

5. Gy. Farkas, Cs. Tóth, *Phys. Lett.* 168 (1992) 447.
6. Kun Zhao, Qi Zhang, Michael Chini, Yi Wu, Xiaowei Wang, Zenghu Chang, *Opt. Lett.* 37 (2012) 3891.
7. I. B. Földes, J. S. Bakos, G. Veres, Z. Bakonyi, T. Nagy, S. Szatmári, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 2 (1996) 776–781.
8. P. Heissler, R. Hörlein, M. Stafe, J. M. Mikhailova, Y. Nomura, D. Herrmann, R. Tautz, S. G. Rykovanov, I. B. Földes, K. Varjú, F. Tavella, A. Marcinkevicius, F. Krausz, L. Veisz, G. D. Tsakiris, *Appl. Phys. B* 101 (2010) 511–521.
9. B. Dromey, M. Zepf, A. Gopal, K. Lancaster, M. S. Wei, K. Krushelnick, M. Tatarakis, N. Vakakis, S. Moustazis, R. Kodama et al., *Nat. Phys.* 2/7 (2006) 456–459.
10. P. Heissler, A. Barna, J. M. Mikhailova, Guangjin Ma, K. Khrennikov, S. Karsch, L. Veisz, I. B. Földes, G. D. Tsakiris, közlés alatt.

$$m \frac{d}{dt} \mathbf{v} \approx e \mathbf{E}.$$

Ha az oszcilláció amplitúdója kisebb a lézer hullámhosszánál:

$$\mathbf{v} = \frac{e}{m} \frac{\mathbf{E}}{i\omega} \cos \omega t.$$

A rezgés átlagos kinetikus energiája a ponderomotoros energia:

$$U_p = \frac{e^2 \mathbf{E}^2}{4 m \omega^2} = \frac{e^2 \mathbf{E}^2 \lambda^2}{16 \pi^2 m c}.$$

Látható, hogy a rezgés közben felvett energia a térerősség négyzetével, azaz a teljesítménnyel arányos, és a hullámhossznak ugyancsak a négyzetével nő. Ennek a következménye az, hogy a nemlineáris kölcsönhatások szerepe is az intenzitás és a hullámhossz négyzete szorzatával arányos, amelyet az $I\lambda^2$ skálatörvénynek neveznek. Mivel a lézerefény elsősorban az elektronokkal hat kölcsön, ezért van az, hogy a közeg választát ez a skálatörvény határozza meg. Amikor az intenzitás növelésekor az oszcilláció amplitúdója megközelíti a lézer hullámhosszát, illetve a sebesség a fénysebességet, a $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ erő már nem hanyagolható el, a kölcsönhatások relativisztikussá válnak.

Függelék

A monokromatikus síkhullám terében rezgő elektron mozgásegyenlete nemrelativisztikus esetben, azaz a Lorentz-erő $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ tagjának elhanyagolása esetén:

MEGEMLEKEZÉS KÁRMÁN TÓDORRÓL HALÁLÁNAK ÖTVENEDIK ÉVFORDULÓJÁN

Abonyi Iván
ELTE TTK

A pályakezdés éve

Kármán Tódor (1881. május 11. Budapest – 1963. május 7. Aachen) a magyarországi mérnökgenerációk egyik legkiválóbb képviselője, sokoldalú fizikus és gépészmérnök, zseniális szervező-egyéniség, *Neumann János* szerint a tudományos tanácsadó (scientific consultant) szerepkörének egyik kimagasló személyisége volt.

Középkolai tanulmányait a Trefort-féle Mintagimnáziumban végezte. Ezt az iskolatípust édesapja, *Kármán Mór* tervezte meg, hogy a leendő középkolai tanárok itt gyakorolva szerzhessék meg a pályájuk során szükséges pedagógiai ismereteket az egyetemi tanulmányaikkal mellett. Az iskolatípust *Trefort Ágoston* (1817–1888) közoktatási minisztersége alatt valósították meg. Ez lett – röviden szólva – a „Minta” gimnázium.

A Kármán-család a Minta közelében, attól alig két háztömbnyire, a Szentkirályi utcában lakott. Tódor utolsó gimnáziumi éve során az *Eötvös Loránd* indította tanulmányi versenyeken számos jó helyezést ért el. Itt érettségizett, majd a budapesti Műegyetemre ment, amit akkor még Királyi József Műegyetemnek neveztek. Gépészmérnöknek készült.

Tanulmányait sikeresen végezte, oklevelét 1902-ben szerezte meg. Nagy hatással volt rá *Bánki Donát* (1859–1922), aki végzése után tanársegédként alkalmazta, de ugyanakkor *Ganz Ábrahám* vagongyárába is elküldte.

Munkahelyén a nyomott rudak kihajlásának problémáival foglalkozott. Ez a problémakör nagy részben elkísérte későbbi pályáján, hiszen ezek a szerkezeti anyagok a legkülönfélébb műszaki konstrukciókban fontos

szerepet játszanak. Például hidak és más építmények esetében, de döntő mértékben az éppen akkortájt induló repülőgépipar területén tűntek ki fontosságukkal.

