

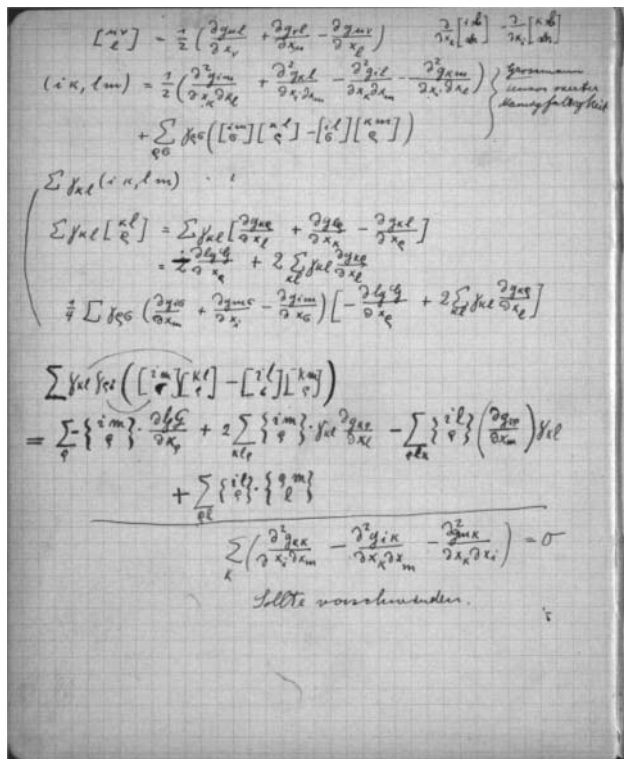
2. Melyek azok a differenciálegyenletek, amelyek magát a Riemann-metrikát – azaz a $g_{\mu\nu}$ -ket – határozzák meg?

Ezeket a kérdéseken dolgoztam 1912-től 1914-ig barátommal, *Marcel Grossmann*-nal. Úgy találtuk, hogy az

1. kérdés megoldásának matematikai eszköze már készen állt *Ricci* és *Levi Civita* infinitezimális differenciálkalkulusában.

Ami a 2. kérdést illeti, megválaszolásához nyilvánvalóan a $g_{\mu\nu}$ -kből képzett másodfokú invariáns differenciálkifejezésekre van szükség. Hamarosan rájöttünk, hogy ezeket *Riemann* már fölállította (görbületi tenzor). Az általános relativitáselmélet közzététele előtt két évvel már megtaláltuk a helyes gravitációs mezőegyenleteket, de nem tudtuk eldönteni, hogy fizikailag felhasználhatók-e. Sőt, meg voltam győződve róla, hogy nem képesek számot adni a tapasztalatról. Általános megfontolás alapján még azt is hittem, hogy az általános koordináta-transzformációval szemben invariáns gravitációs törvényt nem lehet összeegyeztetni az okság elvével. Mindez téves elgondolás volt, és két évi nagyon kemény munkámba telt, mire 1915 végére erre rájöttem, és megtaláltam a kapcsolatot a csillagászati tapasztalat tényeivel, miután töredelmesen visszatértem a Riemann-féle görbülethez.

A már megszerzett tudás fényénél a szerencsésen elért eredmény szinte magától értetődőnek látszik, és bármelyik intelligens egyetemi hallgató nagyobb nehézség nélkül fölfogja. De csak az tudhatja, mit jelent



Einstein „Zürichi jegyzetfüzeté”-ből (© Héber Egyetem, Jeruzsálem).

évekig sötétben, sejtések közepette kutatni, feszült várakozással, a bizakodás és a csalódás váltakozásával, és végül az igazság feltárulásával, aki maga is átélte.

(*Illy József* fordítása)

EINSTEIN, A GEOFIZIKUS?

2015 háromszoros Einstein-évforduló: 120 éve született meg a speciális relativitáselmélet, 100 éve az általános relativitáselmélet, és 60 éve hunyt el *Albert Einstein*. Ez alkalomból érdekes lehet olyan gondolataival megismernedni, amelyek látszólag kívül estek e két elmélet körén.

A pörgettyűk

1921 októberében *Hermann Anschütz-Kaempfe* kieli üzemének két mérnöke különös kísérletbe fogott. Forró olajjal melegített rézhengert forgatott tengelye körül, és vizsgálta, hogy kialakul-e körülötte mágneses mező.

Azt gondolhatnánk, hogy mivel pörgettyűs iránytűket gyártottak, bizonyára az iránytűben forgó pörgettyűk esetleges mágneses mezejét akarták kimutatni, hogy zavaró hatásával számoljanak.

A valódi ok azonban más volt. „Habár még nem látom világosan, vajon várható-e pozitív hatás, szá-

momra még mindig ez az egyetlen kézenfekvő lehetőség arra, hogyan kössük össze a hőáramot a földáramokkal, mivel az utóbbiak csakis *irreverzibilis* folyamat következményei lehetnek.” Ezt az az *Albert Einstein* írta a mérnököknek decemberben, akinek kedvéért eljátszadzoktak a forgó, forró hengerral.

