

Lumineszcencia című előadásomban Szigeti György saját, fő témájáról szóltam. Szigeti György teljes publikációs (63) és szabadalmi (53) listáját az [1] irodalom tartalmazza. Ennek túlnyomó része lumineszcencia és fényforrások témában született. Én 1948 óta voltam Szigeti György munkatársa elhunytáig, 1978-ig. Doktorandusznak vett fel Bay Zoltán [2] és irányított Szigeti György osztályára. Szigeti akadémikus és munkatársainak rendkívül nagyszámú publikációját igen sok hivatkozás ismeri el. A már említett 1939-es SiC szabadalom után Szigeti György 1954-től irányította az elektrolumineszcencia-kutatásokat 1970-ig. Fő eredménye a fénycsövek hazai kifejlesztése, beleértve az 1947-ben legkorszerűbb fényport, bevonatot, katódot, gázkiszűlést és azok gyártásba adását. Ezek főként szabadalmakban jelentek meg 1958-ig. A sikeres fejlesztés nagymértékben támaszkodott az alap kutatásokra. Csupán Bodó Zalán 1951-es *Acta Physica Hungarica* cikkére utalok, mely a kvantitatív diffúz optika megalapítását eredményezte, és melyre még 2003-ban is található hivatkozás a Science Citation Indexben. A ZnS elektrolumineszcencia téma 1970-ben kifutott. Szigeti György a III–V félvezető heteroátmenetekre tért át. Ezek fotolumineszcencia-vizsgálatait ma is folytatja az MFA.

A szünet után az ELFT *Szigeti György és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat* című megemlékezésére került sor, melyet Kovács Ádám főtítkárhelyettes távollétében Bartha László olvasott fel.

Menyhárd Miklós Felületfizika című előadásában beszámolt arról, hogy hazánkban a felületfizikai kutatásokat Szigeti György indította el 1968-ban. Javaslatunkra nagyértékű LEED-UHV berendezést vásárolt az MFKI, melyet már 1973-ban Auger-spektrométerre fejlesztettünk Szigeti akadémikus támogatásával. Az Auger-spektrometria (AES) ma is élő kutatási téma, számos sikeres alkalmazott kutatásra került sor (W, vékonyrétegek, acélok stb.). Az MFA jelenlegi kutatásaival világszinten kiemelkedő eredményeket ért el a mélységi elemzés feloldása terén Barna Árpád ionágyújával. MFKI–MFA alap kutatási eredmény a rugalmas elektronszórás spektrometria (EPES), mely az elektronok szabad úthosszának mérését eredményezte.

Mojzes Imre Mikrobullámú félvezetők című előadásában számolt be a Gunn-dióda sikeres kifejlesztéséről, melyet még Szigeti György kezdeményezett. A Gunn-dióda számos, MFKI fejlesztésű mikrohullámú berendezésben nyert alkalmazást.

Rónainé Pfeifer Judit Félvezető heteroátmenetek című előadásában az 1970 óta eredményesen folytatott heteroátmenet-kutatások főbb eredményeit ismertette, melyek a félvezető lézerekhez vezettek.

Schanda János Világítástechnika című előadásában a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (CIE) hazai történetéről szólt, melynek Szigeti György is tagja volt. Az MFKI világítástechnikai kutatásai a fényforrás kutatás-fejlesztését szolgálták.

Serényi Miklós a III–V félvezető diódák (LED) és lézerek kifejlesztését tekintette át, szólt az infravörös spektrometriában alkalmazott, a teljes spektrumot átfogó lézerekről.

A tudományos előadások után *Stubnya György*, OMIKK főigazgató-helyettes az OMIKK-ban Szigeti Györgyről munkásságáról jelenleg készített CD-t ismertette, mely tartalmazni fogja az emlékülés elején bemutatott filmet is.

Az emlékülés *Bársony István*nak, az MFA igazgatójának zárszavával ért véget, melyet távollétében *Pécz Béla* igazgatóhelyettes olvasott fel.

Az ismertetett kilenc téma Szigeti akadémikus elhunytá után is sikeresen folytatódott. Ezt igazolja a nagyszámú irodalmi hivatkozás. A munkák idézése még 30–50 év után is azok értékállóságát bizonyítja. Sajnálatos, hogy az ELFT 1991-ben megjelent *Fejezetek a magyar fizika elmúlt 100 esztendejéből (1891–1991)* című kiadványának *Fizika Újpesten* című fejezetében nem adott helyet Szigeti Györgynek és iskolájának.