1906-ban Kármán a Magyar Tudományos Akadémia ösztöndíjat elnyerve Göttingenbe jutott, *Ludwig Prandtl* (1875–1953) tanzékére. Ez a körülmény döntő hatással volt tudományos pályájára – ekkor jegyezkedett el a repülés, a különböző repülő szerkezetek problémáival és szépségével. Ez volt az az időszak Prandtl életében is, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy a repülés nem egyszerűen úszás a levegőben (mint egy arkhimédészi probléma), mert az igazi feladat az lenne, hogy a levegőnél nehezebb testek is repülhessenek. Világossá vált, hogy nem elég az Arkhimédész-féle sztatikus felhajtóerő a repüléshez, hanem egy dinamikai erőhatás is szükséges. Ennek szoros kapcsolata van mind a repülő szerkezet szárnyának alakjával, mind a már mozgó szerkezet körül kialakuló áramlással. Az is kiderült már akkor, hogy a repülő test elemei által keltett hatások is befolyásolják a dinamikai felhajtóerőt. Akármilyen kényelmes a levegőt ideális közegnek tekinteni, mégsem lehet elhanyagolni a test és a közvetlenül hozzáérő levegő kölcsönhatását, a dinamikus határteget. Ez az éppen születő problémakör természetesen megragadta a fiatal Kármán Tódor fantáziáját.

De előbb a megkezdett feladat megoldása volt soron. 1909-ben a nyomott rudak kihajlásáról készített tanulmánya alapján a Göttingeni Egyetem doktorrá fogadta és magántanárrá habilitálta.

Ezután már sor kerülhetett az örvénysorok és a közegeellenállás kapcsolatának vizsgálatára.

Találkozás az örvénysorok problémájával

Az örvénysorok kérdése tulajdonképpen a hidrodinamika (esetünkben az aerodinamika) jellegzetes áramlástan problémája. A korábbi eredményes kutatók természetes ösztönnel a síkbeli áramlásokkal foglalkoztak. Ekkor hallgatólagosan felteszik, hogy a z -tengely irányában nem történik semmi, mondjuk, hogy ebben az irányban végtelen kiterjedésű a test, így minden érdekes dolog az x - y síkban játszódik le, tehát síkbeli áramlást vizsgálhatunk. Ebbe a síkbeli áramlásba helyezzünk el egy akadályt, amelyet az áramló folyadék vagy gáz körüláramol. Ha az akadály körlap, akkor az események leírása eleinte még nagyobb nehézségek nélkül elvégezhető. Ezért nem csodálatos, hogy a síkbeli áramlás kör alakú akadály körül problémakör már a 18. században, majd a 19. században is – főleg azóta, hogy kialakult a komplex változójú függvények tanulmányozása, amiben a körnek centrális szerep jutott – úgyszólván menetrendszerűen napirenden volt. Am megjelentek a fizikusok és mérnökök által felvetett kínos kérdések: az áramló *ideális* folyadék és az akadály vajon tapad-e egymáshoz, van-e és ha van, milyen a dinamikus határréteg? Ez a probléma a 19. század utolsó évtizedeiben vált igazán aktuálissá.

Közben úgy látszott, mintha a hidrodinamika tankönyvei csakúgy, mint a komplex függvénytan munkái egyszerűen leálltak volna, (átmenetileg) elégnék ítélték volna eredményeiket, amelyek igen jelentősek és igen hatásosak voltak. E hirtelen megállás nyomai látszanak a kor mechanikai tan- és kézikönyvein is. Az a benyomásunk, hogy hiányzott az új lökés, amely a repülés ügyének kibontakozásával érkezett meg a századfordulón.

Az új korszak képviselői Ludwig Prandtl, de legfőként Kármán Tódor. Prandtl kezdett foglalkozni azzal, hogy mi történik a repülő szárnyprofilja körül a repülés közben, egyelőre természetesen kör keresztmetszetű szárnyprofil vizsgálva. Ezt követhette az a remény, hogy a körkeresztmetszet majd valaki ideális szárnyprofilra transzformálva, ha másképpen nem lehet (ideálisan zárt képletben), akkor legalábbis jó közelítésben.

Ebben a küzdelemben játszott rendkívül fontos szerepet Kármán Tódor. Eljárását a következő részben ismertetjük, csak előbb még néhány megjegyzést teszünk.

Az alábbiakban ismertetendő Kármán-féle eredmények 1911–12-ben láttak napvilágot. Ekkor jelent meg az első tanulmány Kármán tollából a *Göttinger Nachrichten* oldalain [1]. A cikk kimondott célkitűzése az volt, hogy áramlástanilag indokolja *Osborne Reynolds* közegeellenállási képletét abban az esetben, amikor a körüláramlott test „hátsó része” nem gömbölyű, hanem szögletes, olyan mint egy konzervdoboz alja. Igen érdekes, hogy a számítások eredménye kétféle, lényegében mégis hasonló esetre vezet. Az akadály „hátsó” széléinél az áramlás „befelé” fordul, a két szélen örvénylő áramlás indul meg, majd leszakad az akadályról. Ezek az örvények energiát hordoznak, ez