Hőáram? Földáram?

Einstein egy másik levelében, amelyet már magának az üzem tulajdonosának, *Anschütz*nek írt, a kísérlet esetleges pozitív eredményét „hatalmas jelentőségűnek” nevezte. Ettől még mindig azt gondolhatnánk, hogy a kifejlesztés alatt álló iránytűről van szó. Arra a hírré azonban, hogy több sikertelen próbálkozás után 1922 júniusára fölhagytak a kísérlettel, *Einstein* megjegyezte: „Köszönöm nagyon Önnek [*Anschütz*nek] hogy megismételték a hőforgatásos kísérletet. A Föld [mágneses] mezejének mivoltán morfondírozva valószínűtlen föltevéseknél rekedtem meg.”

Így a kísérlet célja az volt, hogy laboratóriumi modell révén megtalálják a Föld mágneses mezejének forrását a Földben a Földdel keringő elektromos áramokban, amelyeket, meglehet, a Föld belső melege tart fön.

Hogyan került Einstein egy iránytűüzembe?

1914 novemberében Anschütz-Kaempfe, az első használható pörgettyűs iránytű feltalálója, elsőbbségi vitába keveredett egy amerikai feltalálóval, *Elmer Sperry-vel*. Tudva levő, hogy ezt az iránytűt nem befolyásolja a hajó, a tengeralattjáró vagy a repülőgép acélszerkezete. A vita akkor mérgesedett el, amikor Sperry a német haditengerészetnek eladott egy iránytűt. II. Vilmos császár ugyanis olyan hadiflottát akart építeni, amelyik fölveheti a versenyt unokatestvére, V. György angol király flottájával, így nagy üzletre nyílt kilátás. A felek tehát perre mentek.

Mivel az ügyet Berlinben tárgyalták, közelben lakó szakértőt akartak bevonní, ezért Einsteinre esett a bíróság választása. Persze, nemcsak ezért. Ismeretes volt, hogy fiatal korában szakértőként dolgozott a berni Találmányi Hivatalban.

Einstein először nem készült föl kellően, de végül is sikerült elérnie, hogy az utolsó tárgyaláson, 1915 augusztusában, a bíróság Anschütz javára döntsön.

Ez az eset majd két évtizedes barátság nyitánya lett. Einstein még két szabadalmi perben szerepelt, mint Anschütz szakértője, 1919-től pedig már rendszerint Anschütz kieli gyárában töltötte a nyár egy részét, és részt vett a pörgettyűs iránytű továbbfejlesztésében, oly mértékben, hogy a végső szabadalomnak is részesevé vált. Anschütz kényeztette: lakosztályt rendezett be neki, vitorlás, zongora és orgona várta a zenekedvelő Einsteint és fiait.

A pörgettyűs iránytű nagyon szellemes készülék. Einstein élvezte a sok apró, de különleges megoldást.

Anschütz és Einstein Kielben (© Raytheon Marine GmbH, Kiel).



Leber Han Anschütz!

Ich habe ein bisschen Sorge wegen der Verteilung. Ich glaube nicht daran, dass man das Hartmannsche durch das Sprengen eines unterirdischen Kanals (Kanal) natürliches, gelöstes Eis, die Aluminiumkugeln mit einem solchen Metall zu bewegen um den Elektrodenzellen und die Bewegung mit einem Teil dieses Metalls zu sättigen. Folgt die Idee schon aus sich? Oder gibt es gar ein Mittel, wie Graphit, Schicht aufzubringen? Oder gibt es einen so dünnen Schicht eines chemisch unempfindlichen Platins, dass die Elektrode als Kondensator genügend Kapazität auszubilden werden könnte? (Ich bin sicher, dass es nach meiner Meinung nicht wohl möglich ist, weil die Schichtdicke nahezu molekulare Distanzen sein müsste). Jedenfalls ist das eine unethische Schicht. Vielleicht würde platinisiertes Platin als Elektrode brauchbar sein. Ich würde aber nicht, ob das Hydrogelen. vorsehen werden kann.

Ich fürchte, dass eine Vermengung der Platinstücke wenig helfen wird, weil die Elektrizität dann die die Flüssigkeits-Säure fließt wird. Aber einen Versuch wird es wohl sein. Ich danke Ihnen sehr für die Wiederholung der Wärme - Potentia - Messungen. Mit dem Nachdenken über die Natur der Flüssigkeit bin ich im Thermodynamikbereich stehen geblieben. Effektiv mich, dass es Ihnen besten gut geht. Wenn ich einmal etwas bekommen kann, kommt ich gerne einmal mit einem Teil. Denn dieser Wunsch muss ich erfüllt werden.

Freundliche Grüße an Sie beide, auch von meiner Frau von Hans A. Einstein.

Einstein levele Anschütznek (© Raytheon Marine GmbH, Kiel).

