonzó erejének eredőjét.

22. A Θ görbéjének az 5. sz. mellékletből kiolvasható történeti lefolyása még azt a feltűnő jelenséget is mutatja, hogy *a direkt irányba való átcsapás mindig csak egy és ugyanazon kitüntetett körnegyedben, a 45° és a 135° között esett meg.* Ennek következménye, hogy a csomóvonal egyik vége, a felszálló csomópont, a többi körnegyeden csak gyorsan átsuhan, a kedvezményezett körnegyedben pedig hosszú ideig ide-oda tántorog. A kedvezményezett körnegyednek a 45° — 135° -kal való megnevezése természetesen csak a tavaszpontnak az 1800. évi helyzetével függ össze, mert ettől mérjük a hosszúságokat. De mivel a tavaszpont helye a precesszió folytán állandóan változik és a 600.000 év alatt sokszor körülfutotta a teljes kört, azt az elnevezést azzal is helyettesíthetjük, hogy a kedvezményezett körnegyed mindig a Bika, Ikrek és Rák csillagképek irányába esik, melyeknek mai hossza 45° és 135° közé esik.

23. Ez a jelenség, melyet sem Milankovics, sem Miskovics nem méltattak, még feltűnőbbé válik, ha az 5. sz. melléklet ábráját egy henger felületére ragasztjuk föl olyképpen, hogy az idő a henger tengelyének irányába essék. A Θ direkt periódusai akkor mind a henger ugyanazon oldalára egymás fölé kerülnek. Hogy ne kellessék ilyen térmértani segédeszközökhöz folyamodnunk, poláris koordinátákkal is szemléltethetjük ezt a jelenséget, csak azzal a fogással kell élnünk, mintha felülről mértük volna a hengert s az időben hozzánk közelebb eső körök átmérője növekedett volna. Vagyis egymást fedő körök helyett egy spirálist rajzolunk, mint azt a 2. sz. ábrán láthatjuk. A csomóvonalnak mint óramutatónak útja betű szerint szemeink elé tárul.

ügyébe eső csillagászati táblázatból meggyőződhetünk, mely a Naprendszer mai állapotát tünteti föl. Ezekben a táblázatokban valamennyi bolygó felszálló csomópontja tényleg a 45° — 135° -ig terjedő körnegyedbe esik: Merkúr 47° , Mars 49° , Uránus 73° , Venusz 76° , Jupiter 99° , Saturnusz 113° és Neptunus 131° . Amit tehát a Földnél 600.000 év történeti lefolyása során tapasztaltunk, azt a Naprendszer mai állapotában *mint statisztikai tényt* látjuk viszont.

Szabad legyen itt még egy pillanatra az 1. sz. ábrára visszatérve kiemelnem, hogy most már láthatjuk, hogy a csomóvonalak egy körnegyeden belül vannak eloszolva s így az 1. sz. ábrán berajzolt MN tengely nem valami megengedhetetlen feltevés.

Azt a statisztikai tényt, hogy minden nagy bolygó felszálló csomópontja egy körnegyeden belül fekszik, már száz év előtt megjelent művekben is megtaláljuk, de magyarázatot még soha senki nem fűzött hozzá. A Milankovics-elmélet íme erre is megadja a magyarázatot s egyáltalában megtanít arra a célszerű felfogásra, hogy a Naprendszer mai állapotát mint egy történeti folyamat végső fázisát tekintsük.

24. Visszatérve a célunk felé vezető gondolatmenetre a 3. és 5. számú mellékletek összehasonlításából könnyű megállapítani, hogy a Θ gyorsított időszakai pont ott (-420.000 , -210.000 , 150.000 —körül) következtek be, mikor a p alsó kulminációi a tengely alá estek; a Θ direkt periódusai pedig akkor következtek be, mikor a p alsó kulminációi a tengely fölött maradtak.

Ha tehát egyszer a távoli múltban a p részarányosan, természetes helyzetében feküdt s minden egyes alsó kulminációja a tengely alá esett, akkor a Θ -nak csak gyorsított retrográd szakaszai voltak, direkt periódusai pedig egyáltalán nem voltak s kedvezményezett körnegyed sem létezett.

A 2. sz. ábrán a spirális mellé be vannak rajzolva a negyedkori jégkorszakoknak és a nagy interglaciális nem sikerült glaciális interferenciáinak helye és ideje. Látjuk, hogy azok mind a kedvezményezett körnegyedben, főleg a 135° és 45° irányában vannak tömörülve. A Θ három gyorsított szakasza pedig mind az ellenkező oldalon 270° -nál tömörült. Látjuk tehát, hogy az *eljegesedés és a kedvezményes negyed összefüggő jelenségek* s ebből arra is következtethetünk, hogy olyan normális időkben, mikor a felszálló csomópontoknak egy körnegyedben való tömörülése megszűnik, sikerült glaciális interferenciák sem lesznek.

25. Annak a statisztikai ténynek mechanikai magyarázata, hogy a sikerült glaciális interferenciák miért függenek össze a Θ direkt periódusaival és a kedvezményezett körnegyeddel, nagyon messze vezetne. Ez azzal a bonyolult kérdéssel függ össze, hogy hogyan kell az i és Θ hatását a precesszióval összeolvasztani, hogy abból az ε és $\Delta\varepsilon$ mennyiségeket megkapjuk. De az is nyilvánvaló, hogy ebbe még a h , l , illetve az ezektől függő e és $\tilde{\omega}$, valamint a precessziónak ezekkel való összeolvasztásából származó $e \sin \pi$ mennyiség történeti lefolyását is bele kellene vonni. Azt hiszem azonban, hogy e nélkül is elfogadhatjuk a statisztikai tényt, ha meggondoljuk, hogy a 2. sz. melléklet g rovatában nincs olyan veszedelmes tétel, mint a $g'_0 = 0.00.000$, mely maga után vonhatná, hogy a h és l a tengelyhez képest hosszabb időre részaránytalán fekvésbe kerülnének. Ennek ellentmond a h és l történeti lefolyása, mint azt a 3. sz. mellékletből megállapíthatjuk.

26. Ha pedig egyszer beláttuk, hogy a pleisztocén jégkorszakok oka végeredményben tényleg a p görbéjének asszimmetrikus fekvése volt, úgy önként kínálkozik az az extrapoláció, hogy a karbonkori eljegesedéseknek ugyanez volt az oka. Ideálisan jó állandókkal számolva, az akkori időtáj évszámainak a $p = \sum_k N'_k \sin (g'_k t + \beta'_k)$ képletbe való behelyezésével ismét olyan görbe kerülne ki, mely a tengelyhez képest nem feküdt részarányosan. Ez okból a csomóvonal forgásában direkt periódusokkal összefüggő kedvezményezett körnegyed keletkezett, amivel kapcsolatban többször alkalom nyílt a $\Delta\varepsilon$ és $e \sin \pi$ közötti sikerült glaciális interferenciákra. A karbonkori jégkorszakok és a pleisztocén jégkorszakok közé eső több százmillió éves időszakban ellenben p a tengelyhez képest részarányosan, természetes helyzetben feküdt, minek folytán a csomóvonalnak direkt periódusai nem is voltak, »kedvezményezett körnegyed« nem létezett s így jégkorszakok sem fejlődhettek ki. Ezeknek a normális időszakoknak tartama természetesen sokkal hosszabb volt, mert ahhoz nem volt szükséges, hogy a p teljesen részarányosan feküdjék, hanem ehhez elég volt, ha a $\sin (g'_0 t + \beta'_0)$ és $\cos (g'_0 + \beta'_0)$ hatása egymást nagyjából kiegyenlítette s ennek folytán a p és q görbéi teljesen egybefonódjanak. Ennek az egybefonódásnak nem kell, hogy az legyen a következménye, hogy a Θ -nek gyenge, direkt periódusai ne lettek légyen, csak kedvezményezett körnegyed nem létezett.

27. E tekintetben senkit se zavarjon meg az a körülmény, hogy a Föld sarkainak helyzete a kontinensek mai fekvésével szem-

ben a karbonkorban egészen más volt, mert a $\Delta \varepsilon$ szélső lehetséges értékeit ez nem érinti: Ezek csakis az N' rovat összegéből $\text{tg } i_{\max.} = 0.078.027$ és $\Delta i_{\max.} = 4^\circ 28'$ értékektől és a precessziótól függenek s a most kifejtett extrapoláció jogos voltát nem érinti, ha a sarkok és kontinensek fekvése más volt.

28. Az ilyen extrapoláció lehetősége abból a morzsányi jól ismert 600.000 év földtörténetéből az elméleti igazság legszebb fölénye a természet-megfigyelésből közvetlenül levont igazságokhoz képest. Az ilyen extrapoláció lehetősége arra vall, hogy a Milankovics-elmélet olyan igazságot juttat kifejezésre, mely általános érvényű a Naprendszeren belül létező viszonyokra vonatkozólag.

Ha pedig megfontoljuk, hogy a Föld történetének ama hosszú szakaszai, melyeket normálisoknak minősítettünk s ama rövidebb, de még mindig nyilván több millió évre terjedő szakaszai, melyeket kivételes, abnormális szakaszoknak minősítettünk, valójában nem az igen kicsiny p mennyiségtől, hanem a $\text{tg } \Theta = \frac{p}{q}$ viszonzyszámtól függenek, melynek értéke $+\infty$ -tól $-\infty$ -ig terjed, s így elveszti a vakmerőség jellegét, ha nemcsak *egy* olyan nagyszerű természeti jelenséget, mint az eljegesedés, hanem *azok egész sorozatát* ettől a viszonzyszámtól tettük függővé.

29. Tanulságul az előadottakból azt kívánom levonni, hogy a negyedkori kutatásban érdekelt mindenféle tudományágak művelői lássák be azt a kétségbevonhatatlan tényt, hogy a *pleisztocén eljegesedések keletkezése, tartama, pusztulása az idő függvénye volt*. A háborgatási elméletnek s az erre alapított csillagászati időszámításnak ismerete tehát *előfeltétele* annak, hogy az eljegesedések s azok pusztulásának fizikai okai felől tisztába jöhessünk. Aki időszámítás nélkül kísérli meg a jégkorszakok okai felől elméleteket gyártani, legyen bár a saját szakmájának még oly kiváló képviselője, okvetlenül csalódásnak néz elébe. Eszmei pisai ferde toronyból fogja golyócskáit ledobálni. Viszont senki se riadjon vissza a háborgatási elmélet bizonyos mértékű elsajátításától. Nem olyan nehéz ez, mint első pillanatra látszik. Az igazi nehéz munkát, az állandók kiszámítását, úgyis a hivatásos csillagászoknak kell elvégezni.