fogja az ellenállást okozni. Az örvények impulzusnyomatékot is képviselnek, az akadály szemben lévő rétegeinél ellenkező forgásirányuk miatt, a „jobbról”, illetve „balról” bekanyarodó örvénygyűrűk egymással szemben forognak, az impulzusnyomatékok összege (legalább időátlagban) zérus. A két ilyen örvénytípus között a különbség annyi, hogy az egyiknél az örvények pontosan (időben) párosával lépnek fel (és majd szakadnak le), míg a másiknál az örvények (kis időeltolódással) egymást szakaszosan követik. Ezért van az, hogy ebben az eseten az elvitt impulzusnyomaték csak időátlagban zérus összegű. A részletes tanulmányozásra kis idővel később, 1912-ben *H. Rubach* közreműködésével került sor, ez a tanulmány a *Physikalische Zeitschrift* hasábjain jelent meg [2].

Egy szó, mint száz, ez a két tanulmány kicsit több mint 100 éve jelent meg. A *Göttinger Nachrichten* akkoriiban a szakmai „világirodalom” fontos orgánuma volt (többek között *David Hilbert* is ezen az egyetemen dolgozott). Ma már nem csodálkozhatunk azon, hogy ez a lap csak a nagyobb könyvtárak legmélyén, külön épületek „süllyesztőiben” található. De a *Physikalische Zeitschrift* – szerencsére – ma is azonnal hozzáférhető. Nem győzzük hangsúlyozni, hogy ez a lap, a *Physikalische Zeitschrift*, milyen jelentőségű, hiszen a korszak a fizika legkülönfélébb fejezeteinek 20. századi felfedezéseit mutatja be a kutatók első publikációin – és persze, esetleges vitáikra – keresztül.

Most inkább a felett akarunk csodálkozni, hogy az örvényúttal kapcsolatos cikk(ek) és a témájuk (a múlt évtizedek során többször is megmutatkozó rendkívüli jelentősége ellenére) mennyi ideig várták, hogy a 20. század tankönyveiben méltó bemutatásuk megtörténjék.

Az a benyomásunk, hogy a tudományegyetemi használatra készült elméleti fizikai tankönyvek közül a legendás Arnold Sommerfeld-féle könyvsorozat az első, amelyben a szerző aránylag részletesen bemutatja az örvényes síkbeli áramlásokat a közegeellenállás tárgyalásában Kármán korszakalkotó szerepére. De azért vegyük észre, hogy *Arnold Sommerfeld* (1868–1950), aki oly sok fiatal zsenit nevelt fel a fizika igazán nagynevű kutatójává (például *Werner Heisenberget* és *Wolfgang Paulit*), és aki maga is tevékeny részt vett a modern atomfizika feltárásában [3], miközben sajtó alá rendezi *A deformálható közegek mechanikája* című tankönyvét [4] – az első kiadás 1944-ben, a negyedik kiadás már halála után, 1957-ben –, úgy teszi ezt, hogy az eredményeknek a sűrűdési jelenségeken túlmenő, főleg a repülést érintő vonatkozásairól egyetlen sort sem ír!

Hazánkban a tudományegyetemi célokra készült tankönyvek közül – amelyek a II. világháborút követő megújulás során, 1950 után készültek – kiemelkedő jelentőségű volt *Budó Ágoston Mechanika* kötete [5] 1951-ből. Ebben a kötetben hiába keressük a Kármán-eredményeket. Ezekre a 3. kiadásig, 1969-ig kellett várni. Pedig akkor már nemcsak a szuperszonikus repülőgépek, hanem a tevékeny űrkutatás szintjére is eljutottunk.

A 20. század második felének legendás elméleti fizikai tankönyvsorozata a Nobel-díjas *L. D. Landau* és a Lenin-díjas *E. M. Lifsic* nevéhez fűződik. A Moszkvai Egyetemen tartott előadások nyomán készült kéziratokból indult ki a sorozat, Landau előadásait eleinte Lifsic rendezte sajtó alá. Az első kötet a mechanika általános megalapozását szolgálta. A második lett igazán legendás, a *Klasszikus erőterek*, a relativitáselmélet páratlanul jól sikerült áttekintésével igazán maradandó. A *Hidrodinamika* című kötet [6] mintegy 680 oldala óriási összefoglaló, azonban a Kármán-féle problémakör nem szerepel benne. (Kénytelenek vagyunk Kármán NATO-ban betöltött szerepére gondolni!)

Egy meglehetősen rövid – egyetlen oldalt is alig igénylő – említés található *A mérnöki tudományok kézikönyve* [7] *H. Niedring* cikkében, 1993-ban.

A legfrissebb magyar tankönyvirodalomban is találunk egy rövid utalást a Kármán-féle örvénysorra *Demény András, Erostyák János, Szabó Gábor, Trócsányi Zoltán: Fizika I.: Klasszikus mechanika* című könyvében [8]. Hasonlóképpen egy rövid fejezet végén szerepel egy utalás Kármán Tódor felfedezte örvényútra *Bérces György, Erostyák János, Klebiczki József, Litz József, Pintér Ferenc, Raics Péter, Skrapits Lajos, Sükösd Csaba és Tasnádi Péter* szerzők *A fizika alapjai* című tankönyvében [9].