Anschütz pedig, aki művészettörténész létére csak műkedvelő mérnök volt, alkalmazott ugyan mérnököket, de Einsteinben nemcsak a képzett fizikus tanácsadót és ötletgazdát tisztelte, hanem a nagy tekintélyű személyiséget, a Porosz Tudományos Akadémia tagját, Nobel-díjvárományos egyetemi tanárt.

A kapcsolatból nemcsak Anschütz húzott hasznot. Anschütz találmánya is „felpörgette” Einsteint. Lelki szemei előtt két különleges pörgettyű merült föl: az egyik molekulányi volt, a másik pedig maga a Föld.

A molekulányi *André-Marie Ampère* ötlete volt, még 1820-ból: a ferro- és paramágneses anyagok mágnesességét az anyag molekuláiban folyó köráramoknak tulajdonította. Ha ehhez hozzávesszük, hogy *Hendrik A. Lorentz* elektronelmélete szerint minden elektromos áram részecskék (elektronok) áramlása, amelyeknek van tehetetlen tömegük, akkor ez a föltevés úgy is megfogalmazható, hogy az ilyen anyagokban mikroszkopikus pörgettyűk forognak. Ha ezek forgástengelye valamilyen okból párhuzamosra és azonos irányúra vált, mágneses mezejük összeadódik, így a mágnesesség makroszkopikusan is kimutatható. Ezt akarta Einstein kísérletileg megvizsgálni holland kollégájával, *Johannes Wander de Haas*-szal.

A kísérlet 1915-ben kapott pozitív eredményéből Einstein további következtetést is levont: ezzel „annak is megtaláltuk az okát, miért esik majdnem egybe a Föld mágneses tengelye és forgástengelye” – írta Lorentznek.

Íme a Föld-méretű pörgettyű, amely forgása révén létrehozza mágneses mezejét! De hol van az az elektromos töltés, amely a köráramot alkotja? A kieli rézhenger forgatása nem adott erre választ. Einstein tehát mélyebbre nyúlt: az elméleti alapokhoz.

„Az a hír járja, hogy új elméleted van a metrikus és az elektromágneses mező kapcsolatáról – írta *Max Born* Einsteinnek 1923 tavaszán – és hogy ennek meg kell adnia az összefüggést a gravitáció és a Föld mágneses mezeje között.” Válaszában Einstein megerősítette: „Jelenleg nagyon érdekes tudományos kérdésen dolgozom az affin mezőelmélet kapcsán. Megvan a lehetősége annak, hogy megértsük a Föld mágneses mezejét és a Föld elektromágneses háztartását, és hogy ezt a véleményt kísérletileg alátámasszuk.”

Arra a kísérletre utalt, amelyet *Hermann Mark* fizikai kémikussal folytatott. Erről a próbálkozásáról csak egy cikk kéziratának első oldala maradt fenn. Eredetileg négyoldalas volt, de három oldala *Hitler* hatalomra jutása után – Mark többi iratával együtt – a Gestapo martaléka lett. A cikknek már a címe elárulja, hogy a kísérlet sikertelen volt: *A geomágneses mező okára vonatkozó nyilvánvaló föltevésről és kísérleti cáfolatáról*. A részletekről nem tudunk semmit.

Az elektromosan semleges anyag elektromosan töltött?

1924 nyarán Einstein menettértei jegyet váltott a berlini elővárosi vasút egyik észak-déli irányú vonalára. Az volt a célja, hogy egy zsebiránytűvel megállapítsa, más mágneses mezőt észlel-e az a megfigyelő, amelyik mozog a Föld felszínéhez képest, mint amelyik nyugszik. Még a fülkébe lépő tiszteteket is megkérte, hogy máshova üljenek, nehogy kardjuk befolyásolja az eredményt. Talán nem meglepő, hogy ez a „kísérlet” is kudarcot vallott.

A kérdés azonban továbbra sem hagyta nyugodni, kivált, mivel egységes mezőelméleti próbálkozása és a foton létezése vagy nemlétezése körüli vita arra utalt, hogy valami gyökeresen új felismerésre van szükség.

„Mindent összevéve úgy tűnik, hogy ma sokkal távolabb vagyunk az alapvető elektromágneses törvények megértésétől, mint a század elején” – mondta 1924 októberében egy luzerni előadásán.