30. Érdemes a negyedkori időszámítás ismeretét elsajátítani, mert a negyedkor voltaképpen gazdátlan terület, *senki földje*. A csillagászok közül kevesen törődnek vele, számukra 600.000 év csak egy szempillantás. A geológus a löszben nem talál vezérkövületet. A rozsdabarna lösz-övek nem minden országban egyformák, nem

bíznak bennük. Az ősrégész és antropológus a legérdekesebb adatokat gyűjti emberi elődeinkről, de időszámítás híján nem tud történetet adni. Földrajzi kutatóink a legszebb morfológiai adatokat gyűjtik össze, de az időszámításnál megakadnak s a fizikai okot is hamisan adják meg. Nincs szervezetünk, nincsenek összejöveteleink, hogy gondolatainkat kicserélhetnénk, a felmerült kérdéseket megvitathatnánk s ha majd egyszer megint nemzetközi kongresszust hívnak össze, félős, hogy kellő előkészület és program nélkül fogunk azon megjelenni. Ki fog derülni, hogy nem ismerjük ki magunkat a negyedkori kalendáriumban.

HOZZÁSZÓLÁSOK

Szalai Tibor: Az előadó a mezozoikumot és a harmadkort, mivel ezek idejében nem volt eljegesedés, normális időszaknak tekinti, szemben a pleisztocénnal, a kivételes állapottal, az eljegesedés idejével. A hozzászóló szerint »normális időszakban« is többször megvoltak azok az exogén okok, amelyek a pleisztocénben jégkorszakok kialakulásához vezettek, azonban a kontinensek nagyobb részének ekvatoriális helyzete következtében a jéggel fedett területeknek nem maradhattak meg a nyomai. Kisebb eljegesedések nyomai azonban a mezozoós képződményeken is visszamaradtak. Így például az ausztráliai idősebb krétakori képződmények is tanuskodnak egykori jégképződésről. (Schuchert és Dunbar: A Textbook of Geology Part II. New-York 1933, p. 366.) A fenti szembeállítás: »kivételes és normális állapot« tehát nem helyeselhető. Tudjuk, hogy valamennyi hegységképződést követő időben volt jégkorszak. Így tehát nyilvánvaló, hogy a tektogenézis és a jégkorszakok között van közvetlen okozati kapcsolat. Ezen a tényen mit sem változtat az, ha a hegységképződések kialakulását részben exogén okokkal hozzuk vonatkozásba.

Bacsák György: Szalai hozzászólására válaszolva elfogadja az előtte ismeretlen Schuchert-féle műben a hegységeknek tulajdonított szerepet több-féle vonatkozásban.

Először is, hegység nélkül eljegesedést elképzelni nem lehet, mert hisz azt az egymás hegyén-hátán lefelé törekvő jégárok tömkelege alkotta. Milankovics egyenesen azzal kezdi a Math. Klimalekra 42. §-át, hogy ha a Földön nem volnának hegységek, akkor az eljegesedést olyanforma természeti tűnemény helyettesítené, amint a Mars sarki hósapkáinak változásai. (A Marson nincsenek magas hegyek.)

De ahhoz, hogy a magas hegység a Föld pályaeleinek változásaival kapcsolatban az eljegesedésnek Európában tapasztalható fokát elérhesse, vagyis a Köppen-féle küszöbértéket túllépve az eljegesedéstől megkímélt Közép-Európában is nevezetes éghajlati forradalmat tudjon megindítani és fenntartani, még az is szükséges, hogy a hegység az északi sarkkört elérje s az eljegesedés gócpontja ugyanott feküdjék. Olyan jégkorszakok, mint az Eberl Ottobeureni és Staufenbergi jégkorszakai (— 930.000 év illetve — 830.000 év), melyeknek gócpontjai az Alpokban és Kárpátokban volt, klímaforradalmat,

a csapadékviszonyok megváltozását, löszképződést s egyéb nevezetes, pl. paleontológiai nyomokat nem hagyhatnak maguk után.

De maga a K ö p p e n-féle posztulátum, melyet Milankovics számításaival igazolt, hogy a diluviális eljegesedések oka az átlagosnál hidegebb nyaraknak enyhe telekkel való találkozása volt, csakis magas hegységben válthatja ki a hótartalékolást és a jégárak megnövekedését. Síkságra nem érvényes.

Az is kétségtelen, hogy a távoli geológiai mult olyan időszakában, mikor a kritikus Föld-övön szárazulat és hegység nem volt, a glaciális interferencia sem hozhatott létre eljegesedést.

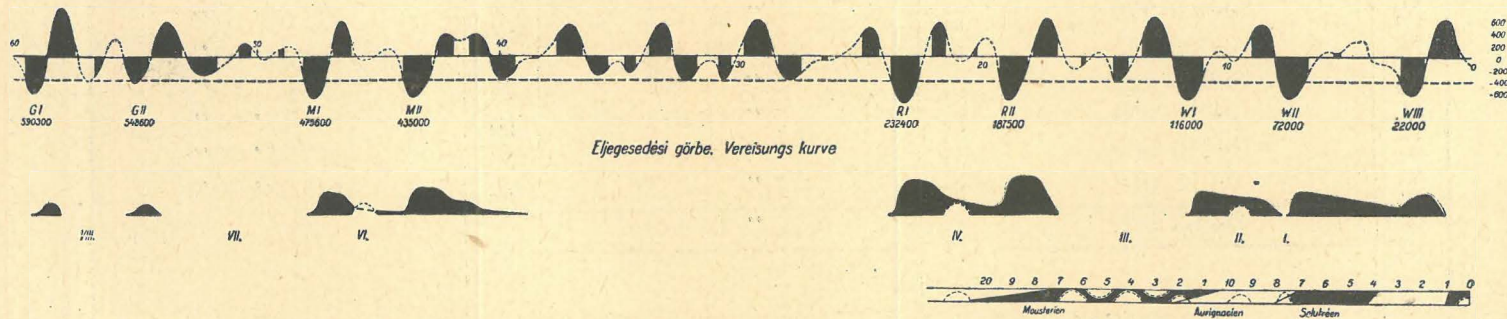
Viszont a szárazulat pusztá léte, vagy hegyek feltornyosulása egyedül jégkorszaki eljegesedést nem hoz létre, mint ahogy a Himaláján és a skandináv hegyekben ma is csak helyi jégárak vannak. Elképzelhetetlen, hogy a pleisztocén alatt a skandináv hegyek hol feltornyosultak volna, hol besüppedtek volna s a teljes tagolás ritmusát az szabta volna meg. Ez a ritmus a 18! tanúsága szerint kizárólag a Föld változó pályaelemeivel egyezik s ez nyilván úgy volt a távoli geológiai mult eljegesedéseinek idején is.

Ha a könyvtár ismét hozzáférhető lesz, előadó a Schuchert-féle művet majd tanulmányozni fogja.

Noszky Jenő: Mi az a bevezetőben érintett számítéstechnikai akadály, miért nem számítunk a távolabbi multba is?

Bacsák György: Arra a kérdésre, hogy miért nem lehet a Föld változó elemeinek interferenciáit a távolabbi multba is kiszámítani, egy kéznél levő számpéldán (kalkuláción) bemutatja, hogy a Lagrange-féle gt illetve $g't$ sorozatban rejlik az akadály. A g és g' allandók is végeredményben mérések, távolságok, szögek, idők méréseiből adódnak s minden mérés bizonyos kis hibával terhelt. Ha tehát az évek számát igen magasra vesszük föl, ezzel egyenes arányban nő a hiba is. Minthogy pedig a g és g' -nak magában véve csak néhány szögmásodpercre rugó értéke t -vel szorozva, már 600.000 éven belül is több ezer fokos szöget ad s $\sin$ és $\cos$ szögfüggvényekről lévén szó, a 360° egészszámú többszöröseit le kell vonni, mikor is néha csak $1-2^\circ$ marad. Mármint lehetséges, hogy ez a kis maradék-szög kizárólag a felszaporodott hiba eredménye. 600.000 évig ez a veszedelem nincs, de azontúl rendszeresen s aránylag gyorsan növekszik. Szóval a csillagász számító ceruzájának is éppen úgy megvan a maga »látótávolsága«, akár a távcsövének.

1. sz. melléklet
Beitags Nr. 1.

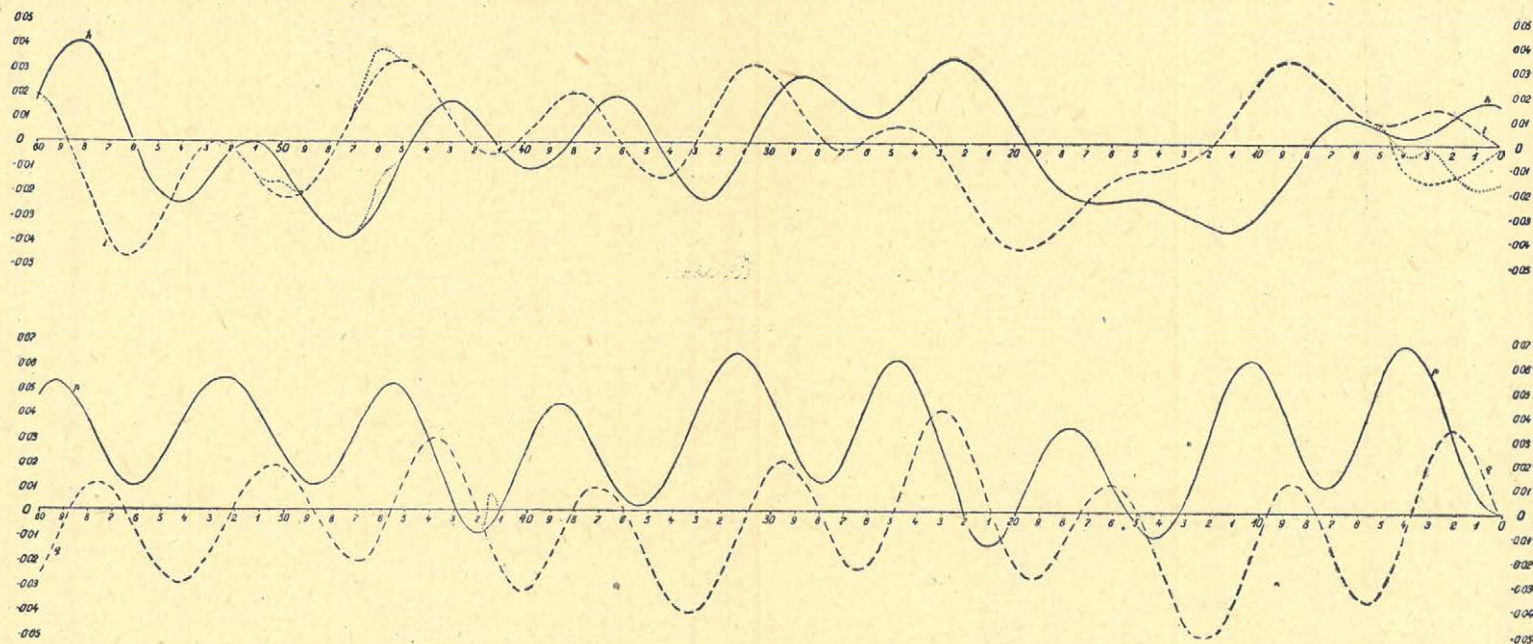


A Milankovics-féle besugárzási görbe az eljegesedési görbével, a lösz magyarországi rozsdás öveinek keletkezési idejével és az emberi kultúrák időbeli beosztásával. A vonalkázott egyenes a Köppen-féle küszöbérték.