Az örvénysorok, amelyek a folyadékban mozgó test ellenállási mechanizmusának fontos tényezői

Most röviden próbáljuk meg érzékeltetni, hogy Kármán Tódor szerint mi a közegben mozgó test által tapasztalt ellenállás mechanizmusa. Különösképpen azt vizsgáljuk meg, hogy az Osborne Reynolds-féle tapasztalati közegellenállási törvényt meg lehet-e magyarázni ezzel az örvényleválási mechanizmussal.

A cél tehát megadni a folyadékban U sebességgel haladó testre kifejtett közegellenállási erő képletét:

$$W = \mu l U f \left(\frac{Ul\rho}{\mu} \right),$$

ahol

$$R = \frac{Ul\rho}{\mu}$$

a Reynolds-szám, μ a ρ sűrűségű folyadék viszkozitása, l pedig egy aránylag tetszőlegesen választható, mégis jellegzetes hosszúság, amely az áramlási térbe merített testre jellemző, vagy legalább is az alakjától függ. A tapasztalat szerint az R a nagyon nagy viszkozitás, vagy a lassú mozgás esetén jó közelítéssel állandó. Az $R = 0$ határesetet a Stokes-féle közegellenállási képlet adja ($f = 1$), amely igen jó közelítéssel érvényes az „élég egyszerű” alakú testek (gömbök?) esetében, a tapasztalatok széles köre által alátámasztva. Az ellenkező határeset ($R \rightarrow \infty$) vonatkozhat éppenséggel

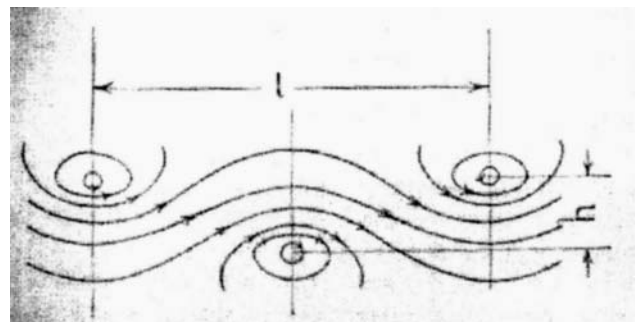
a repülésre is, de mindenképpen külön megfontolást érdemel. Az idevágó tapasztalatok (már 100 évvel ezelőtt is!) – például a légcsavar gyors mozgására gondolva – azt mutatták, hogy az R a közegellenállástól már függetlenné válik. Ebből az szűrhető le, hogy az áramlási tér az akadály (a test) körül két részre bontható. Az egyik a közvetlen akadály körüli zóna. A közeli zóna folytonos változási tartomány, olyan mint ha a testre nem is hatna közegellenállás. A másik pedig a távoli zóna, az előbbitől független, hozzá képest „nemfolytonos” zóna, amelyben az áramlás a *Helmholtz* és *Kirchhoff* által kidolgozott módszerekkel írható le. Mégpedig a *Lord Rayleigh* által bevezetett ellenállási képlettel, amely a relatív sebesség négyzetével arányos. Az elméletből – ebben a pillanatban (1911-ben) – hiányzik az a jellegzetes „szívó hatás”, aminek eredménye az ellenállási mechanizmus, amit viszont a kísérletek már ki tudnak mutatni. Röviden szólva: üres beszédnek tűnik a közegben mozgó test mögött kialakuló, úgynevezett „holt tér”, amit a mozgó test magával vonszol. A kérdés pontosan fogalmazva tehát az, hogy mi van az áramlásba helyezett test mögött? Ez a kérdés a most vizsgált Kármán-dolgozatok igazi tárgya.

Az első dolgozat – elkerülve az áramlásban lévő merev test pontos geometriai alakját(!) – két örvényfonalat vesz kiindulásul, amelyek egyenként azonos pörgésirányú örvények, szabályos távolságra egymást követően a sorokban. Természetesen a pörgésirány mindkét oldalon, vagy pedig váltakozva, hol az egyik, hol a másik oldalon, az egymást követő örvények l távolságának felével eltolva. A számítás eredménye az, hogy csak az utóbbi eset valósul meg a természetben, csak ez lesz stabil, és pedig abban az esetben, ha a b/l hányados meghatározott értékű. Itt b a két örvénysor közti távolság, l – mint említettük – az örvények közti távolság az egyes örvénysorban (1. ábra, Kármán eredeti rajza az [1] cikkből és 2. ábra: Kármán az örvénysorral). Az örvénysorokra felírt differenciálegyenletek elemzéséből az örvénysorok u sebességére adódik:

$$u = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{\xi}{l},$$

ahol ξ az örvényerősség.

1. ábra. Kármán eredeti rajza az örvénysorokról a *Göttinger Nachrichten*ben megjelent közleményéből.





2. ábra. A Magyar Posta 1992-ben emlékbélyeget adott ki, amelyen az örvénysorok is látszanak.