Ebben az előadásban úgy okoskodott, hogy a Maxwell-elméletnek megfelelően a Föld és a Nap mágneses mezeje olyan elektromos áramlás eredménye lehet, amely e két égitest forgásával ellentétes irányban folyik. Mivel pedig ilyen áramlás aligha létezhet kellő intenzitással, nem marad más hátra, mint hogy az elektromosan semleges tömeg ciklikus mozgásának kell keltenie a mágneses mezőt, habár sem az eredeti értelmében vett, sem az általános relativitáselmélet szerint kibővített Maxwell-elmélet nem jogosít föl erre a föltevésre. „A természet itt olyan alapösszefüggésre utal, amellyel eddig még nem foglalkoztak elméletileg” – mondta. Meg is fogalmazta, hogyan képzele:

$$dh = \frac{\sqrt{K}}{c} dm \frac{[v, r]}{r^3},$$

ahol dh a v sebességgel mozgó dm tömeg által r távolságban keltett mágneses mező, K a gravitációs

állandó, c a fénysebesség. Hozzátette, hogy mindez legfőbb ciklikus mozgásra és első közelítésben lehet igaz. Mindenesetre a Nap és a Föld mágneses mezejének hányadosa nagyságrendileg helyes értéknek adódik, a forgó Földre alkalmazva pedig a geomágneses mezőt lehet megkapni, ugyancsak nagyságrendileg. „Ezek az összefüggések figyelemre méltóak, de meglehet, hogy mindez csak a véletlen műve” – tette hozzá óvatosan.

Ugyanezt írta decemberben: „Számomra szinte kizártnak tűnik, hogy a Föld, a Nap és a napfoltok mágneses mezejét vezetési vagy konvekciós elektromos áramokkal lehessen megmagyarázni. Inkább az a benyomásom, mintha a forgó tehetetlen tömegnek éppolyan mágneses hatása lenne, mint a tömeg sűrűségével arányos negatív elektromos tömegnek. [...] Ezen felül szembetűnő a következő: a ponderábilis tömeg szorzata a gravitációs állandó négyzetgyökével pontosan olyan dimenziójú, mint az elektromos tömeg¹.” Eddig azonban ezt még nem sikerült értelmes elmélettel megmagyarázni, tette hozzá.

Térjünk vissza a luzerni előadásra. A hallgatóság egyik tagja, *August Piccard* figyelmét az ragadta meg, hogy Einstein az előadás vitájában a fenti négyzetgyökös kifejezést azzal a föltevessel magyarázta, hogy a proton töltésének abszolút értéke nem egyezik meg az elektron töltésének abszolút értékével, és hogy különbségük arányos a proton és az elektron tömege közti különbséggel. Az arányossági tényező pedig a gravitációs állandó négyzetgyöke. A „semleges” anyag ilyen piciny töltése elegendő hozzá, jelentette ki Einstein, hogy a Földben és a Napban keringve megmagyarázza mindkét égitest mágneses mezejét.

Mindjárt meg is állapodtak, hogy Piccard utánanézzék e furcsa állításnak. Einstein azt javasolta, hogy nézzék meg, marad-e mégis elektromos töltés a teljesen semlegesnek vélt ionmentesített gázban az elektron és a proton töltésének különbözősége folytán. Mivel a várható hatás 10^{-19} nagyságrendű volt, Piccard ugyancsak nehéz feladatra vállalkozott. A kísérlet hónapokig tartott, és a részletekről a Brüsszelben dolgozó Piccard folyamatosan tájékoztatta Einsteint.

A végeredmény nem igazolta a föltevést, de Einstein nem tartotta fölöslegesnek a próbálkozást, mivel „nincs okunk a priori azt hinni, hogy a protonnak és az elektronnak azonos [nagyságú] a töltése. [...] Semmi baj, ha ezt a reményt [is] el kell temetni; népes és jó társaságban lesz” – utalt előző, hamvába holt ötleteire.

Ugyancsak a luzerni előadáson jegyezte meg, hogy a gravitáció elméletének (az általános relativitáselméletnek) a Maxwell-elmélettel való bármiféle egyesítése azzal járna, hogy kissé módosítani kellene az utóbbi elméletet, így a Föld mágneses mezeje nem volna pontosan merőleges az ezt keltő elektromos áram síkjára, azaz nem volna pontosan párhuzamos a Föld forgástengelyével.

¹ Az „elektromos tömeg” az elektromosan töltött részecske tehetlenségének azon része, amely az elektromágneses mezőtől származik. Lásd Lorentz transzverzális és longitudinális elektrontömegét.

Két szakember is utána nézett annak, mit mondanak erről a mérési adatok. *Louis Bauer* arról tájékoztatta Einsteint, hogy valóban van egy kis eltérés a Poisson-egyenlethől számítható potenciáltól, ami azzal jár, hogy a geomágneses mező tényleg nem párhuzamos a Föld forgástengelyével. *Albert Wigand* pedig szintén eltérést tapasztalt a légköri mágneses mezőben. A magyarázat azonban váratott magára. „A dolog még mindig teljesen ködös és zavaros” – írta Einstein jó barátjának, *Paul Ebreinfestnek* 1924 novemberében végén.

1925 februárjában *Theodor Kaluza* ajánlólevelet kért Einsteintől. „Akárcsak eddig, ezután is meg vagyok róla győződve – válaszolta Einstein –, hogy az Ön gondolatai, amelyek kapcsolatot igyekeznek teremteni a gravitáció és az elektromosság között, nagyon eredetiek, és a szakértők legkomolyabb érdeklődésére tarthatnak számot [...]. Jómagam eddig teljesen hiába küszködtem ezzel a problémával. Egyre inkább úgy tűnik, hogy a földmágneses mező a gravitáció és az elektromágnesesség közötti eddig ismeretlen kapcsolatra épül, de nem tudok megszabadulni az ellentmondásoktól.”