Die Bestrahlungskurve von Milankovics mit einer Vereisungskurve und Andeutung der Verleimungszonen des ungarischen Lösses, sowie mit einer zeitlichen Einordnung der diluvialen menschlichen Kulturstufen.

Die gestrichelte Gerade bedeutet den Köppen'schen Schwellenwert.

3. sz. melléklet — Feilage Nr. 3.



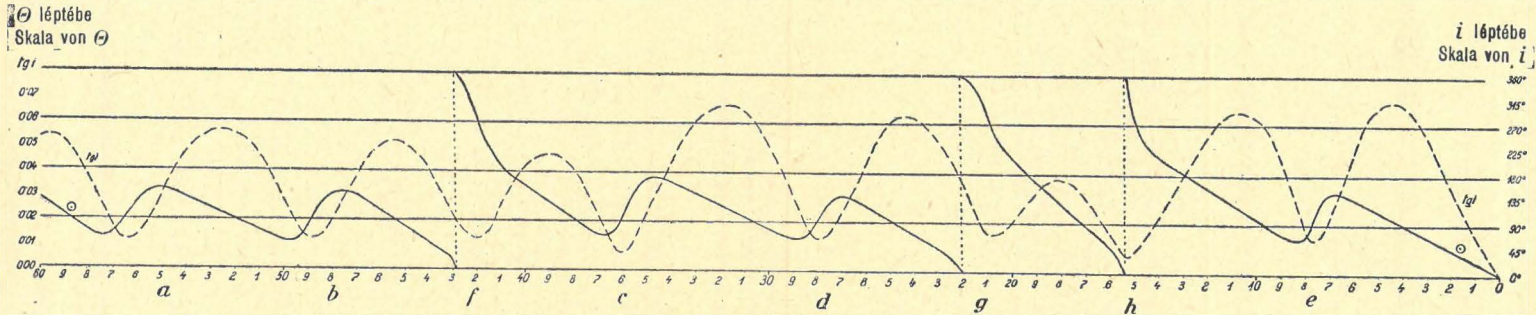
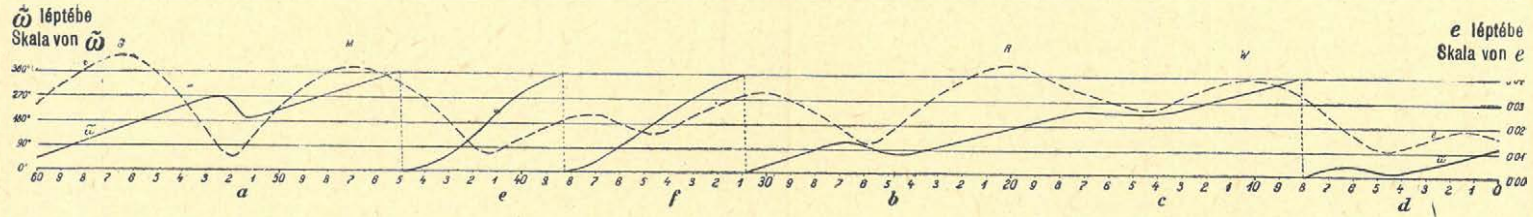
A felső ábrán a kihúzott görbe L a g r a n g e h segédváltozójának, a vonalkázott görbe az l segédváltozójának a történeti lefolyását mutatja. A pontozás a Miskovics táblázatokban levő hibák.

Az alsó ábrán a kihúzott görbe a L a g r a n g e p segédváltozója, a vonalkázott görbe a q segédváltozója történeti lefolyását mutatja.

Auf der oberen Darstellung bedeutet die volle Kurve den Verlauf des Hilfsveränderlichen h von L a g r a n g e, die gestrichelte Kurve jene von l . Punktiert deutet auf Fehler in den Tabellen von Miskovics.

Auf der unteren Darstellung bedeutet die volle Kurve den Verlauf des Hilfsveränderlichen p von L a g r a n g e, die gestrichelte Kurve jene von q .

5. sz. melléklet — Beilage Nr. 5.



A felső ábrán a kihúzott görbe a $\tilde{\omega}$, a vonalkázott görbe az e történeti lefolyását mutatja.

Az alsó ábrán a kihúzott görbe a Θ , a vonalkázott görbe az i történeti lefolyását mutatja.

Auf der oberen Darstellung bedeutet die volle Kurve den Drehweg von $\tilde{\omega}$, die gestrichelte Kurve die Oszillation von e .

Auf der unteren Darstellung bedeutet die volle Kurve den Drehweg von Θ , die gestrichelte Kurve die Oszillation von i .

DR G. v. BACSÁK:
DIE ERDGESCHICHTE DER LETZTVERFLOSSENEN
600.000 JAHRE

1. Wegen gewissen rechentechnischen Hindernissen können wir die Erdgeschichte genau nur auf 600.000 Jahren berechnen und die theoretischen Ergebnisse mittels der Naturbeobachtung prüfen. Diese bekannte Zeitspanne wird sehr oft mit dem Quartär gleichgesetzt, doch wäre es bei unserem heutigen Wissen vernünftiger die Grenze des Quartärs gegen das Pliozän offen zu halten. Die sehr verbreitete Auffassung, als ob mit dem Schwinden der Eiskalotte des Würm III. die Reihe der Vereisungen ein für allemal abgeschlossen sei, ist ebenfalls falsch. Das Holozän ist nur ein Bruchstück eines längeren Interglazials, welches noch ungefähr 100.000 Jahre andauern wird. Dann wird noch eine Reihe von Vereisungen und Interglazialzeiten folgen. Es ist aber eine missliche Sache solche Prophezeiungen für die Zukunft anzustellen, denn diese können mittels der Naturbeobachtung nicht geprüft werden. Wenn wir hingegen die Geschichte der letztverflossenen 600.000 Jahre genau studieren, können wir auch für die verflossene ferne Vergangenheit ohne Inanspruchnahme einer Hypothese Folgerungen ziehen, welche durch die Erdgeschichte geprüft werden können. Aus diesen Folgerungen ergibt sich, dass auch das Quartär nur ein Bruchstück einer längeren Periode ist. Die lange von Eiszeiten freie Periode angefangen von den karbonzeitlichen Vereisungen bis zu dem Pleistozän ergibt sich als eine natürliche Erscheinung, die Vereisungsperioden dagegen erweisen sich als abnormale Erscheinungen.

2. Die letztverflossenen 600.000 Jahre werden durch eine Reihe von Vereisungen gekennzeichnet. Die Gesetzmässigkeit der wiederholten Vereisungen kann nur dadurch erschlossen werden, dass wir sie als Funktion der Zeit auffassen und uns für die Zeitrechnung gehörig ausrüsten.

Im Gebiet der Physik ist es eine allgemeine Erscheinung, dass sich gewisse Gesetzmässigkeiten nur durch genügend genaue Zeitrechnung erschliessen lassen. Galilei hat seine Kugeln in Pisa vom schiefen Turm umsonst herabfallen lassen, weil er die Zeit nicht mit der nötigen Genauigkeit messen konnte. Sowie er aber eine sanft geneigte schiefe Ebene benützte, erwies sich seine Zeitrechnung als genügend genau und das Gesetz des freien Falles wurde bald entdeckt. Bei der Erforschung einer Gesetzmässigkeit im Eintreten der quartären Vereisungen stehen wir vor einem ähnlichen Fall, doch mit dem Unterschied, dass wir dabei irgendwelcher längeren Zeiteinheiten bedürfen als das bürgerliche Jahr. Die einfache Vervielfältigung des Jahres ist für diesem Zweck nicht genügend.

Das Sonnensystem ist aber ein grossartiges Uhrwerk, welches auch andere Uhrzeiger und Pendel besitzt, die uns Hilfe leisten können.

3. Das bekannteste davon ist die Präzession, die Wanderung des Frühlingspunktes zwischen den Sternbildern des Tierkreises. Wenn wir den Frühlingspunkt durch eine Gerade mit dem herbstlichen Tagundnachtgleichheitspunkte verbinden, so ist das ein Uhrzeiger, welcher sich von Norden aus betrachtet im retrogradem Drehsinne bewegt, wie unsere bürgerlichen Uhrzeiger. Der Jahresweg macht 50 Bogensekunden aus und eine ganze Umdrehung dauert nahezu 26.000 Jahre. Die physikalische Ursache dieser Erscheinung ist die Anziehung des Mondes und der Sonne auf den sogenannten äquatorialen Mantel, welcher schräg zur Ebene der Ekliptik steht. Die Anziehung der 7 übrigen Planeten kommt hier nur wenig in Betracht.

4. Wegen der Perturbation der 7 grossen Planeten gibt es weitere zwei Uhrzeiger, welche sich ebenfalls in der Ebene der Ekliptik um die Sonne drehen und zu diesen gehört je ein Pendel.

Der eine Uhrzeiger ist die Apsidenlinie des Erdbahn, welche sich vom Nordpol des Himmels aus betrachtet gewöhnlich in direkter Richtung (entgegengesetzt zum bürgerlichen Uhrzeiger) dreht. Dazu gehört als Pendel die Oszillation der Exzentrizität der Erdbahn. Diese entsteht nur durch die Änderung der kleinen Bahnachse, denn die Länge der grossen Bahnachse, oder deren Hälfte, die mittlere Entfernung, ist auch im säkularen Sinne unveränderlich. Das gilt für sämtliche Planeten und ist ein Grund für die Stabilität des Sonnensystems.

Der zweite Uhrzeiger ist die Knotenlinie, welche den aufsteigenden und absteigenden Knotenpunkt der Erdbahn in Bezug auf die Grundebene des Sonnensystems verbindet. Dieser Uhrzeiger dreht sich in allgemeinem in retrograder Richtung. Dazu gehört als Pendel die Oszillation der Ekliptik in Bezug zu den Fixsternen.