Kármán Tódor nyomán az ellenállás-mechanizmust a következő módon magyarázzuk. A nyugvó folyadékban a test U sebességgel halad az x irányban. A test mögött emiatt örvényes mozgás alakul ki, amely a testtől bizonyos távolságra már a fent kiszámított stabil konfigurációtól alig tér el. Ez a mozgásállapot a testhez rögzített vonatkoztatási rendszerben nem stationárius, hiszen az örvénysorok csak $u < U$ sebességgel terjednek. Ez vezet arra, hogy az örvénysorok leszakadnak a testről – miközben újból keletkeznek a test mögött. A leszakadó örvénysorok a folyadékhoz képest $U - u$ sebességgel mozognak, ez impulzust von el a testtől, ez vezet a közegellenálláshoz. Ezáltal ugyanis az örvénysorok $U - u$ sebességkülönbséggel elszakadnak a testtől és ez a W ellenállási erőre a

$$W = \rho \xi (U - u) \frac{b}{l}$$

képletet adja. Most már csak a ξ örvényerősséget kell meghatározni. Abból kell kiindulni, hogy az izolált örvényfonal stabil állapota az instabil örvényrétegnek. Ezért tegyük fel, hogy az egyes örvényfonalak örvényerősségét megkaphatjuk, mint az l hosszúságú örvényréteg cirkulációjának összegét, hiszen ebből származik. Ezért

$$\xi = Ul.$$

Ebből viszont az örvényrendszer terjedési sebességére

$$u = \frac{U}{\sqrt{6}}$$

adódik. Így az ellenállási erőre kapjuk, hogy

$$W = \frac{\sqrt{6} - 1}{\sqrt{6}} \rho b U^2.$$

Előnyös, ha az általános szokásnak megfelelően bevezetjük a φ „ellenállási számot”, amivel

$$W = \varphi \rho L U^2,$$

itt L a végtelen szélességűnek gondolt test valamilyen más, tetszőleges mérete (lemezvastagsága, ha körhenger, akkor annak átmérője stb.). Erre azért van szükség, hogy az elméleti elgondolás eredményét a tapasztalattal összehasonlíthassuk. Ezzel

$$\varphi = \frac{\sqrt{6} - 1}{\sqrt{6}} \frac{b}{L}.$$

Ennyi az 1911. évből származó dolgozat [1] tömörített kivonata, amely mutatja, hogy az örvénysorokkal sikerült a négyzetes közegellenállási törvény mögé pillantani. Az első pozitívum: sikerült a fenomenológiai törvény mögött meghúzódó fizikai folyamatokat feltárni. Ezen eredmény jelentőségét nehéz úgy felmérni, hogy ne essünk túlzásba. Azokról a kimagasló eredményekről, amelyek a további évtizedekben mutatkoztak meg, az életrajz rövid folytatása során emlékezünk meg az alábbiakban.

Kármán Tódor életútja az örvénysorok felfedezése után

Az örvénysorok problémaköre után Kármán még több érdekes kérdéssel foglalkozott, de az első világháború kitörése az ő életét is befolyásolta. Az akkor 33 éves

3. ábra. Theorode von Kármán, az osztrák–magyar légierő hadnagya. Az örökölhető nemesi előnév a „von” használatát Tódor édesapja, Kármán Mór az uralkodótól, Ferenc Józseftől kapta egyik császári unokaöcs tanításának elismeréseként.



göttingeni professzor hazatért, mert behívót kapott. Halálkárosodása miatt hátországi szolgálatra rendelték. Közel egy évig egy csepeli ruharaktárban dolgozott, majd a Bécs melletti Fischamendbe került, ahol a Monarchia új fegyverneme, a hadirepülő-arsenál központja volt (3. ábra). Itt végre a repüléssel lehetett foglalkozni, részt vehetett egy helikopteres konstrukció megvalósításában. Ez azt a cél szolgálta, hogy a tüzérség hatásosságát megfigyelhessék, a léggömbre helyezett szemlélő helyett az üteg felett egy helikopteren. Ez az alkotókról, *Petróczy István*ról, *Kármán Tódorról* és *Zsurovecz Vilmos*ról elnevezett PKZ-jelű helikopter (4. ábra).

A háború végén Kármán Budapestre került, az oktatásügyi minisztériumban a felsőoktatási osztály vezetője lett. Ebben a minőségben vett részt Eötvös Loránd temetésén.

A következő években Aachenben találjuk, hiszen 1913-as professzori kinevezése nem évült el. Itt – úgy látszik – megtalálta helyét, egyetemi tanárként kedvére foglalkozhatott a repülés problémáival, lehetősége volt arra, hogy hatalmas szélcsatornát építsen a konstrukciók kísérleti vizsgálatára. Ez azonban ismét nem tartott soká. A békeszerződés Németországot többek között a repülőgépipar területén is korlátozta. A húszas évek még csak-csak elteltek. Ekkorra Kármán légügyi, a gépkonstrukciós kérdésekben már világszerte elfogadott, sőt keresett szaktekné. 1933-ig ideje jelentős részében a világot járta, ahová szakmai kérdésekben hívták a légitársaságok műszaki tanácskérések során. A hitleri hatalomátvétel előtt Kármán többekkel együtt úgy látta, hogy új „hazát” kell keresnie. Ezt az új hazát *Robert Andrews Millikan* (1868–1953) Nobel-díjas fizikus a California Institute of Technology (a kaliforniai műegyetem) akkori vezetője kínálta neki, aki Pasadena-ba hívta, tanszéket és kísérleti laboratóriumot ajánlva. *Daniel Guggenheim*, az amerikai „rézkirály” adománya segítségével megalapította a pasadenai kísérleti aerodinamikai laboratóriumot (amiből 1943 után a Jet Propulsion Laboratory lett). 1935-ben Kármán az Amerikai Egyesült Államok állampolgárságát is megkapta.