Gergely György

Irodalom

1. NAGY E., KÓNYA A.: *Szigeti György* – Fizikai Szemle 29/1 (1979) 25
2. GERGELY GY.: *Szigeti György öröksége. Szigeti György és Bay Zoltán. Megemlékezés Szigeti György balálának 25. évfordulójáról* – Fizikai Szemle 44/1 (2004) 25

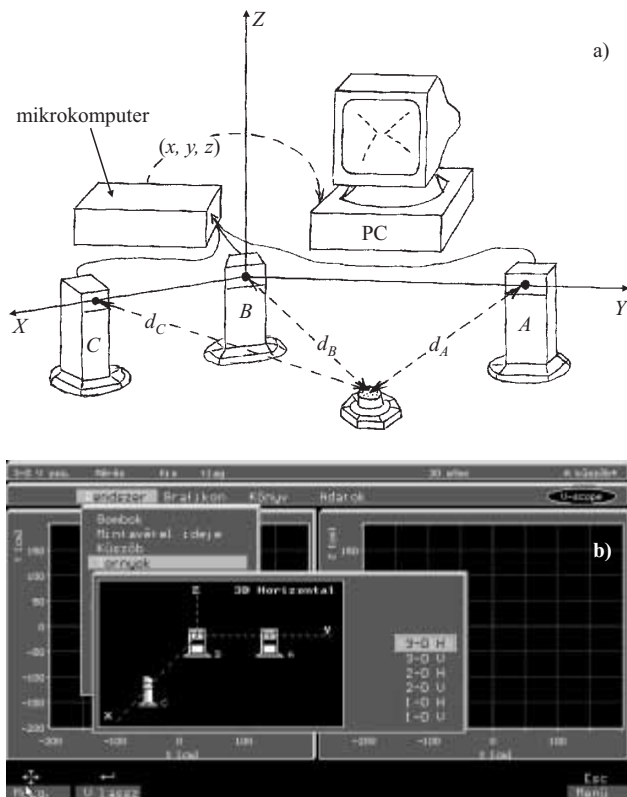
A FIZIKA TANÍTÁSA

HELY- ÉS IDŐMÉRÉS, ADATFELDOLGOZÁS V-SCOPE ÉS SZÁMÍTÓGÉP ALKALMAZÁSÁVAL

Erliczné Bogdán Katalin, Nyíregyházi Főiskola
Dede Miklós[†], Darai Judit, Demény András, Debreceni Egyetem

A fizika tanítása ma már nem képzelhető el mérőkísérletek nélkül. Az évszázadok alatt feltárt fizikai törvényeket nem egyszerű kinyilatkoztatásként tárjuk a tanulók elé, hanem végigjárjuk velük azt az utat, amit a nagy elődök

már megtettek. De mivel tudjuk, hogy hol vannak kátyúk és göröngyök, azokat kikerültetjük tanulóinkkal. Mérési eszközeink és módszereink is mások már, de a felfedezés öröme még így is megadatik nekik, ha szemlélőként vagy



1. ábra. a) A V-Scope rendszer. b) 3-D horizontális rendszer.

öntevékenyen maguk is részesévé válnak a törvényfeltárás folyamatának. Ehhez olyan eszközöket és módszereket kell találnunk, amelyek felkeltik és ébren tartják érdeklődésüket a téma iránt, ugyanakkor elegendően pontos adatokhoz jutunk általuk. A mai diákok a videotechnika és a számítógép világában nőnek fel, számukra csak érdekesség lehet a kis tartályból egyenlő időközönként lecseppenő víz, vagy a homokóra, de hosszabb ideig nemigen lenne türelmük időmérő eszközként használni ezeket. A zsúfolt tananyag, a tanulók napirendje és a mérésekkel szemben támasztott követelmények is gyorsabb, pontosabb mérőeszközöket kívánnak. Különösen fontos a megfelelő mérőeszköz a mechanika törvényeinek feltárása, illetve a mozgásállapot-változást eredményező kölcsönhatások vizsgálata, bemutatása során. Ilyenkor olyan adathalmazzal kell rendelkezni, amelyből megtudhatjuk, hogy a mozgó test mikor hol tartózkodott. Nem túl gyors, hosszú ideig tartó mozgásoknál a *metronómütésre* húzott krétajel, vagy az *ecsetes inga* által a mozgó testre rögzített papírcsíkra festett vonalak is elegendő pontosságúak lehetnek, de rövid ideig tartó, gyors változásoknál, mozgásoknál legtöbbször nem szolgáltatnak elegendő számú és elég pontos adatokat a kiértékeléshez. Ehhez olyan eszközöket kell használnunk, amelyek egyidejűleg alkalmasak idő- és nyomjelzésre. Ilyenek például az ötven herzes váltakozó áram segítségével előállított *jód- vagy kénporcsíkok*, amelyek 0,02 másodpercenként nyújtanak információt a (legtöbbször kijelölt pálya mentén mozgó) testek helyzetéről [1, 3]. Sokkal kényelmesebb adatfelvételi lehetőséget nyújtanak az utóbbi néhány évtizedben széles körben elterjedt *stroboszkópos felvételek*, ahol a síkban mozgó testeknek már nem kell magukkal