Bei diesen Uhrzeigern gibt es Ausnahmsperioden, wo sich der Sinn der Drehung umkehrt.

Zu einem jeden Uhrzeiger gehört aber auch ein Zifferblatt und dies leisten für uns die Spuren die an dem Antlitz der Erde durch die Vereisungen verursacht wurden (Moränen, Terrassen etc.). Das beste Zifferblatt in diesem Sinne liefert unter allen Kontinenten Europa. Zwar sind die Spuren der Eiszeiten in Nordamerika gewaltiger (Fünfseen etc.), aber die Ablesung an feineren Marken ist oft genauer. Ausserdem sind die Paleontologischen Beweise nur im Zusammenhang mit den Feuerstellen des diluvialen Menschen zu verlässlich und in Amerika ist der Mensch erst im Holozän eingewandert. Im Löss gibt es keine besseren Leitfossilien.

5. Mit Hilfe dieser drei Uhrzeiger und zwei Pendel ist es nach 20 jähriger Arbeit Prof. Milankovics gelungen die nötige Zeitrechnung zu schaffen. Mit Hilfe dieser Zeitrechnung schuf er durch die Interferenz zweier Wellenlinien, Δe und $e \sin \pi$, seine berühmte Bestrahlungskurve für 600.000 Jahre, welche die Gesetzmässigkeit der widerholten Vereisungen klar zum Ausdruck bringt. Über die physikalische Ursache der Vereisungen ergibt sich der Bescheid, dass sich durchschnittlich 10.000 Jahre lang kalte Sommer mit samften Wintern paarten.

Die grösste Heldentat von Milankovics war dabei, dass er bei der Lösung einer Frage, die in erster Linie von den Eigenschaften der Lufthülle abhängig is, seine Berechnungen für den »luftleeren Raum« anstellte.

Wenn wir den Vergleich mit Galilei weiter verfolgen, war auch dessen Lösung der freien Fallbewegung noch nicht vollkommen. Hätte er nämlich neben seiner schweren Kugel eine ganz leichte Kugel (z. B. eine sehr leichte Ping-pong-Kugel aus Zelluloid) auf der schiefen Ebene herabrollen lassen, so hätte sich die Akzeleration nur am Anfang als gleichmässig erwiesen und sehr bald wäre wegen dem *Luftwiderstand* ein gleichmässiges Rollen entstanden, welche die Scheinwahrkeit von Aristoteles erwiesen hätte. Die Beobachtung von Aristoteles war auch richtig, nur die Interpretation war falsch, denn diese gleichmässig rollende Zelluloidkugel war eben ein Gegen-

stand, auf welchen gar keine Kraft einwirkte und welcher sich aus eigenem Beharrungsvermögen weiterbewegte.

Alle Vorgänger von Milankovics sind an diesem Punkte gestolpert. Milankovics hat die Kühnheit seines Vorgehens vielleicht selbst gar nicht erkannt, er betont es wenigstens nirgends genügend. Es ist eine wahre Gefahr für die besten Naturbeobachter, wenn sich in deren Problem eine solche Scheinwahrheit als eine unwiderstehliche Erfahrungserlebnis eingefressen hat. Sie können davon nie mehr los werden, denn die Beobachtung, das Erlebnis selbst war ja an und für sich richtig, nur die Interpretation ist Falsch (Penck, Klute etc.).

Die Theorie von Milankovics, *die sich keiner Hypothese bedient*, wurde zuerst 1920 in französischer Sprache veröffentlicht, machte aber bei weitem nicht so grosses Aufsehen, als seine in deutscher Sprache erschienene kurze Anzeige im Werk von Köppen—Wegener »Die Klimate der geologischen Vorzeit« 1924.

6. Köppen erhielt dadurch von ganz unerwarteter Seite eine Begründung für sein schon früher gestelltes Postulat, dass sich die diluvialen Vereisungen, so wie sie sich durch ihre erhaltenen Spuren erweisen, nur durch eine auf Jahrtausende erstreckende Koppelung von kalten Sommern mit warmen Wintern erklären lassen. Aus den Hochgebirgen von Skandinavien sich ergiessende Eisströme, welche kreutz und quär, einer über Rücken des anderen manchmal halb Europa unter eine Eiskalotte verbargen, können anders nicht verstanden werden.

Wie sehr Köppen darin Recht hatte, ist uns unlängst durch die entgegengesetzte Wirkung der äusserst strengen Winter von 1939/40 und 1941/42 klar erwiesen worden. In den darauffolgenden Sommern haben die Stauwerke des Po-Beckens aus den Alpen nur die $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{3}$ des durchschnittlichen Quantums an elektrischem Strom und Bewässerungswasser liefern können. Das Hochgebirge in solchen kalten Wintern bleibt meistens Wolkenlos und ohne Schnee. Nur in relativ warmen Wintern erfüllen sich die Firnfelder mit grossen Mengen von Schnee. Die Rolle des kalten Sommers war nie zweifelhaft.

Die Anzeige von Milankovics passte übrigens nicht zu der Rolle der Polbewegung von Köppen, wie er dies Seite 221 »Klimate...« selbst anerkannt: »Die Wirkung einer zweiten Ursache im gleichem Tempo dieser vier Wellen (Günz—Würm) ist allzu unwahrscheinlich.«

Köppen stellte in Zusammenhang mit der Theorie von Milankovics den wichtigen Begriff des Schwellenwertes auf, der bis jetzt nach seinem Namen benannt wird, dass nämlich nicht eine jede Koppelung von kalten Sommern und warmen Wintern zu einer Vereisung führt. Dazu gehört nämlich eine gehörige Zeitdauer und Intensität.

7. Die Theorie von Milankovics löste von verschiedener Seite eine Kritik gegen sich aus. Das aller wichtigste war dabei, dass eben die Astronomen seinen Berechnungen keinen Glauben schenken wollten. Milankovics benützte damals noch die astronomischen Tafeln von Pilgrim (1904), welche auf Grund der Formeln und mit den Konstanten des amerikanischen Astronomen Stockwell (1873) berechnet worden waren. Diese Grundlage wollte man aber ohne weiteres in Europa nicht annehmen. Darauf gewann sich Milankovics den Direktor der Universitätssternwarte Belgrad, Prof. Miskovics als Mitarbeiter, einen ausgezeichneten Mathematiker der seine Universitätsstudien bei Prof. Wodetzky in Budapest absolvierte und dann noch in Paris weiter lernte. Miskovics ging 1927 mit grosser Umsicht ans Werk und berechnete die Konstanten und die variablen Elemente der Erdbahn nach den Formeln von Leverrier mit den modernen Planetenmassen von neuem. Das Misstrauen gegen die Tafeln von Pf. Pilgrim erwies sich als ungerechtfertigt, denn es zeigten sich nur solche kleinere Abweichungen, welche durch die Verschiedenheit der zu Grunde genommenen Planetenmassen leicht erklärlich sind.

Die Bestrahlungskurve von Milankovics änderte sich auf der neuen Grundlage von Miskovics in den Grundzügen nicht. Milankovics entwickelte seine Theorie in dem ausführlichen Werke »Math. Klimalehre ...« 1930 von neuem. Einen durchschlagenden Erfolg erreichte aber auch dieses Werk nicht. Einesteils bemängelte man nicht ganz ohne Recht die Beweismethode von Milankovics, mit welcher er die Übereinstimmung seiner Bestrahlungskurve mit der aus der Naturbeobachtung erstammenden Vollgliederung klarlegen wollte. Andererseits fanden sich viele Naturwissenschaftler, welche die Vollgliederung des Quartärs als Dogma nicht anerkennen wollten. Das schlimmste aber war, dass von Seite der Astronomen ein ganz neuer Einwand erhoben wurde, gegen welchen Milankovics den richtigen Weg der Verteidigung nicht fand und sich zu solchen Ausreden gezwungen fühlte, welche sich für die allgemeine Anerkennung seiner Theorie sehr schädlich erwiesen (unglaublich

schnelle isostatische Änderung der Lage von Europa und die Variabilität der mittleren Entfernung.)

Dieser Einwand, welchen ich kurz als den *astronomischen Einwand* nennen werde, lautet Kurz, wie folgt :

»Die Elemente der Erdbahn waren auch durch das ganze Tertiär hindurch gerade so variabel wie im Pleistozän und dennoch sind im Tertiär niemals Spuren von Vereisungen entdeckt worden, *die Ursache der Vereisungen kann also nicht in den Variationen der Elemente der Erdbahn gesucht werden.*«

Milankovics veröffentlichte in dem grossen Sammelwerk »Handbuch der Geophysik« unter dem Titel »Astronomische Mittel...« 1938 seine Theorie in mancher Hinsicht auf breiterer Grundlage und 1941 in seinem grossen Werk »Kanon der Erdbestrahlung« von neuem. Einen allgemeinen Sieg seiner Theorie wird aber auch dieses Werk nicht erreichen, denn der astronomische Einwand wird darin nicht bekämpft. *Dieser astronomische Einwand hängt über unseren Nacken wie das Schwert des Damokles.*

8. Aber auch andere Ursachen machten sich geltend, dass die Theorie von Milankovics keine allgemeine Anerkennung erringen konnte. Das sind aber keine Fehler, sondern nur solche Mängel, welche aus der Math. Klimalehre selbst und aus den Tafeln von Miskovics verhältnissmässig leicht beseitigt werden können.

Der eine Mangel stammt daher, dass sich Milankovics in seinen Werken in erster Reihe immer nur mit den im kronologischen Sinne genommenen neun Eiszeiten (Günz I.—Würm III.) der Vollgliederung befasste und das Studium der Interglazial- und Interstadialzeiten vernachlässigte. Doch umfassen die letzteren von den 600.000 Jahren 508.000 Jahre und auf die Gesamtdauer der 9 Eiszeiten entfallen nur 92.000 Jahre. Dieser Mangel kann durch Vertausch des akzidentalen Vergleichsjahres 1800 mit dem diluvialen Durchschnittsjahr leicht beseitigt werden. Dadurch kann man die vier überhaupt möglichen Klimatypen: glazial, antiglazial, subtropisch subarktisch (kalter Sommer, warmer Sommer, warmer Winter, kalter Winter) mathematisch präzise durch die Vorzeichen der Rubriken Δe und $e \sin \pi$ in der selben Reihe —+, +—, ++ und —— definieren. Das ergibt eine wirkliche absolute Zeitrechnung, welche von den geogr. Breitenkreisen unabhängig ist. Dadurch wird nicht nur erreicht, dass sich der Quartärforscher in diesen 508.000 Jahren leichter auskennt, sondern es gewinnt auch der Beweis von der Übereinstimmung der theoretischen und empirischen Eiszeitenfolge

eine solche zwingende Gestalt, dass die Ausrede, dass man an das Dogma der Vollgliederung nicht glaubt, unmöglich wird.