Az Egyesült Államokban nemcsak a pasadenai központ fejlesztésén dolgozott. Az amerikai repülésügy komplex fejlesztésébe kezdett, előbb a polgári, később az eredményeknek megfelelően a nagy távolságú szállítórepülő és a harci repülő terén is, már a II. világháború folyamán.

Közben egy sajátos esemény, a Tacoma-Narrows tengerszoros felett épített híd összeomlása újra előtérbe hozta az örvénysorok problémáját. 1940. november 7-én a Washington államban lévő, a szoros felett épített 853 m hosszú híd az erős szélben sajátos kilengések – először rezonanciajelenségnek értelmezett hatások – következtében leszakadt. A tragédiát követően Kármán az *Engineering News Record* hasábjain nyílt levélben megírta, hogy nézete szerint a híd bevezetését a széláram hatására kialakuló és leszakadó örvénysorok okozták. Az esemény után természetesen műszaki vizsgálóbizottság alakult, amelynek tagjai sorába őt is meghívták. A híd újjáépítési munkálatai megkezdődtek, az ő javaslatait is figyelembe vet-



4. ábra. Kármán Tódor és Zsurovecz Vilmos Fischamendben a Petróczy István parancsnoksága alatt működő fejlesztő részlegben kifejlesztették a világon az első „kötött helikoptert”, a PKZ-helikoptert, amely tüzérségi megfigyelés céljaira szolgált. Az egyik első kísérlet (felül) és emberrel végrehajtott felszállás (alul).

ték. Az új híd 1950-ben készült el, áramvonalas alakja jelentősen csökkentette az örvénysorok kialakulásának lehetőségét, és a híd még ma is áll.

A II. világháború alatt az Egyesült Államok kormányának légügyi szakértőjeként dolgozott. Számos gyakorlati javaslata vált be, csak azt emeljük most ki, hogy a nagy hatótávolságú bombázó és vadászrepülő üzemanyaggal való – repülés közben végrehajtott – újratöltését (egy másik repülőgépről) az ő elgondolása alapján vezették be.

A múlt század negyvenes éveitől kezdve Kármán Tódor a repülésügynek nemcsak az azonnali korszerűsítését tekintette kikerülhetetlen feladatnak. Az egész légi közlekedés minden kérdésében rendszeres, az oktatás részleteit is mozgósító előadásokat szervezett, ezek nagy részét ő maga tartotta. Az úttörő munka nemcsak a torlósugar-meghajtásra való áttérés, hanem az igazi rakétahajtás lehetőségeit is érintette. Csakhamar eljutott az interkontinentális, majd a kozmikus rakéták problémáihoz, ami mind a repülő tesztek alakját, mind a hajtóművek és hatóanyagok kérdését magában foglalta.

Ugyanakkor világos volt számára, hogy az egész „rakétaügy” két szektorra bomlik, az egyik az azonnali, „földi” alkalmazás, az Egyesült Államok hadi potenciálját érintő kérdés, a másik viszont az egész emberiség, az osztatlan „Kelet” és „Nyugat” közös ügye, a kozmikus űrhajózás kidolgozása. Ez utóbbit illetően egyik korszakalkotó diplomáciai eredménye a „Nemzetközi Asztronautikai Föderáció” (az egyes országok asztronautikai célú egyesületeinek összefogására

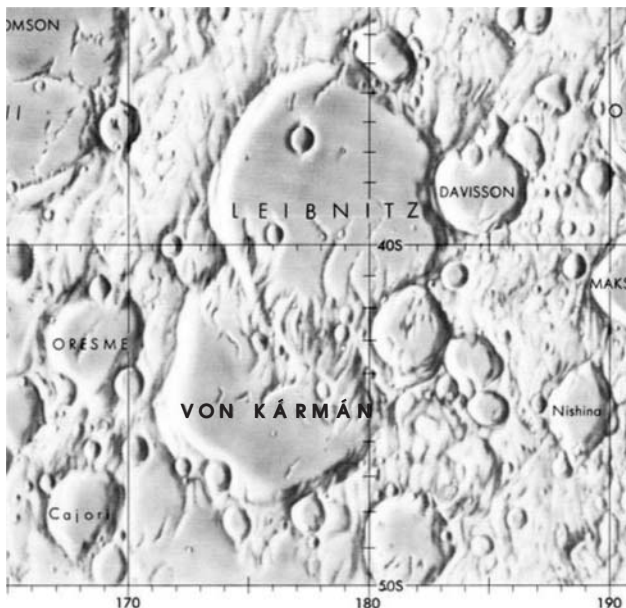


5. ábra. John F. Kennedy, az Egyesült Államok elnöke adta át a National Medal of Science kitüntetés első példányát Kármán Tódornak 1963 februárjában.