vonszolniuk az írószerkezetet. A nyomképet a nyitott blendével, egyenlő időközönként készült felvételek szolgáltatják [2–4]. Tanári és tanulói kiértékelésre egyaránt alkalmas módszer. A nyomképről vonalzó vagy mérőszalag segítségével szerzünk távolságadatokat, miközben időegységnek a vaku két felvillanása közötti időintervallumot tekintjük. A félvezető-technika megjelenése és elterjedése lehetővé tette az úgynevezett *fénykapus méréseket*, amelyek kezdetben elektromos stopper, majd a számítógép segítségével szolgáltatott adatokat a kiértékeléshez [3, 5]. A német iskolákban használt úgynevezett *Glasfabrbahn* mechanikai jeleket alakító elektromos jeleké a kiskocsiba épített, piezoelektromos tulajdonságot mutató nyomásérzékelő bélyeg segítségével, majd az adatokat személyi számítógéppel dolgozzák fel [6].

Az előbb felsorolt eszközök hátránya, hogy csak síkbeli mozgások kiértékelését teszik lehetővé, továbbá vagy az időre, vagy a helyre vonatkozó adatunk, esetleg mindkettő pontatlan. A fenti hátrányokat igyekszik kiküszöbölni a térbeli mozgások vizsgálatára is alkalmas az Izraelben több mint húsz éve kifejlesztett, s tanszékünkön közel tíz éve használt demonstrációs és mérőeszköz, a *Vektorscope* (V-Scope) [7]. A továbbiakban ennek az eszköznek egyik felhasználási lehetőségét szeretnénk ismertetni.¹

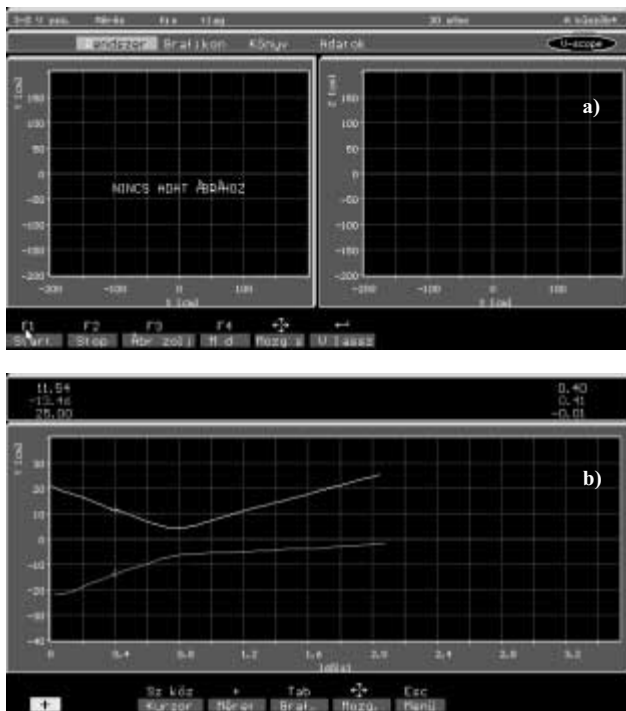
A V-Scope rendszer felépítése és működési elve²