1926 őszén, egy tudományos rendezvényen, megkereste egy jénai fizikus, *Teodor Schlomka*. A beszélgetés során Einstein nagy ötletére terelődött a szó, azaz arra, hogy meglehet, elektromos töltése van a semleges anyagnak. Ezt a különös töltést Einstein „szellemtöltés”-nek (*Gespensterladung*) keresztelte el. Elmesélte Schlomkának az észak-dél-észak irányban mozgó elővárosi vonaton végzett „kísérletét” is. Azt is említette, hogy eddig nem észleltek eltérést az iránytű állásában az Amerikába járó, keletről nyugatnak és visszafelé tartó óceánjárók sem.² Ebből pedig az következik, vonta le a tanulságot, hogy a Föld mágneses mezejének oka nem lehet a forgás.

Ebből ez még nem következik, mondott ellent Schlomka 1927. január elején. Számítása szerint ugyanis akár nyugat-keleti irányban mozognak, akár dél-északi irányban, a mozgás révén adódó további mágneses mezőket csak akkor lehet az iránytű kilengésével kimutatni, ha a mozgás sebessége elég nagy. Az elővárosi vonat legföljebb 10 m/s-os dél-északi sebessége mellett alig 2°-nyi eltérés várható, ami a környezeti vaselemek zavaró hatása és a mérés pontatlansága miatt aligha mutatható ki. A nyugat-keleti irányban haladó óceánjáró vagy repülőgép pedig a néhány foknyi eltérést a léglökések és a hullámlás miatt nem vehette eddig észre. Az Amerikába járó hajók ezen kívül lentebb földrajzi szélességen haladnak, ahol ez a hatás még kisebb. Ha azonban délről észak felé 30 m/s sebességgel repülnénk, már várható volna ez a hatás.

Schlomka ezen felül alaposan utána nézett az irodalomnak. A „szellemtöltést” magát egyszerűen meg lehet magyarázni azzal a Mossotti–Zöllner–Lorentz-

féle föltevessel³ – írta –, hogy az ellentétes elektromos töltések közti vonzás kissé nagyobb, mint az azonosak közti taszítás. Rájuk alapozva két német fizikus 1905 és 1912 között kidolgozott egy elméletet, amely szerint egy test akkor „töltetlen” (azaz homogén elektromos mezőben nem hat rá erő), ha minden térfogatelemében valamivel több negatív töltés halmozódik föl, mint pozitív, és fordítva: ha a test minden elemében ugyanannyi pozitív töltéshordozó van, mint negatív, akkor e testnek pozitív „töltésfeleslege” („szellem-töltése”) lesz.

Ezt az elméletet a brit *Arthur Schuster* 1911-ben úgy módosította, folytatta Schlomka, hogy két negatív töltés másképp taszítja egymást, mint két pozitív, de az ellentétes előjelűek egyformán vonzzák egymást. Ha a pozitív töltések taszítása csupán 10^{-27} -ed résznyivel volna gyöngébb, mint a negatívaké, ez már megmagyarázná a földmágnesességet. Az ugyan-csak brit *William Swann* 1926-ban a Maxwell–Lorentz-egyenleteket módosította úgy, hogy nemcsak a geomágnesességet sikerült megmagyaráznia, hanem a geoelektromosságot is. Ezen felül elmélete kielégíti a speciális relativitáselméletet, és könnyen módosítható úgy, hogy az általános elméletet is kielégítse, vélte Schlomka.

Mindhárom elmélet a földmágnesességet elektromos töltések keringésére vezeti vissza. Ezt az általános következtetést szeretné Schlomka repülőn (tehát nem a Földdel együtt forogva és kellő sebességgel) ellenőrizni.

Válaszában Einstein a várható hatást nagyon kicsinek ítélte, „ha pedig minden elmélettel elvonatkoztatunk és föltételezzük, hogy a tömeg forgása kelti közvetlenül a mágneses mezőt, akkor azt is elvárhatjuk, hogy a tömegek translációs mozgása is mezőt keltessen”. Ekkor pedig az ilyen további mozgás keltette változás olyan hatást kell hogy előidézzon, amelyre már föl kellett volna figyelnie a Dél-Amerika és Európa közti hajózásnak. „Úgy vélem, hogy az amerikaiak a mágneses mérésre használt motoros fahajójukkal bizonyára fölfedezték volna ezt a durva hatást” – utalt Louis Bauer kutatóhajójára, a Carnegie-re.

Mivel Schlomka ajánlatát kételkedve fogadta, további tervet kért tőle. Ezt Schlomka meg is adta,

„Az Ön kísérlete csak akkor vezethetne pozitív eredményre – írta Einstein válaszában –, ha teljesen hibás volna az elektromágneses mezőt antiszimmetrikus tenzorként fölfogni, és az elektromosság és a gravitáció között sokkal szorosabb kapcsolat lenne, mint eddig véltük. Jó ideje kutatok ilyen elmélet után, de eddig nem sikerült megtalálnom.”