szánt szövetség) megalakítása (1951). A másik pedig a világ minden asztronautikai témában eredményt elért kutató érdemi összefogásának és elismerésének célját szolgáló „Nemzetközi Asztronautikai Akadémia” megszervezése, ahol ténylegesen minden tevékenység számított, ami az asztronautika jelenét és jövőjét befolyásolhatja, a jogi kérdésektől kezdve a gyakorlati űrkutatás orvosi, mérnöki, konstrukciós, csillagászati stb. problémáit felölelve (1960).

Nem csoda tehát, hogy Kármán Tódor, a gépészmérnök, a repülésügy szakértője, a modern repüléstechnika nemzetközi előmozdítója, az asztronautika igencsak tevékeny szakembere 1963-ban *J. F. Kennedytől*, az Egyesült Államok elnökétől a National Me-

7. ábra. Kármán Tódorról elnevezett kráter a Holdon (44,8° dél, 175,9° kelet). Természetesen a von Kármán nevet keressük!



6. ábra. Az Egyesült Államok postája bélyegkiadással emlékezett meg Kármán Tódor születésének centenáriumáról.

dal of Science első példányát kaphatta meg egész tudományos tevékenysége elismeréséül (5. ábra).

Tudományos munkáinak gyűjteményes kiadása 1956-ban jelent meg [10].

Születésének századik évfordulóján, az Egyesült Államok emlékbélyeg kiadásával emlékezett meg az „Aerospace Scientist”-ről, vagyis „a repülés és űrrepülés tudósáról” (6. ábra).

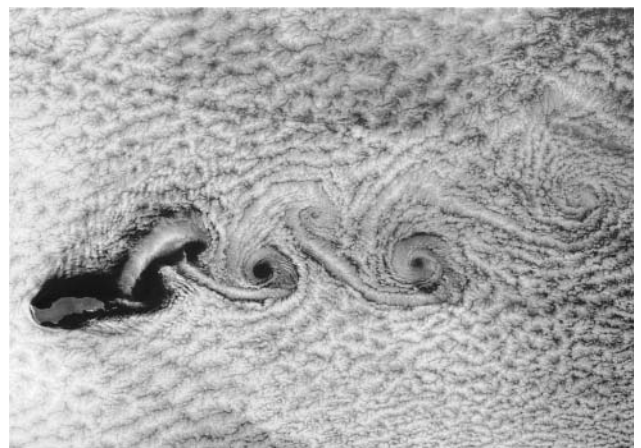
Hogy a tudós világ milyen nagy becsben tartja őt, arra jellemző: a Hold túlsó oldalán (7. ábra) és a Mars-on is egy-egy kráter elnevezése őrzi emlékét.

Az örvénysorok napjainkban is elő-elő kerülnek. Egy műholdas felvétel révén a felhőkben kirajzolódó örvénysor látható, ami Guadelupe szigetének hegyei miatt alakult ki. A felvételt egy NASA műholdon elhelyezett kamera készítette 2012. június 20-án (8. ábra).

Köszönetnyilvánítás

E sorok írója itt szeretne köszönetet mondani azoknak, akiknek segítségével és találmányosságával nélkül ezt a munkát nem tudta volna elvégezni. *Scharnitzky Viktorné Borika* könyvtáros szakértelmének és lelkes támogatásának köszönöm az [1] és a [10] irodalom felkutatásának eredményét. *Kendei András* figyelme nélkül mindörökké rejtve maradt volna az örvénygyűrűk Guadelupe-szigeti képe. Mindkettőjüknek hálás köszönet a segítségükért.

8. ábra. Érdekes felvétel a Föld körül keringő mesterséges holdról: Guadelupe szigete mellett a felhőkben a szél a hegy környékén egy Kármán-féle örvénysort kelt.



Irodalom

1. Th. v. Kármán: Über den Mechanismus des Widerstandes den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erfährt. *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* (röviden: *Göttinger Nachrichten*) (1911) 509–517.
2. Th. v. Kármán, H. Rubach: Über den Mechanismus des Flüssigkeits – und Luftwiderstandes. *Physikalische Zeitschrift* 13 (1912) 49–59.
3. Arnold Sommerfeld: *Atombau und Spektrallinien*. Vieweg, Braunschweig, 1924.
4. Arnold Sommerfeld: *Mechanik der deformierbaren Medien*. (Vorlesungen über theoretische Physik, Bd II.), első kiadás: Geist & Portig K. G., Leipzig, 1944.; második kiadás még Sommerfeld életében: 1948.
5. Budó Ágoston: *Mechanika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1951. (első kiadás), harmadik kiadás: 1969.
6. L. D. Landau, E. M. Lifsic: *Hidrodinamika*. (fordította: Boschán Péter) Tankönyvkiadó, Budapest, 1980. Az orosz nyelvű eredeti 1953-ban jelent meg.
7. H. Niedering: Fizika, B. 1–233., Valós folyadékok áramlásai, B. 89. in Hütte: *A mérnöki tudományok kézikönyve*. Springer Verlag, Budapest, 1993.
8. Demény András, Erostyák János, Szabó Gábor, Trócsányi Zoltán: *Fizika I. Klasszikus mechanika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005. 316.
9. Tasnádi Péter, Skrapits Lajos, Bérces György: Klasszikus mechanika. 172–174. in Bérces György, Erostyák János, Klebiczki József, Litz József, Pintér Ferenc, Raics Péter, Skrapits Lajos, Sükösd Csaba, Tasnádi Péter: *A fizika alapjai*. (szerkesztették: Erostyák János, Litz József) Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003.
10. *Collected Works of Dr. Theodore von Kármán*. Vol. I–IV. Butterworth Scientific Publications, London, 1956.