A *V-Scope rendszer* központi eleme a V-Scope mikroszámítógép, amelyhez három torony csatlakozik. A mozgó testek helyzetét a rájuk rögzített gombok segítségével tudjuk megállapítani (1. ábra). Az eszközhöz mellékelt derékszögű sablon, állványok és egyéb apró tartozékok segítik, hogy pontos mérési adatokhoz jussunk. Térbeli mozgások vizsgálatánál a tornyokat egy Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszer origójában, illetve annak két tengelyén helyezük el (3-D horizontális rendszer, 1.b ábra). Síkbeli vagy egyenes vonalú mozgásoknál elegendő két, illetve egy tornyot használni. A rendszer működtetéséhez szükség van még egy IBM-, vagy ezzel kompatibilis személyi számítógépre, ebben legalább 640 KB memóriára és egy színes monitorra.

A *tornyok és a gombok* tulajdonképpen adó-vevő készülékek. A tornyok infravörös adókészüléket és ultrahangvevőt tartalmaznak, a mozgó testhez rögzített gombokban pedig infravörös vevőkészüléket és ultrahangadót helyeztek el. A tornyok néhány milliszekundumonként infrasugarakat bocsátanak ki, ezeket a gombok ér-

¹ Olyan kísérlet leírásával mutatjuk be a V-Scope-pal végezhető mérés és adatfeldolgozás folyamatát, amely körülményeiben hasonlít a *Fizikai Szemle* 1973/6. számában megjelent, stroboszkópos kiértékelésre épülő *Newton törvényei fényképeken* című dolgozatban ismertetett kísérletekhez [2]. Ezzel egykori tanárunkra és kollégánkra, *Dede Miklós*-ra szeretnénk emlékezni, aki 1997-ben bekövetkezett halála előtt néhány hónappal részt vett a V-Scope-pal végzett kísérletekben, és tanácsaival segítette munkánkat.

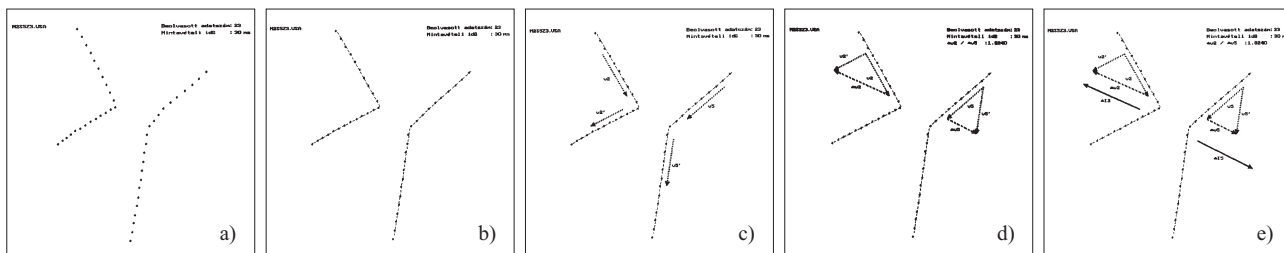
² A rendszer működési elvéről a *Fizikai Szemle* 1995/11. és 2004/10. számában már olvashattunk ismertetést [8, 12], így mi csak általános bemutatásra és kiegészítésekre szorítokozunk e téren.



2. ábra. Információs ablakok a monitoron. a) „Mérés” üzemmód. b) „Nézd újra!” üzemmód.

zékellik, és nyomban ultrahangot sugároznak, amelyet a toronyok érzékelnek. A *mikroszámítógép* „Mérés” üzemmódban (2.a ábra) ellenőrzi és irányítja a toronyok működését, elindítja a kimenő jeleket, fogadja és feldolgozza a beérkezőket. Az infravörös sugár kibocsátása és az ultrahang beérkezése között eltelt idő alapján tizedmilliméter pontossággal meghatározza a torony–gomb távolságokat (d_A , d_B , d_C), és a háromszögmódszer segítségével kiszámolja a gombok térbeli helyzetét (x , y , z) a Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszerben. A három gomb helyzetét a rendszer ciklikusan, egyenlő időközönként állapítja meg. Az adatokat elküldi a személyi számítógéphez. A *személyi számítógép* tárolja a mintavételi időt és mindhárom gomb (x , y , z) koordinátáját egy, a V-Scope által használt *.vsd kiterjesztésű állományban. Ezekből az adatokból a kísérlet befejezése után a számítógép megfelelő matematikai eljárással kiszámítja az $\mathbf{r}(t)$, $\mathbf{v}(t)$, $\mathbf{a}(t)$ vektorokat. A tárolt adatok birtokában a mérési adatokat, a mozgás nyomképét, a helykoordináták, a sebességkomponensek, gyorsuláskomponensek időfüggését ábrázoló grafikonokat bármikor megtekinthetjük a kísérlet újbóli elvégzése nélkül. Ehhez a „Nézd újra!” üzemmódot kell használnunk (2.b ábra)