Die Interglazial- und Interstadialzeiten sind nämlich kleinere oder grössere Bündel der verschiedenen Typen und können dadurch von einander, auch wenn ihre Zeitdauer gleich ist, streng unterschieden werden. Früher wurden alle Interglazial- und Interstadialzeiten ganz falsch als eine allmähliche »Klimabesserung«, »Kulmination« und wieder eine allmähliche »Klimaverschlechterung« gedeutet. Dagegen ist in Wirklichkeit z. B. das Interstadial Günz, in welchem sich, die verschiedenen Typen mit den mächtigsten Intensitäten austobten, ganz anders als das Interstadial Würm II—III gestaltet, in welchem sich Typen mit sehr bescheidenen Intensitäten in anderer Reihenfolge und Dauer abwechselten.

Die Methode des Beweises gewinnt auf der neuen Grundlage die folgende Gestalt:

Im Quartär findet die geologische Beobachtung, hauptsächlich die morphologische Forschung 9 Eiszeiten und das Holozän mitgerechnet 9 Unterbrechungen. Sowohl in Reihenfolge, als auch in Zeitdauer und Intensitäten stimmen diese 18 Elemente mit den gleichen 18 Elementen der Bestrahlungskurve von Milankovics genau überein. Aus 18 Elementarteilen lassen sich aber nach dem Satz der Permutation

$$18! = 6.402., 370.705, 728.000$$

von einander verschiedene Reihenfolgen zusammenstellen. Das ist eine so grosse Zahl, dass, wenn 10,000.000 Menschen sich daran machen würden alle diese möglichen Reihenfolgen abzuzählen und wenn für je eine Zählung eine Sekunde genügen würde, für diesem Zweck aber täglich 18 Arbeitsstunden zu Verfügung ständen, es 30 Jahre dauern würde, bis man mit der Abzählung fertig würde. Wenn also trotz dieser kolossalen Zahl der möglichen Reihenfolgen die Vollgliederung und die theoretische Kurve von Milankovics dieselbe Reihenfolge aufweisen, so kann das kein Zufall sein. Wir müssen darin einen Kausalen Zusammenhang anerkennen. *Beide Reihenfolgen sind also auf einem Schlag gerechtfertigt* und diese Beweisführung lässt keinen Zweifel mehr daran zu, dass die Vollgliederung etwa auf unrichtigen Beobachtungen fusst. Wenn man lokal nicht überall die Spuren von allen 9 Eiszeiten findet, berechtigt dieser Befund noch nicht zu einem Zweifel an der Vollgliederung.

Diese Beweisführung hat aber noch einen weiteren Sinn. Es wird aus ihr klar, dass bei der Bestimmung der Eiszeitenfolge ausser der Variation der Elemente der Erdbahn keine andere von dieser unabhängige Ursache eine Rolle spielen kann. Alle jene hypothetischen Ursachen also, welche in der Literatur wie Unkraut wuchern, z. B. die Annahme tektonischer Hebungen und Senkungen, einer Pulsation der Sonne, einer allgemeinen Abkühlung und Erwärmung, von kosmischen Nebeln, Polwanderungen etc. haben mit der festgestellten Eiszeitenfolge nichts zu tun. Ihr Rythmus ist ein fremder und würde er von Einfluss sein, so ginge dadurch die vollkommene Übereinstimmung der theoretischen und empirischen Eiszeitenfolge sofort verloren.

Damit soll selbstverständlich nicht behauptet werden, als ob während der letztverflossenen 600.000 Jahren keine tektonische Hebungen und Senkungen vorkamen, sie waren aber nicht die Ursache für Vereisungen. Ist doch das Entstehen der Eiskalotte selbst die grossartigste Hebung durch Sedimentation und deren Schwindung die grossartigste Senkung. Die Pulsation der Sonne, wenn sie überhaupt existiert, war binnen 600.000 Jahren so minimal, dass man ihre Wirkung nicht bemerken kann. Abkühlungen und Erwärmungen sind sicher vorgekommen, waren aber nicht die Ursache, sondern die Folge der Vereisungen und der Abschmelzungen der Eiskalotten etc.

9. Ein anderer Mangel, welche die Ausbeutung des Inhaltes der Theorie von Milankovics verhinderte, ist, dass er keine Vereisungskurve angegeben hat. Er hat versäumt zu bestimmen, ob jede der 9 Eiszeiten ganz neue Eiskalotten schuf, oder ob einige nur die schon vorhandene Eiskalotte weiteraufgefüllt haben. Er untersuchte sie nicht einzeln darauf, wie lange ihre Lebensdauer war und wie sie zu Grunde gegangen sind. Diesen Mangel hat Prof. Soergel 1937 in seinem Werke »Die Vereisungskurve« beheben wollen. Das ist ihm aber nur teilweise geglückt. Seine ausführlichen Berechnungen sind noch nicht veröffentlicht, aber aus seinem Text und aus seinem Endresultat lässt sich folgern, dass darin Fehler sein müssen. Dabei hat er die allerwichtigste Seite dieses Problems gar nicht untersucht. Das wichtigste ist nämlich der kritische Ausmass der Eiskalotte, wodurch jene durch Köppen geschilderten grossen Revolutionen im Klima des durch die Eiskalotte verschont gebliebenen mittleren Teil von Europa bestimmt werden. Es ist weniger wichtig den historischen Verlauf des Südrandes der skandinavischen Vereisung von

Grad zu Grad, von Bogenminute zu Bogenminute zu ermitteln, als das kritischen Ausmass der Eiskalotte zu bestimmen. Denn nur von diesem Ausmass hängt die Aridität oder Humidität des Klima der Periglacialzone im breiterem Sinne genommen ab. Die Lösung dieser Aufgabe ist von mir auf Anspornen des Chefgeologen E. Scherf in einem viel bescheideneren Rahmen versucht worden und ich kam dabei zu dem Resultat, dass Europa während den letztverflossenen 600.000 Jahren nur durch 230.000 Jahre dermassen vereist war, dass sich die Inlandeiswirkung auf der Periglacialzone als lössbildende Periode fühlbar machte. Es sind dabei hauptsächlich die Verhältnisse des historischen Ungarns in Betracht gezogen worden, wo wir die Zahl und Lage der Laimenzonen des Lösses genauer kennen.

10. Die Bestrahlungskurve von Milankovics mit einer Andeutung der Typen und die wahrscheinliche Vereisungskurve zeigt uns die Beilage 1. Es soll dazu bemerkt werden, dass die Vereisung der Südhalbkugel nicht denselben Gang gehabt hat. Es gab Zeiten, wo beide Halbkugeln zu gleicherzeit vereist oder eisfrei waren und Zeiten wo nur die eine Halbkugel vereist war.

11. Wenn wir von den kleineren Mängel der Theorie, welche unter Punkt 8. und 9. besprochen wurden absehen, bleibt nur noch die Erledigung des astronomischen Einwandes übrig.

Dieser für den ersten Blick überzeugender Einwand *leidet an einem schweren logischen Fehler*. Meine Argumente gegen diesen Einwand sind in unserer astronomischen Zeitschrift »Csillagászati Lapok« Heft No. 3. 1942 zu lesen. Der logische Fehler steckt darin, dass nach der Theorie von Milankovics mit einer Variation der Elemente der Erdbahn nicht unbedingt eine Eiszeit entstehen muss. Während des grossen Interglazials Mindel—Riss waren die Elemente der Erdbahn ebenso veränderlich, wie sonst und doch ist durch 200.000 Jahre keine Eiszeit entstanden. Der Grund für diesen Fall kann kurz in der Formel $5 \Delta e = 10 e \sin \pi$ erwiesen werden. Es ergeben sich aber auch ganz andere Ursachen. Das jetzt bevorstehende Interglazial kann kurz durch die Formel $e \sin \pi \approx 0$ begründet werden. Ebenso kann $\Delta e \approx 0$ für längere Zeit die Möglichkeit einer Vereisung ausschliessen. Der Geltungsbereich solcher und ähnlicher anderen Erklärungen gilt aber nur für die Variationen der Elemente der Erdbahn, wie wir sie aus den verflossenen 600.000 Jahren kennen.

Durch Eindringen in die tiefsten Grundlagen der Theorie können aber auch Argumente gegen den astronomischen Einwand gefunden

werden, welche für eine Variation der Elemente der Erdbahn gelten, welche sich zwischen anderen Grenzen und Bedingungen der Variationen ergaben. Darüber soll im Folgenden ein ausführlicher Bericht erstattet werden.

12. Wir sahen, dass für den Aufbau der Theorie von Milankovics als Hauptpfeiler die Tabellen von Miskovics dienen, welche mit den Formeln von Leverrier berechnet wurden. Für diese Berechnung dienten aber des ferneren die Transformationen von Lagrange.

Nach der Lehre der Himmelsmechanik hat wegen der Perturbationen ein jeder Planet, so auch die Erde zwei Paare veränderliche Bahnelemente $e, \tilde{\omega}$ und i, Θ . Dabei bedeutet e die Exzentrizität der Erdbahn, $\tilde{\omega}$ (krummes pi) die Drehung der Apsidenlinie, i die Verkipfung der Ekliptik in Bezug zu den Fixsternen und Θ die Drehung der Knotenlinie. Diese zwei Paare variablen Elemente können direkt nicht berechnet werden. Dazu wäre eine allgemeine Lösung des Dreikörperproblems nötig. Doch hat Lagrange 1782 gezeigt, wie wir die Werte dieser Variablen durch Einschaltung von 4 Hilfsmengen und durch Berechnung gewisser Konstanten mittels der sukzessiven Approximation ermitteln können. Die 4 Hilfsvariablen von Lagrange sind die folgenden:

$$h = e \sin \tilde{\omega} \quad l = e \cos \tilde{\omega} \quad p = \operatorname{tg} i \sin \Theta \quad q = \operatorname{tg} i \cos \Theta$$

Diese Gleichungen sind Definitionen und bedürfen keiner Ableitung. Das h soll soviel bedeuten, wie $e \sin \tilde{\omega}$ etc.