Bár további leveleiben Schlomka vitába szállt Einstein elméleti kifogásaival, végül belátta, hogy a korabeli nézetek szerint a hatás nem várható. Tájékoztatta Einsteint arról, hogy már három „rátermett” szakember: *Michael Faraday*, *Pjotr Lebegyev* és *Harold A.*

² Ez a megjegyzése arról is árulkodik, hogy amikor 1925 április-májusában dél-amerikai előadókörúton járt, megkérdezte a kaptányt.

³ *Ottaviano Mossotti* 1836-ban, az ő nyomán *Friedrich Zöllner* 1878-ban, *Hendrik A. Lorentz* pedig 1899–1900-ban publikálta ezt az elképzelését.

Wilson negatív eredményt kapott, amikor a forgó semleges tömeg által keltett mágneses mezőt laboratóriumi kísérlettel igyekezett kimutatni.

Négy hónapos szünet után, július 30-án, Schlomka beszámolt Einsteinnek arról, hogy mégis elkezdte a repülőgépes méréseket, és a földfelszínen mérhető iránytűállástól dél-északi és észak-déli irányban körülbelül 3° eltérést tapasztalt, kelet-nyugati irányban viszont $14,5^\circ$ és 21° közöttit. Az eredményt azonban nem tartotta perdöntőnek, mert egy második iránytű más értékeket mutatott.

Einstein következő fennmaradt levele 1927 szeptemberében íródott. Érdekesnek tartotta Schlomka eredményeit, de nem fogadta el. Részletekről nem tudunk, mert a levelezés hiányos.

Az elődök és pályatársak

1932-ben Schlomka magántanári habilitációjára értekezést nyújtott be *Gravitáció és földmágnesesség* címmel. Ebben sorra vette a földmágnesesség addigi elméleteit: a forgási, az éter- és az elektromos elméleteket, és kifejtette saját elgondolását is. Einstein neve a forgási elméletek közt kétszer is szerepel. Az egyik elméletet jól ismerjük: a forgó Föld tömegének „szellemtöltést” tulajdonít; a másik „elmélet” viszont meglepetés: Schlomka „magnetomechanikus-giromágneses” elméletnek nevezi, és szerzőjét Einsteinben és De Haasban adja meg. Ez az Ampère-féle molekuláris köráramok létezését igazoló kísérlet! Mivel a kísérletet ismertető 1915-ös cikkében Einstein és De Haas nem említette, hogy a földmágnesesség magyarázata lett volna a céljuk, ezt Schlomka csak Einsteintől hallhatta. Ha ehhez hozzávesszük a Lorentznek még 1915-ben tett, már idézett megjegyzését, állíthatjuk, hogy mind a molekuláris, mind a Föld méterű „pörgettyű” vizsgálata mögött Einsteinnek az a szándéka húzódott meg, hogy tapasztalati fogódzót találjon a gravitáció és az elektromágnesesség egységes elméletének megfogalmazásához.

Einstein valószínűleg nem olvasta Schlomka ezen cikkét, mert mire 1933-ban megjelent, ő már elhagyta Németországot, de talán jobb is így. Míg Schlomka addigi leveleiből azzal szembesült, hogy az elemi elektromos töltések különbözőségét már a 19. század közepétől javasolták, ebből a cikkből azt is megtudhatta volna, hogy az általa oly merésznek tartott $e = K^{1/2} m$ alap gondolata több mint harminc évvel korábban, a 19. század végén már fölmerült. Arthur Schuster ugyanis 1891-ben tette föl az általa extravagánsnak ítélt kérdést, „nem lehet, hogy a forgó test mágnesként hat, és hasonlóképp nem lehetne a Föld mágnesességének oka a tengely körüli forgása?” 1892-ben megint megkérdezte: „Minden nagy forgó tömeg mágnes?” Ha a mágnesesség a molekulán belüli elektronok keringésének tulajdonítható, írta 1911–1912-ben, ezeket bizonyos mértékig pörgettyűs iránytűknek tekinthetjük, amelyek párhuzamosra állítják be magukat azon test forgástengelyével, amelyben vannak. Ez

nagyon emlékeztet Einstein és De Haas az Ampère-féle molekuláris köráramok létezését igazoló kísérletére, habár azt három évvel később végezték el. Nehéz elfogadnunk, hogy Einstein nem találkozott Schuster gondolataival, pedig ennek semmi nyoma. De csak később szerzett tudomást az amerikai *Samuel Barnett* méréseiről is, aki 1909-től vizsgálta, hogy egy hirtelen forgásba hozott vasrúd mágnesessé válik-e. Nem is csoda, mert Barnett 1915 nyaráig nem publikált róluk, Einsteiné pedig már februárban beküldték saját eredményeiket a *Német Fizikai Társaság Közleményeibe*. De miért ne tarthatnánk lehetségesnek, hogy egy gondolat több agyban, egymástól függetlenül is megszülethessen?