3. ábra. A 2. sz. és 5. sz. korongok ütközése: a) az ütköző korongok nyomképe, b) az ütköző korongok pályája, c) az ütköző korongok sebessége, d) az ütköző korongok sebességváltozása és e) az ütköző korongok impulzusváltozása.



A V-Scope rendszer lehetőséget ad arra is, hogy az adatokat *ASCII-kódban* mentjük el. Ekkor egy *.vsa kiterjesztésű állományt kapunk, amelyet felhasználhatunk *egyéni igények szerinti feldolgozás* céljából. A Turbopascal vagy a MAPLE programozási nyelv segítségével kibővíthetjük a V-Scope kínálatát.

A V-Scope az órai demonstrációban és a tanulók önálló munkájában

Órai demonstráció során a kísérlet elvégzése után azonnal elemezhetjük a kísérletet tetszőleges szempontok szerint. Ebben sokat segít, hogy a képernyőn a gombok színének megfelelő színnel jelennek meg a nyomképek és a grafikonok. A „Nézd újra!” menüpontban a *kurzorral* a kívánt helyre állhatunk, és az információs ablakban leolvashatjuk a test helyzetét, illetve mozgását jellemző fizikai mennyiségek *koordinátáit*, valamint a pillanatnyi *időértékeket* (2.b ábra). Kiválaszthatjuk, hogy az adatok melyik tartománya alkalmas további feldolgozásra, illetve eldönthetjük, hogy meg kell-e ismételnünk a kísérletet.

Ha van *multimédiához* alkalmas hardverrendszerünk, a monitoron látható nyomképeket, grafikonokat vetítővászonon is megjeleníthetjük, vagy videoszalagra, CD-re, DVD-re rögzíthetjük. Az eredeti élő kísérletekről készült videofelvételek, valamint a V-Scope és a számítógép által előállított ábraanyag felhasználásával oktatófilmet vagy távoktatásban használható multimédiás tananyagot is szerkeszthetünk. Tehát a V-Scope olyan körülmények között is felhasználható az oktatásban, ahol nem állnak rendelkezésünkre a kísérleti eszközök, vagy a didaktikai feladat nem indokolja a kísérlet elvégzését. Ha a számítógéphez nyomtatóval csatlakozunk, kinyomtathatjuk és a tanulók kezébe adhatjuk a V-Scope segítségével vagy a számítógéppel készített egyéb feldolgozások eredményeként megjelenő ábrákat, grafikonokat is. A tanulók önálló (otthoni vagy iskolai) munkáját azzal is segíthetjük, hogy a V-Scope programot számítógépükre telepítjük és a mérési adatokat tartalmazó állományokat rendelkezésükre bocsátjuk. Így feladatul adhatjuk a V-Scope által készített grafikonok elemzését, a kiértékelésre alkalmas adatintervallum meghatározását és a 3. ábrán bemutatott nyomképek, vektorok szerkesztését.

Mivel a V-Scope a testek térbeli helyzetéről tizedmilliméter pontosságú adatokat szolgáltat, nagyon alkalmasnak látszik a mechanika törvényeinek feltárására hivatott kísérletsorozat adatainak felvételére és feldolgozására.

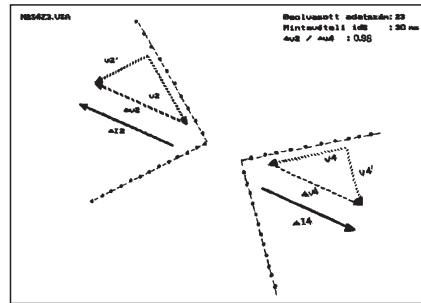
A tömeg és az impulzus fogalmának kialakítása V-Scope segítségével

A *tömeg fogalmát* már sokan és sokféleképpen próbálták bevezetni: vagy a köznapi jelentésnek megfelelő anyagsűrűségre utaló tömegfogalom, vagy a szintén köznapi jelentéssel bíró, a testek tehetetlenségére utaló tömegfogalom kialakítása történik a fizikatanítás során. Az utóbbi elgondolás sok elméleti szakember (kutató) és fizikatanár felfogásával egyezik: a tömeget mint a testek tehetetlenségének mértékét definiálják [2, 8–10]. A V-Scope ehhez, vagyis a *kölcsönhatás során bekövetkező mozgásállapot-változásra* építő fogalomalkotáshoz ad segítséget. A kísérletsorozat ugyanakkor a *lendületmegmaradás törvényéhez* is elvezet.