Aus diesen Definitionsgleichungen lassen sich die folgenden Gleichungen leicht gewinnen:

$$e = \sqrt{h^2 + l^2}, \operatorname{tg} \tilde{\omega} = \frac{h}{l}, \operatorname{tg} i = \sqrt{p^2 + q^2} \text{ und } \operatorname{tg} \Theta = \frac{p}{q}.$$

Der $\sin$ und $\cos$ sind immer kleiner oder höchstens gleich ± 1 . Das e und $\operatorname{tg} i$ sind ebenfalls sehr kleine Zahlen, es sind also auch die Hilfsmengen h, l, p, q sehr kleine reine Verhältniszahlen. Diese Zahlen können mittels der folgenden Gleichungen, welche lediglich mit ihren Definitionen identisch sind, für einen jeden gewünschten Zeitpunkt berechnet werden:

$$\begin{aligned} h &= \sum_k^{\circ} N_k \sin (g_k t + \beta_k) & p &= \sum_k^{\circ} N'_k \sin (g'_k t + \beta'_k) \\ l &= \sum_k^{\circ} N_k \cos (g_k t + \beta_k) & q &= \sum_k^{\circ} N'_k \cos (g'_k t + \beta'_k) \end{aligned}$$

In diesen Gleichungen ist die willkürliche Variable t , die Jahreszahl das gewünschten Zeitpunktes, welche bei der Rechnung für die

Vergangenheit mit negativen Vorzeichen zu nehmen ist. Alle übrigen Mengen $N_k, g_k, \beta_k, N'_k, g'_k, \beta'_k$ sind Konstanten, welche durch die von Lagrange angegebenen und von Leverrier weiter entwickelten Formeln durch sukzessive Approximation berechnet werden können. Das sind sehr verwickelte und lange Berechnungen, welche nur ein Berufsastronom unternehmen kann. Da wir 7 störende Planeten haben und zu einem jeden 6 solche Konstante gehören, haben wir im Ganzen 42 Konstanten. Den Wert dieser 42 Konstanten für den Leverrier'schen Anfangspunkt 1800 teilen wir in der Beilage 2. mit. Für die Richtigkeit dieser durch Miskovics berechneten Konstanten können wir anführen, dass sie bei der Berechnung der Kurven $\Delta\epsilon$ und $e \sin \pi$, welche für uns wichtig sind, zu den selben Resultat geführt haben, wie die ganz anderen Konstanten und Formeln von Stockwell in den Tafeln von Pilgrim. Die unbedeutenden Abweichungen erklären sich — wie schon erwähnt — durch die von Miskovics gebrauchten modernen Planetenmassen.

13. Da wir hauptsächlich mit dem historischen Verlauf der Kurven p und q zu tun haben werden, müssen wir ihre Gleichungen etwas analysieren.

Wir können anstatt des Zeichens der Summation schreiben:

$$p = N'_0 \sin(g'_0 t + \beta'_0) + N'_1 \sin(g'_1 t + \beta'_1) + \dots + N'_6 \sin(g'_6 t + \beta'_6)$$

oder

$$p = p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_6$$

Wenn wir uns diesen 7 Gliedern eines, z. B. das dritte, separat betrachten, so erhalten wir:

$$p_2 = N'_2 \sin(g'_2 t + \beta'_2)$$

Setzen wir in diese Gleichung nach einander die gewählten Werte von t z. B. —5000, —10.000, —15.000... ein, dann ist es offensichtlich, dass wir als Bildkurve eine sehr flache, verzerrte sin-Kurve erhalten werden. Wir müssen nämlich die einzelnen Werte von p_2 als Ordinaten aufzeichnen und deren Endpunkte verbinden. Der Wert der Konstante N'_2 ist sehr klein, 0.002 785, darum wird die Bildkurve sehr flach verlaufen. Die Periode dieser sin-Kurve wird durch den Wert der Konstante $g'_2 = 25''$, bestimmt, wird also ungefähr 52.000 Jahre ausmachen. Der Winkel β'_2 bestimmt nur die Anfangsphase 1800 der sin-Kurve.

Alles dies gilt auch für

$$q_2 = N'_2 \cos(g'_2 t + \beta'_2)$$

und der einzige Unterschied zwischen den Bildkurven von p_2 und q_2

wird nur darin bestehen, dass die Phasen von q_2 im Vergleich zu p_2 um 90° verschoben werden. Die Amplituden und Perioden von p_2 und q_2 sind aber untereinander gleich. Danach gilt also auch der Satz, dass q_2 nur dort kulminieren kann, wo p_2 von der konkaven Krümmung zur konvexen oder umgekehrt übergeht; und q_2 kann die Krümmung nur dort wechseln, wo p_2 kulminiert. Das ist klar, weil q_2 das erste Derivat von p_2 ist.

Wenn wir einen anderen Komponenten z. B. p_3 wählen, wird deren Bildkurve ebenfalls eine flachverzerzte sin-Kurve sein. Die Torsion wird aber hier kleiner, weil die Konstante N'_3 grösser als N'_2 ist. Die Perioden von p_3 werden dagegen viel länger, ungefähr 230.000 Jahre sein, denn die Konstante g'_3 ist kleiner als g'_2 . Die Anfangsphase von 1800 wird wegen β'_3 20° ausmachen.

Wenn wir so weiter verfahren, ersehen wir am Schluss, dass der Ausdruck $p = \sum_k^o N'_k \sin(g'_k t + \beta'_k)$ so viel bedeutet, dass wir 7 in verschiedenen Mass verzerzte sin-Kurven, mit verschiedenen Perioden und verschiedenen Anfangsphasen in ihren Ordinaten algebraisch addieren müssen. Wenn wir dann die Endpunkte dieser neuen Ordinaten verbinden, so ergibt sich die Bildkurve von p .

14. Wenn wir ferner die Addition $q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_6$ verrichten, erhalten wir die Bildkurve von q . Diese Kurven p und q können wir auf der Beilage 3. betrachten.

Die Bildkurve von p bedeutet für uns eine Überraschung. Sie hat die Ähnlichkeit mit einer sin-Kurve trotz aller Zufälligkeiten, die durch die verschiedenen Konstanten bedingt sind, leidlich gut bewahrt, *sie ist aber im Vergleich zu der Achse so hoch gelegen*, dass von ihren 8 unteren Kulminationen nur 3, nämlich jene um das Jahr -420.000 , -210.000 und -150.000 auf eine kurze Zeit unter die Achse gelangten. Das ist überraschend, denn die $\pm$ Kulminationen einer jeden Komponente $p_0, p_1 \dots T_6$ liegen ja symmetrisch zu der Achse, denn sie sind alle sin-Kurven. Das eigentümliche dabei ist, dass sich dieselbe Erscheinung bei der Bildkurve von q nicht bemerken lässt. Sämtliche obere Kulminationen von q liegen ober der Achse und sämtliche untere kulminationen reichen unter die Achse. Die Bildkurve von q liegt also leidlich symmetrisch zur Achse.

15. Wenn wir die Beilage 2. etwas genauer untersuchen, werden wir die Ursache dieser eigentümlichen Erscheinung bald begreifen. Der Wert der Konstante g'_0 ist nämlich so klein, dass in den ersten 5 Dezimalstellen gar keine Ziffer vorkommt, $g'_0 = 0.00000$.

Die Periode von g'_0 ist also so lang, dass wir sie aus diesen 5 Dezimalstellen der Beilage 2. garnicht berechnen können. Graphisch versinnlicht wird also p_0 binnen unserer 600.000 Jahren *eine zur Achse parallele Gerade sein*. Anstatt $\sin(g'_0 t + \beta'_0)$ können wir also einfach $\sin \beta'_0$ schreiben, weil $g'_0 t = 0$ ist. $\sin \beta'_0$ ist aber nahezu $+1$, genauer $+0.972$. Die parallele Gerade liegt also hoch über der Achse. Dabei ist die Konstante N'_0 in ihrer Kolonne die allerhöchste, die Torsion ist also am kleinsten.

Wenn wir also die Addition $p = p_0 + p_1 + p_2 + \dots p_6$ verrichten praedominiert die Ordinate von p_0 über alle übrigen und hebt dadurch die ganze Bildkurve von p in die Höhe, in die asymmetrische Lage.

Die Form und die Perioden von p werden dagegen hauptsächlich durch p_6 bestimmt, weil N'_6 den nächsthöchsten Wert hat. Die Periode von p_6 wird wegen g'_6 rund 69.000 Jahre. Die übrigen 5 Glieder $p_1 - p_5$ gleichen sich in ihren Ordinaten meistens aus und bringen nur jene bescheidenen Deformationen zustande, welche wir an der Kurve p auf der Beilage 3. sehen können.

Die Bildkurve von q wird dagegen durch q_0 nicht besonders beeinflusst, denn wir können auch hier anstatt $\cos(g'_0 t + \beta'_0)$ einfach $\cos \beta'_0$ schreiben. Wenn aber, wie wir gesehen haben, $\sin \beta'_0$ nahezu $+1$ war, muss $\cos \beta'_0$ sehr klein sein, kann also keine grosse Asymmetrie erzeugen.

16. Nachdem wir also die Ursache der asymmetrischen Lage von p erkannt haben, soll nebensächlich bemerkt werden, dass dabei q doch die erste Derivate von p bleibt, es gilt auch für diese Kurven der Satz, dass q nur dort kulminieren kann, wo p die Krümmung wechselt und nur dort die Krümmung wechseln kann, wo p kulminiert. Das ist ein grosser Vorteil bei den Tabellen von Miskovics, denn die grundlegenden Kurven p und q (wie auch h und l) kontrollieren sich gegenseitig. Bei den Tabellen von Pilgrim ist diese Kontrolle nicht möglich. In der Rubrik h und l von Miskovics findet man auch etliche Fehler, sie sind aber im Endresultat, in der Bestrahlungskurve kaum zu merken. Die Rubriken p und q hat Miskovics sorgfältiger berechnet. Die Rubrik q ist durchwegs fehlerlos und in der Rubrik p gibt es auch nur einen einzigen Fehler bei dem Jahr -415.000 . Der numerische Wert von $p = 0.007\ 4427$ ist auch hier richtig berechnet, nur das Vorzeichen ist verfehlt, es soll nämlich $-0.007\ 4427$ heissen. Dementsprechend muss in der Rubrik Θ bei dem Jahr -415.000 der Wert von $154^\circ 55' 05''$ auf $205^\circ 04' 50''$ ausgebessert werden.