Az ugyancsak angol Wilson 1923-ban megállapította, hogy a legígéretesebb az az elmélet, amely szerint az elektromosan semleges anyagban a hatalmas mennyiségű pozitív és negatív elektromos töltés nem ellensúlyozza tökéletesen egymás hatását, kis maradékhatalos várható, amelybe a gravitáció és a geomágnesesség is „belefér”. Ha föltételezi, hogy a tömeg gravitációs egysége, $K^{1/2} M$ egyenrangú az elektromosság elektrosztatikus egységével, Q -val, azaz $Q = K^{1/2} M$, akkor a Föld forgásából az egyenlítőjén 1 gausst kap, ami körülbelül háromszorosa az ott megfigyelt horizontális mágneses mezőnek. A Napnál is háromszoros, azaz nagyságrendileg helyes eredményt kap.

A „töltött semleges” tömeg gondolata német szakmai körökben is fölmerült. Az 1905–1906-os évben érdekes vita zajlott le a *Physikalische Zeitschrift* hátsójain. Kiváltó oka *Victor Fischer* cikke volt. „Az elektromosságtan jelenlegi fejlődése mindinkább arra utal – írta –, hogy a gravitációt és az elektromosságot ugyanarra az alapra helyezzük [...]. Ha az elektromos töltést és a szokásos tömeget az anyag [együtt] egyenértékű együtthatójának tekintjük, akkor azt találjuk, hogy az első egysége $1,5 \cdot 10^7$ -szer akkora, mint a másodiké, vagy másképp

$$\frac{e}{m} = 1,5 \cdot 10^7.$$

Ez az elektrosztatikusan mért töltés és a gravitációs tömeg közötti viszony szembetűnően egyezik az elektromágnesesen mért elektromos töltés és az elektromágneses tömeg viszonyával, amint ezt különféle sugárzásoknál találták.”

Az amerikai *Bergen Davis* németre is lefordított, 1904-es munkájában ugyanonnan indult ki, mint Fischer: „Az a föltevés, hogy az anyag elektronokból áll, ma már jól meg van alapozva. Ez az anyag, amely tömegvonzást mutat, valószínűleg elektronok fölhalmozódása, amelyek viszont elektromos hatást gyakorolnak. A jelen dolgozat megkísérli, hogy föllelje a legvalószínűbb kapcsolatot e két erő között, amelyek a tömegek közt két kombinációban hatnak.” Végeredményül azt kapta, hogy egy bizonyos tömeghez tartozó elektromos és nehézségi erő aránya a fénysebesség negyedik hatványa, de e számnak nincs dimenziója.

A *Physikalische Zeitschrift* szerkesztősége először visszautasította Davis cikkét, úgy vélvén, hogy itt csak

véletlen számbeli egybeesésről lehet szó, de mivel Fischer cikke ugyanezt pedzette, mégis közzétették, igaz, két olyan cikkel együtt, amelyek bírálják mind Fischert, mind Davist. Bírálatak lényege az, hogy Fischer is, Davis is olyan számokat hasonlít össze, amelyek nem azonos dimenziójúak, vagy nem azonos mértékegységben vannak kifejezve.⁴

Gustav Angenheister húsz év múlva, 1923–1924-ben is úgy találta, hogy a $Q = K^{1/2} M$ föltevés majdnem helyesen adja meg a Föld és a Nap mágneses mezejének arányát, de fizikailag nehéz elképzelni, hogy a Föld elektromosan vezető belső magvában ekkora igazi töltés és a vele járó elektromos mező létezhet.

A földmágnesesség eredete nemcsak német és angol fizikusokat izgatott a 20. század első két évtizedében. A $Q = K^{1/2} M$ összefüggés, $e = m\phi^{1/2}$ alakban, megjelent a francia *Louis Décombe*-nak a gravitációs elektromos elméletéről 1913-ban írt cikkében is.

Mi lett a történet vége? 1947-ben *Patrick Blackett* áttekintette a forgó tömeg által keltett mágneses mezőre vonatkozó irodalmat Schustertől 1947-ig. „Régóta ismert – írta –, kivált Schuster, Sutherland és Wilson munkáiból, habár később alig említették, hogy a Föld és a Nap P mágneses momentuma és U forgatónyomatéka majdnem arányos egymással, és hogy az arányossági tényező közel egyenlő a gravitációs állandó négyzetgyökének és a fénysebességnek hányadosával. Ezt így írhatjuk föl:

$$P = \beta \frac{G^{1/2}}{c} U,$$

ahol β egységnyi nagyságrendű állandó.”