A FIZIKA TANÍTÁSA

ILYEN MÉG NEM VOLT

Simon Péter

Leőwey Klára Gimnázium, Pécs

Teljesen természetes, hogy a fiatalok élmények meghatározzák az ember egész életét. Szívesen emlékezünk vissza gyermekkorunkra, osztálytársainkra, közös történeteinkre. Sokunknak vannak kedvenc tanárai. Ha egy asztaltársaságban kiderül, hogy valaki pedagógus, akkor az ő munkájáról sokan érdeklődnek, hiszen az mindenkit érint, és a megkérdezett pedagógus is szívesen mesél. Nekem is rengeteg kellemes emlékem van gyerekkoromból, amelyek többsége az iskolához köthető. Ma is tisztelem volt tanárait, sokat kaptam Tőlük, ittam minden szavukat.

Tanárnak lenni nagyszerű dolog. Igaz, gyakran panaszkodunk szerény anyagi elismerésünk miatt, de ha ezen túllépünk, akkor csak jót tudunk mondani a munkánkról. Igazán izgalmas együtt lenni a fiatalokkal. Látni, ahogy 14 éves gyerekekből 18 éves fiatalemberekké fejlődnek. Jó dolog segíteni őket. Persze erre a segítségre nem úgy kell gondolni, hogy az erős segít a gyengén. A tanítás-tanulás folyamata tanár és diák együttműködését jelenti.

Délutáni szakkör

A tehetséggondozásnak látszólag az a célja, hogy a diákokat sikerrel készítsük fel a tanulmányi versenyeken való szereplésre. Egy verseny valójában további tanulásra motivál, így annak eszköze lesz, hogy a diákok még felkészültebben érkezzenek az egyetemekre. Hiszen ma már a legtöbb diáknak nem okoz problémát a felsőoktatásba való bejutás. Az igazi kihívás a bennmaradás és a sikeres végzés. A tehetséggondozás alapja a délutáni szakköri és az otthoni munka. A délutáni szakkörre azonban ma már nagyon nehéz viszszaacsalgatni a diákokat. Ez sajnos egy kihalóban

lévő munkaforma. Egyrészt nem ismerik az ilyen jellegű foglalkozásokat, másrészt a legtöbb mai diáknak délutánonként rengeteg más elfoglaltsága van: nagyon erős az árnyékotatás, nyelvórák, zeneórák, sport vonzása. A fizikasakkörnél sokkal népszerűbbek a gyors, látványos sikerrel kecsegtető elfoglaltságok. A tanárok sem egyformán lelkesednek azért, hogy szakkört tarthassanak. Az iskolák egy része eddig teljes mértékben kifizette a szakköri munkát, másik része csak részben, illetve egyáltalán nem.¹ Kevés tanár áldoz a szabadidejéből a gyerekekre. A mai anyagi körülmények között nehéz otthon elmagyarázni a családnak, hogy délutánonként miért is dolgozom ingyen a munkahelyemen. Az utóbbi években megjelentek ugyan a természettudományos szakköri munka támogatására pályázatok, de olyan feltételekkel, hogy ezeken a foglalkozásokon a gyerek alkosson meg valamit, kutasson valamilyen témában, és a tanár ezt a kutatói munkát támogassa. Úgy látszik, a klasszikus fizikasakkört, amelyen az órai tananyagot mélyítjük elmélettel, számítási feladatok megoldásával, kísérlettel, méréssel, az oktatási kormányzat nem támogatja. Pedig az igazán alapos tudást ezeken a foglalkozásokon szerzik meg a tanulók. Ezt nem csak én gondolom így, hanem azok a volt diákok is, akik annak idején jártak a szakköreimre, ma pedig már sikeres mérnökök, kutatók.

Nagyon szeretem a délutáni fizikasakköröket. Nem csak a legügyesebb diákok miatt – akik akár versenyek döntőjéig is eljutnak –, hanem azok miatt is, akik egy közepes szintről eljutnak a stabil ötödikig,

¹ A pedagógus életpályamodell ezt a területet is egységessé teszi. A kötelező (heti 22-26) óraszám felüli munkaidőben tarthat a tanár szakkört az alaphéért...