17. Indem wir nun nach dieser kleinen Abschweifung zu dem Wert $g'_0 = 0.00\ 000$ zurückkehren, halten wir es nicht für unmöglich, dass in den letzten Ziffern auch hier ein kleiner Fehler stecken kann. Es ist nämlich zu auffallend, dass auf der Beilage 2. die Summe von $g_0 - 6 = 76''\ 36\ 388$ ausmacht, die Summe von g'_{0-6} nur $76''\ 38\ 312$, also um $0''\ 00\ 076$ kleiner ist. Miskovics erwähnt übrigens auch in seinem Text, dass die Approximation bei der Berechnung der Konstanten verhältnissmässig leicht ging, bei Merkur und Uranus mussten aber kleine willkürliche Korrekturen an den Massen dieser Planeten vorgenommen werden um Unzulässigkeiten zu vermeiden. Eine absolute Richtigkeit der Konstanten können wir ja gar nicht erwarten, weil eben die Massen der Planeten nicht absolut genau bekannt sind. Wie sich aber auch die Sache bei g'_0 verhalten sollte, es kann die sehr lange Periode von p_0 doch nicht ewig dauern. Das widerspricht dem Begriff von $\sin$. Den Wert von g'_0 in der Tabelle 2. können wir nur so deuten, dass die Krümmung der $\sin$ -Kurve p_0 so gering ist, dass sie binnen den letztverflossenen 600.000 Jahren gar nicht bemerkt werden kann. Wir können demzufolge die Periode nicht berechnen, aber sie existiert doch. Dieser Zustand kann nur in der Nähe der Kulmination bestehen, wo die $\sin$ -Linie der Achse tatsächlich parallel verläuft. Sonst aber müssen in der Weitvergangenheit und in der fernen Zukunft sehr lange Perioden existieren, wo dieser Umstand nicht besteht und p_0 manchmal auch die Achse schneidet.

18. Die asymmetrische Lage von p kann also nur die Eigenschaft der bekannten 600.000 Jahre, oder präziser ausgedrückt einer unbekannt langen Periode sein, in welche auch unsere 600.000 Jahre gehören. Ausserhalb dieser Periode ist p_0 nicht mehr parallel der Achse und dadurch erhält p selbst seine natürliche zur Achse symmetrische Lage. Hiefür genügt schon, wenn $\sin(g'_0 t + \beta'_0)$ und $\cos(g'_0 t + \beta'_0)$ sich gegenseitig in Grössenordnung ausgleichen. Diese natürliche Lage von p wird also viel länger dauern, als seine asymmetrische Lage. Letztere ist eine »Ausnahme« oder »Abnormalität«.

19. Wenn aber die asymmetrische Lage von p für lange Zeitperioden aufhört, dann können dort auch keine Eiszeiten entstehen und das Damokles-Schwert des astronomischen Einwandes verliert seine drohende Bedeutung.

Es klingt vielleicht zu kühn, wenn wir die Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer so grossartigen Naturerscheinung, wie es die Eiszeiten waren, welche viele Millionen Kubikkilometer Eis auf

gespeichert haben, mit einem so abstrakten Begriff, wie die symmetrische oder asymmetrische Lage von der Kurve p , also mit den von der Zeit abhängigen winzig kleinen Zahl p erklären wollen. Die weitere Erklärung unseren Gedankenganges ist aber schon leicht. Wir sind am Höhepunkt eines Passes angekommen und fahren von nun an Bergab.

20. Auf Beilage 4. sind der Beilage 3. jene Zeitpunkte entnommen und in 8 Rubriken eingeteilt, wo ohne Rücksicht auf die Vorzeichen $p = q$, also $\operatorname{tg} i = \sqrt{2p}$ ist und wo $p = 0$, also $\operatorname{tg} i = q$, endlich wo $q = 0$, also $\operatorname{tg} i = p$ ist. Aus diesen Jahreszahlen der Tabelle 4. kann also die Kurve von $\operatorname{tg} i$ ohne weiteres entworfen werden. Ebenso lässt sich die Kurve von Θ entwerfen. Wo $+p = +q$ ist (erste Rubrik), ist $\Theta = 45^\circ$; wo $+p = -q$ ist (dritte Rubrik), ist $\Theta = 135^\circ$ und so weiter. Auf dieser Grundlage haben wir auf Beilage 5. die Bildkurven von $\operatorname{tg} i$ und Θ entworfen.

21. Bei einer genaueren Beobachtung der Bildkurven von $\operatorname{tg} i$ und Θ auf der Beilage 5. wird es klar, wie der Uhrzeiger Θ mit dem Pendel $\operatorname{tg} i$ zusammenhängt. Die Reaktion von Θ auf die Minima von $\operatorname{tg} i$ bekundet sich auf zweierlei Weise. In 5 Fällen (a—e auf der Beilage 5.) entstehen auf je cca 25.000 Jahre *direkte Drehperioden* von Θ . In den übrigen 3 Fällen (f—h auf der Beilage 5.) entstehen *beschleunigte retrograde Perioden* von Θ .

22. Wenn wir die physikalische Ursache dieser Interessanten Erscheinung erkennen wollen, kann das mit Hilfe der folgenden schematischen Abbildung No. 1. geschehen. (Siehe Seite 236)

Wir schneiden aus der Bahnebene des störenden Planeten ein Quadrat mit der Seite AB parallel zur Knotenlinie der Erde im Anfangszeitpunkte heraus. Dieses Quadrat soll auf Figur 1. in der Perspektive als $ABCD$ erscheinen mit der Sonne S in der Mitte. Den über die Fläche $ABCD$ hervorragenden Teil der ungestörten Erdbahn soll die Kurve $\Omega_0 E \zeta_0$ versinnlichen. Die zwei Revolutions Ebenen schliessen den Winkel i ein. In dem aufsteigenden Knotenpunkte hat die störende Kraft noch keine auf die Ekliptik senkrechte Komponente, welche an i eine Veränderung verursachen könnte. Wenn wir aber gegen E weiter gehen, wächst diese Komponente und endlich wird die Ekliptik um die Knotenlinie als Achse etwas nach unten verkippt, wie das die kleinen Pfeile auf Figur 1. andeuten. Diese kleinen Pfeile wachsen auch auf dem absteigenden Art der Bahn an, wenn auch der Zuwachs immer kleiner wird. Die gestörte Bahn der Erde wird dann auf Figur 1. die gestrichelte Kurve sein,

welche unter die ausgezogene Kurve fällt. Es ist also selbstverständlich, dass diese neue Kurve die Ebene $ABCD$ nicht in dem Punkte σ_0 , sondern schon früher in σ durchstossen wird. Die neue Knotenlinie wird also $\Omega\sigma$ und damit ist es erklärt, warum mit einer Änderung von i auch die Knotenlinie ihre Richtung in allgemeinem im retrogradem Drehsinne ändert.

Wenn nun der Wert von i in einem Minimum steht, wird auch seine Änderung klein sein und schrumpft auch die Drehung der Knotenlinie ein. In einem solchen Zustand werden die zweierlei Arten der Reaktion des Θ leichtverständlich. Wir müssen nämlich bedenken, dass auch die Ebene $ABCD$ keine unveränderliche Lage hat, sondern auch diese durch die Störung eines dritten Planeten verkippt werden kann. Die Wirkung einer solchen Verkipfung von $ABCD$ wird dann am meisten augenscheinlich werden, wenn diese zweite Verkipfung um eine Achse verläuft, welche nahezu senkrecht auf die Knotenlinie der Erdbahn steht, wie dies in Figur 1, durch die Achse MN angedeutet wird.

Wenn die Verkipfung der Ebene $ABCD$ um die Achse MN in solche Richtung entfällt, dass dabei die Seite AB in die Höhe, CD nach unten gelangt, wie es auf Figur 1. die Linie $B'C'$ veranschaulicht, dann wird die neue Ebene $A'B'C'D'$ von der gestörten Bahn der Erde nicht mehr in σ , sondern von σ_0 links irgendwo in σ_1 getroffen, wodurch das Umschlagen der retrograden Drehung der Knotenlinie in eine direkte Drehrichtung erklärt ist.

Wenn sich dagegen die Ebene $ABCD$ um die Achse MN in der entgegengesetzten Richtung verkippt, so wird die gestörte Bahn der Erde die Fläche $A''B''C''D''$ schon früher von σ irgendwo rechts in σ_2 durchstossen, womit die verschärfte Drehung der Knotenlinie im retrograden Sinne erklärt ist.

Mit einem Wort kann die zweierleiartige Reaktion von Θ auf die Minima von i allein durch die drei Körper, Sonne, Erde, störender Planet nicht erklärt werden, sondern man muss hiefür einen vierten Körper in Anspruch nehmen. Die störende Kraft des vierten Körpers kann selbstverständlich auch als die Resultante der übrigen 6 Planeten aufgefasst werden.

22. Aus der auf Beilage 5. ersichtlichen Bildkurve von Θ wird auch der Umstand offensichtlich, dass die direkten Perioden von Θ immer nur in einem bevorzugten Kreisquadranten zwischen 45° und 135° stattgefunden haben. Die Folge davon ist, dass das eine Ende der Knotenlinie, der aufsteigende Knotenpunkt die übrigen Quadran-

ten nur schnell durchheilt, im bevorzugten Quadranten dagegen lange Zeit hin und her schwankt. Die Benennung des bevorzugten Quadranten durch 45° — 135° hängt selbstverständlich nur mit der Lage des Frühlingspunktes von 1800 zusammen, von welcher die Längen gemessen werden. Diese Benennung kann mit dem invariablen Quadranten der Sternbilder Stier—Zwillinge—Krebs ersetzt werden.

23. Diese auffallende Erscheinung, welche weder von Misikovics noch von Milankovics hervorgehoben wurde, wird noch handgreiflicher dadurch, wenn wir die Kurve von Θ auf Beilage 5. auf die Oberfläche einer Walze aufkleben. Die Zeit entfällt dann in die Richtung der Achse der Walze und die direkten Perioden von Θ entfallen alle auf die nämliche Seite der Walze eine ober der anderen. Um dieses dreidimensionale Hilfsmittel vermeiden zu können, soll diese Erscheinung mit Hilfe von Polarksordinaten veranschaulicht werden, nur müssen wir den Kunstgriff anwenden, die Walze von obenher zu betrachten, so dass die Durchmesser der uns näher liegenden Kreise grösser erscheinen. Die Spur des aufsteigenden Knotenpunktes wird dann eine Spirale, wie es auf Figur 2. (Seite 238) ersichtlich ist. Die Drehbewegungen des Uhrzeigers Θ veranschaulichen sich so im engsten Sinne des Wortes.