Hosszú cikke végén Blackett megvizsgálta, mekkora lehet a valószínűsége annak, hogy laboratóriumi kísérlettel igazolhatják ezt az összefüggést, és borúlátó eredményre jutott. „Egy laboratóriumi gömb anyagának fizikai körülményei oly mértékben eltérnek a Földétől, nemcsak méretében, de hőmérsékletében, nyomásában és feszültségében, a gravitációs és a centrifugális erő arányában stb. is, hogy csekély eredményre számíthatunk, míg meg nem találják a [fenti] összefüggés elméletét.” Egyetlen ilyen kísérletről volt tudomása. Swann és *Longacre* 1928-ban 10 cm sugarú rézgömböt forgatott másodpercenként 200 fordulattal. A vizsgált összefüggés szerint 10^{-9} gauss erősségű mágneses mezőre lehetett számítani, de a kísérlet 10^{-4} -nél kisebb értékre már nem volt érzékeny. Einstein forgó rézhengerét nem említhette, mivel erről Einstein nem publikált.

Einstein Ampère-áramos kísérletéről sem szólt, pedig Schlomka általa idézett 1933-as cikkében találkozhatott vele. De Blackett cikke után sem törődött senki az előzményekkel, ezért a $Q = K^{1/2} M$ hatást még vagy tíz évig Blackett-hatásnak hívták. A tanulság: érdemes összefoglaló cikket írni!

⁴ Einstein ötletére ez nem vonatkozik, mert ott mind a gravitációs tömegegység, mind az elektrosztatikusan mért töltésegység dimenziója $\text{cm}^{3/2} \text{g}^{-1/2} \text{s}^{-1}$.

Az egységes elmélet két útja

Az eddigiekben idézett megjegyzései alapján kijelenthetjük, hogy Einstein geofizikai kirándulásának mozgató rugója az volt, hogy az elektromágnesesség és a gravitáció kapcsolatára tapasztalati utalást találjon.

Mossotti, Zöllner és Lorentz a faraday–maxwell–hertzi elektrodinamikától megrészegülve a gravitációt az elektrodinamikára akarta visszavezetni, és ehhez elég volt – visszafelé gondolkodva – akkora különbséget föltételezniük a két elemi elektromos töltés abszolút értéke között, amekkora éppen megadja a gravitációs vonzást.

Einstein feladata nehezebb és bizonyos értelemben fordított volt. Bizonyos értelemben, mert nem alkalmazhatta az elektromágneses „receptet”: nem állt rendelkezésére két ellentétes gravitációs töltés, amelyek töltéséből vagy kölcsönhatásából annyit „lefარaghatt” volna, hogy megkapja az elektromos vonzást (a taszítást nem is említve), ráadásul a gravitációs erő „lefარagás” nélkül is csak parányi hányada az elektromosnak. Ő az általános relativitáselmélet mezőegyenleteit akarta úgy kiegészíteni vagy átalakítani, hogy mindkét kölcsönhatást megkapja. Élete során kilenc ötlettel próbálkozott, mint tudjuk, sikertelenül.

Ami pedig a geomágnesesség forrását illeti, Schuster is, Einstein is kétségbeesésében nyúlt a „töltetlen töltött” anyag extravagáns gondolatához, miután el kellett fogadnia a geomágneses mező forrását a geoelektromosságban kereső kísérletek negatív eredményét.

Pedig napjaink geofizikusai mégis a geoelektromosságban reménykednek, az úgynevezett önfenntartó dinamómodellben. Eszerint egy kezdeti mágneses mező hatására a Föld belsejének vasban dús rétegei – eltérő forgásuk és eltolódásuk révén – elektromos áramot indukáltak, amely erősítette a kezdeti mágneses mezőt. Mihelyt beindult ez a „dinamó”, a kezdeti mezőre már nem lett szükség, a dinamót a külső rétegek konvektív mozgása tartja fenn azóta is. Ha helyesnek bizonyul, már „csak” azt a kérdést kell megválaszolni, hogy mi a kezdeti mágneses mező forrása...



A tudományos közösségben meglehetősen egységes jelenség- és kérdéscsoportok keringenek. Ezeket *Gerald Holton* témáknak nevezte, és váltakozásukat, változásukat a tudományfejlődés fő mechanizmusának tartotta. Hogy azután sikerül-e e témákat minden érdeklődő kutatónak nyomon követnie és így továbbfejlesztenie, attól függ, marad-e nyomuk és ha marad, a kutatók megtalálják-e. Ha nem, akkor újraalkotnak másutt már elért eredményeket. Kivált, ha valaki, mint Einstein, jobban szeret saját gondolataiban kutatni, mint mások cikkeiben.

Irodalom

Einstein 1905 és 1923 márciusa közötti cikkeit, leveleit a *Digital Einstein Papers* honlapon lehet olvasni eredeti és angol nyelven. Az 1923 márciusa és 1925 májusa közti dokumentumok a *Collected Papers of Albert Einstein* 14. kötetében található, hamarosan a világhálón is. A cikkben említett, 1925 júniusa és 1927 májusa közti dokumentumok pedig a 15. kötetben, körülbelül két év múlva lesznek hozzáférhetőek.