Darüber, dass diese Feststellungen richtig sind kann man sich leicht überzeugen, wenn man bedenkt, dass die Erde ein ebenbürtiger Genosse der übrigen 7 Planeten ist. Diese 7 Planeten werden also denselben Quadranten bevorzugen. Dies ersehen wir tatsächlich in einer jeden statistischen Zusammenstellung über den heutigen Zustand des Sonnensystems. Die Längen der aufsteigenden Knotenpunkte der übrigen 7 Planeten sind, wie folgt: Merkur 47° , Mars 49° , Uran 73° , Venus 76° , Jupiter 99° , Saturn 113° und Neptun 131° , also alle zwischen 45° — 135° . *Was wir also bei der Erde in Verfolgung der Geschichte über 600.000 Jahre erlebt haben, widerspiegelt sich im heutigen Zustand des Sonnensystems als eine statistische Tatsache.* Diese statistische Tatsache wurde von jeher in allen astronomischen Werken vorgetragen, eine Erklärung dafür hat man aber nicht mitgeteilt. Die Theorie von Milankovics gibt auch für diese Tatsache eine Erklärung.

24. Aus den Vergleich der Beilagen 3. und 5. lässt sich feststellen, dass die beschleunigten retrograden Perioden von Θ in dieselben 3 Zeitabschnitte fallen, wo die unteren Kulminationen von p unter der Achse liegen und die direkten Perioden von Θ in jene Zeitabschnitte entfallen, wo die unteren Kulminationen von p die Achse

nicht erreicht haben. Wenn also einmal in der fernen Vergangenheit die Bildkurve von p symmetrisch, also in ihrer natürlichen Lage zu der Achse verlief, reichten ihre sämtlichen unteren Kulminationen unter die Achse und direkte Perioden von Θ gab es damals überhaupt nicht. Es konnten also auch keine Eiszeiten entstehen, weil diese mit den direkten Perioden von Θ respektive mit dem bevorzugten Quadranten eng verbunden sind.

Aus der Figur 2. ersieht man diesen Zusammenhang klar. Neben der Spirale sind die Zeitpunkte der Eiszeiten Günz I bis Würm III und auch die nichtgelungenen glazialen Interferenzen des grossen Interglazials angegeben und sie alle entfallen in die Richtung des bevorzugten Quadranten. Es ergibt sich also der statistische Beweis, dass ohne eine direkte Periode von Θ und ohne dem bevorzugten Quadranten keine Eiszeiten existieren.

25. Einen strengen mathematischen Beweis für diesen Zusammenhang anzugeben würde zu weit führen, weil ja die Eiszeit mit einer Interferenz zwischen den Wellenlinien $\Delta\epsilon$ und $e \sin \pi$ zusammenhängt. $\Delta\epsilon$ entsteht aber durch eine Verschmelzung der Mengen i , Θ und f' das heisst durch die Praezession. Es handelt sich dabei aber um eine ausserordentlich schwierige Rechenmanipulation, welche man kurz nicht vortragen kann. Die Aufgabe e und $\tilde{\omega}$ mit f' zu vereinigen ist viel leichter, denn π ist ganz einfach die Summe von $\tilde{\omega}$ und f' . Damit wäre aber nicht viel erreicht, denn bei h und l gibt es ja keine so gefährliche Konstante, wie g_0 . Wir müssen uns also einstweilen mit dem aus Figur 2. ersichtlichen statistischen Beweis begnügen.

26. Wenn wir einmal den Zusammenhang zwischen den Eiszeiten und den direkten Perioden von Θ eingesehen haben, dann wird man unwiderstehlich zu der Folgerung verführt, dass auch bei den Eiszeiten des Karbon als Ursache direkte Perioden von Θ die Rolle spielten, welche des weiteren mit der asymmetrischen Lage von p oder q abhängig sind. Die grosse Pause dagegen, welche zwischen das Karbon und das Pleistozän entfällt, fände dadurch ihre Erklärung, dass während dieser mehrere hundertmillionen Jahre langen Periode Θ immer auf seiner retrograden Drehrichtung verblieb, denn p und q lag damals symmetrisch zur Achse. In diesen langen Pausen, zu welchen man auch die Dauer zwischen den praekambrischen und karbonzeitlichen Vereisungen zurechnen kann, waren die aufsteigenden Knotenpunkte der Planeten nicht innerhalb eines bevorzugten Quadranten zusammengedrängt. Letzterer Zustand ist eine Abnor-

malität, die langen eisfreien Perioden sind dagegen der normale Zustand. In diesen normalen Perioden verflechten sich die Kurven $\sin (g_0't + \beta_0')$ und $\cos (g_0't + \beta_0')$ vollkommen und eine asymmetrische Lage von p und q wird dadurch für lange Zeiten verhindert.

27. Bei einer Extrapolation auf so grosse Zeitentfernungen soll uns die Lage des Nord- und Südpoles, welche damals sicher von der heutigen verschieden war, keine Sorgen verursachen, denn der maximale Wert von i ist von dieser Lage unabhängig. Den maximalen Wert von $\text{tg } i$ erhalten wir ganz einfach, indem wir auf Beilage 2. die Rubrik N_k' zusammenzählen. Man muss sich dabei denken, dass in $\sin (g_k't + \beta_k')$ eine Jahreszahl t eingesetzt wird, dass dadurch alle $\sin (g_{0-5}t + \beta_{0-5}) = +1$ und $\sin (g_6't + \beta_6') = -1$ wird. Der maximale Wert von $\text{tg } i$ wird dann 0.078 027 und das Maximum von i wird $4^\circ 28'$. Dies ist auch eine Bedingung für die Stabilität des Sonnensystems.

28. Trotzdem wir also die Geschichte der Vereisungen nur für die letzverflossene 600.000 Jahre genau kennen, ist eine logische Extrapolation dennoch auch für sehr entfernte Zeiten möglich. Die Möglichkeit einer solchen Extrapolation bedeutet die schönste Überlegenheit der theoretischen Deduktion über die induktiven Erkenntnisse, die aus der unmittelbaren Naturbeobachtung gewonnen werden. Diese Möglichkeit von logischer Extrapolation, durch welche die illogische Extrapolation, welche in dem astronomischen Einwande verborgen ist, bekämpft werden kann, muss man als den schönsten Erfolg der Theorie von Milankovics anerkennen.

Milankovics hat in sein Programm auch die Berechnung der variablen Elemente der Erdbahn für die künftigen 600.000 Jahre aufgenommen. Dadurch erhielten wir eine doppelt so breite Basis und alle unsere Folgerungen liessen sich viel bequemer begründen.

Soviel können wir aber schon heute erreichen, dass das Damoklesschwert des astronomischen Einwandes sein drohendes Gepräge verliert. In richtiger Stipulierung verbleibt er kein Einwand mehr, sondern wird sogar zu einer kräftigen Stütze der Theorie von Milankovics.

Dass wir als Bedingung für die Eiszeiten die winzig kleine Zahl p von Lagange verantwortlich gemacht haben, wird weniger kühn erscheinen, wenn wir bedenken, dass ja die Verantwortung eigentlich

$\frac{p}{q} = \text{tg } \Theta$ also eine Zahl trägt, welche ihre Grenzen zwischen $+\infty$ und $-\infty$ besitzt.

29. Aus der Erdgeschichte der letztverflossenen 600.000 Jahre sollen die an das Quartär interessierten Fachleute die Lehre ziehen, dass die Vereisungen eine Funktion der Zeit sind. Vertrautheit mit der astronomischen Zeitrechnung, wie sie hier in einem kurzen Überblick gezeigt wurde, ist also *Vorbedingung* dafür, dass sich ein Forscher mit der Frage der physikalischen Ursachen der Vereisungen mit Aussicht auf Erfolg befassen könne. Wer ohne diese Vorkenntnisse versuchen wollte Theorien für die Ursachen der Eiszeiten zu fabrizieren, wird, — und sollte er auch der Beste seines Faches sein — sich selbst und sein Fach blotsstellen. Er wird seine Kugelchen vom Turm zu Pisa umsonst herabwerfen.

Andererseits soll man vor einer Aneignung der Perturbationsrechnung bis zum unbedingt nötigen Grade nicht zurückschrecken. Die wirklich schwierige Arbeit, die Berechnung der Konstanten und Tabellen müssen sowieso Berufsastronomen verrichten. Sie liefern uns die fertigen Formeln und Tafeln, das übrige kann ein jeder Quartärforscher erlernen. Hat er das getan, so wird er das Kapital seiner eigenen Fachkenntnisse reich verzinsen können.

30. Es ist auch ratsam bei der Kritik der klassischen Theorie von Milankovics vorsichtig zu sein und ohne die nötigen Vorkenntnisse nicht daran zu schreiten. Das soll selbstverständlich nicht bedeuten, dass man sich von der gesunden Kritik zurückhalten sollte. Im Gegenteil, ein jeder Fehler und Mangel, welcher aufgezeigt und geklärt wird, fördert nur die Theorie. Eine solche Kritik schadet weder der Theorie noch dem Milankovics gebührendem Ruhm. Kritisieren soll man aber nur dann, wenn man sich in die Grundwahrheiten der Theorie gehörig vertieft hat. Das bedingt entschieden Zeit und Mühe. Es wird aber kein Quartärforscher bereuen, seine Zeit darauf verbraucht zu haben, denn es führt kein anderer Weg zum Endziel seiner Forschung.

IRODALOM — LITERATUR

- Bacsák, Budapest** 1939: Die Strahlungstheorie... Válasz Pencknek 1938. évi kirohanására.
- Bacsák, Budapest** 1940: Az interglaciálisok... Különlenyomat »Az Időjárás« 1941, 1—6. füzetéből.
- Bacsák, Budapest** 1942: A skandináv eljegesedés... A Meteorológiai Intézet kiadványa.
- Bacsák, Budapest** 1942: A Milankovics-elmélet ellen emelt kifogásokról. »Csillagászati Lapok« 1943, 3. füzet.
- Bacsák, Budapest** 1941: Kalt und Warm. Válasz Klute támadására Milankovics ellen. Francia nyelven megjelent a »Scientia« 1941. évfj. áráráában.
- Bacsák, Budapest** 1943: Zusammenhänge... Magyarul a »Csillagászati Lapok« 1944. évi füzeáeiben.
- Gaál István,** 1941: Csillagászati számítások igazolása... »Természet-tudományi Közlöny« 1941, V.
- Lagrange, Berlin** 1782: Théorie des variations...
- Leverrier, Párizs** 1842: Recherches astronomiques.
- Stockwell, Cleveland** 1873: Memoir on the secular variations...
- Pilgrim, Cannstatt** 1904: Versuch...
- Köppen—Wegener, Berlin** 1924: Die Klimate...
- Milankovics, Berlin** 1930: Mathematische Klimalehre...
- Miskovics, Belgrád** 1931: A Föld változó pályaelemei (csak szerb nyelven).
- Milankovics, Berlin** 1938: Astronomische Mittel...
- Milankovics, Belgrád** 1941: Kanon der Erdbestrahlung.
- Soergel, Berlin** 1939: Die Vereisungskurve.
-



442513