Legegyszerűbb az egy síkban mozgó, egymással ütköző testek mozgásállapot-változását vizsgálni. Az adatfelvételt, az adatrögzítést és a mérési adatok feldolgozásának jelentős részét elvégzi a V-Scope rendszer. Nekünk az a feladatunk, hogy biztosítsuk az elegendően pontos adatfelvételt, és az adatok kiértékeléséhez olyan eszközökkel és módszerekkel járuljunk hozzá, amelyek a célul tűzött fogalmak és törvények kialakításához vezetnek. Elsőként biztosítanunk kell, hogy a kísérletek során vizsgált testek zárt mechanikai rendszert alkossanak, vagyis a Föld és az alátámasztás, valamint a környező közeg együttes hatása elhanyagolható legyen. Ezért *kísérleteinket vízszintes, légpárnás asztalon végezzük* [2]. A kísérletek során 6 mm vastagságú, $4 \cdot 4 \cdot 2^{1/2}$, $4 \cdot 3^{1/2}$, illetve 8 cm sugarú plexikorongok *páronkénti ütközését* vizsgáljuk a legkülönbébb kezdeti feltételek mellett. Hogy a testek helyzetéről pontos információt szerezhessünk, az adóvevő gombokat a korongok közepére illesztjük. A rendszert úgy állítjuk be, hogy a légpárnás asztal síkja az (X, Y) sík legyen. Így, ha a korongok az asztal (X, Y) síkjában mozognak, a mérési adatok között a korongok tömegközéppontjainak (K_x, K_y) koordinátái is szerepelnek. Ha a továbbiakban a korongok helyzetéről beszélünk, akkor a tömegközéppontjaik (X, Y) síkbeli koordinátáira gondolunk. A mintavételi idő 30 ms.

A korongok pályájának megjelenítésére a V-Scope rendszer fel van készítve. A nyomkép megjelenése a képernyőn hitelessen teszi a kísérletet és a későbbi számításokat, de a kvantitatív kiértékeléshez ez kevés. Ezért a V-Scope által szolgáltatott adatokat *.vsa állományba mentjük el, s innen hívjuk elő a számítógépes feldolgozáshoz. Ennek során egy Turbopascal programozási nyelven megírt program segítségével megjelenítjük a képernyőn a tömeg fogalmának kialakításához szükséges mérési adatokat, a belőlük kiszámolt és megszerkesztett fizikai mennyiségeket. A *vektormennyiségek* jelölésére *félkövér, dőlt betűket* (\mathbf{a} , \mathbf{b} , ... stb.) használunk.

A 3. ábrán a mintegy száz elvégzett ütközési kísérlet egyikének megjelenítési fázisai láthatók. A 3.a ábra az ütköző korongok nyomképét mutatja. A 3.b ábrán azok az egyenesek láthatók, amelyeket a nyomképre – a legkisebb négyzetek módszerével – illesztettünk. A 3.c ábrán a korongok ütközés előtti \mathbf{v} és ütközés utáni \mathbf{v}' sebességei láthatók. A 3.d ábra az ütköző korongok $\Delta\mathbf{v}$ sebességváltozását mutatja. A képernyő jobb felső sarkában a



4. ábra. A 2. sz. és 4. sz. korongok sebesség- és impulzusváltozása.

kölcsönható partnerek sebességváltozásainak hányadosa olvasható. Példánkban a 2. sz. és az 5. sz. korong ütközött, az ábrákon erre utalnak az indexek. Jól látható, hogy a két test sebességváltozása párhuzamos és ellentétes irányú. Az ábrából leolvasható, hogy a két test sebességváltozásának aránya:

$$\frac{|\Delta\mathbf{v}_2|}{|\Delta\mathbf{v}_5|} = 1,824.$$

A kísérletet több korongpárral többször is elvégezve, a 3.d ábrához hasonló eredményre jutunk. A mérések, számítások és szerkesztések alapján a következő megállapításokat tehetjük a párkölcsönhatásban résztvevő testekre vonatkozóan:

1. A kölcsönhatásban résztvevő két (A és B) test *sebességváltozása ellentétes irányú*:

$$\Delta\mathbf{v}_A \uparrow \downarrow \Delta\mathbf{v}_B;$$

2. A kölcsönható partnerek *sebességváltozásainak hányadosa a testpárra jellemző állandó*, nem függ a kölcsönhatás módjától:

$$\frac{|\Delta\mathbf{v}_A|}{|\Delta\mathbf{v}_B|} = \text{konst.}$$

3. A testpárokra jellemző állandók nem függetlenek egymástól. Ha az A és B test kölcsönhatásában bekövetkező sebességváltozások nagyságának aránya n , és a B és C testek kölcsönhatásában bekövetkező sebességváltozások nagyságának aránya k , akkor az A és C testek kölcsönhatásában fellépő sebességváltozások nagyságának aránya nk . Azaz,

$$\text{ha } \frac{|\Delta\mathbf{v}_A|}{|\Delta\mathbf{v}_B|} = n, \text{ és } \frac{|\Delta\mathbf{v}_B|}{|\Delta\mathbf{v}_C|} = k, \text{ akkor } \frac{|\Delta\mathbf{v}_A|}{|\Delta\mathbf{v}_C|} = nk.$$

Azt a testet, amelynek a párkölcsönhatásban kisebb a sebességváltozása, köznapi kifejezéssel élve tehetetlenebbnek nevezzük. A tehetetlenség a testek tulajdonsága, a jellemzésére szolgáló fizikai mennyiség a tömeg. *A tömeg a test tehetetlenségének mértéke, jele: m* . Ezek alapján kijelenthetjük, hogy annak a testnek nagyobb a tömege, amelynek a párkölcsönhatás során kisebb a sebességváltozása. Kiválaszthatunk egy testet (*tömegetalon*), amelynek a tömegét egységnyinek tekintjük: $m_0 = 1$ te. Ez kísérletünkben lehet például a 2. sz. korong: $m_2 = 1$ te. A többi test tömegéhez az

$$m_i = \frac{|\Delta \mathbf{v}_2|}{|\Delta \mathbf{v}_i|} \cdot 1 \text{ te.}$$

Példaként idézett kísérletünkben a 2. sz. és az 5. sz. test ütközött. A sebességváltozások nagyságának hányadosa 1,824, vagyis az 5. sz. test tömege 1,824 te. A 2. sz. és a 4. sz. test ütközése esetén (4. ábra) a sebességváltozások nagyságának hányadosa 0,98, a hibahatáron belül 1-nek vehető. Így azt mondhatjuk, hogy a 2. sz. és a 4. sz. korong egyformán tehetetlen, vagyis tömegük (közel) egyenlő. Nemzetközi megállapodás szerint a *tömegetalon* 1 kg tömegű ($m_0 = 1 \text{ kg}$). Ütközési kísérletek alapján a többi test tömegét az

$$m_i = \frac{|\Delta \mathbf{v}_0|}{|\Delta \mathbf{v}_i|} \cdot 1 \text{ kg}$$

összefüggés szerint kapjuk.

A 3. tapasztalat biztosítja, hogy ha két testnek meghatároztuk a tömegét a tömegetalonnal való ütközések révén, akkor az így meghatározott tömegek hányadosa helyesen adja az egymással ütköző testek sebességváltozásának arányát:

$$\frac{|\Delta \mathbf{v}_2|}{|\Delta \mathbf{v}_5|} = \frac{m_5}{m_2}.$$

Megadhatjuk a tömeg definícióját a tömegetalonnal való hivatkozás nélkül is: az A test tömege n -szerese a B test tömegének, ha ütközésük során a B test sebességváltozásának nagysága n -szerese az A test sebességváltozásának, azaz

$$\frac{m_A}{m_B} = n, \text{ ha } \frac{|\Delta \mathbf{v}_B|}{|\Delta \mathbf{v}_A|} = n.$$

Az empiriához folyamodva, digitális mérleggel is megmértük a 2. és 5. sz. korong és a rájuk rögzített adó-vevő gombok együttes tömegét és kiszámítottuk hányadosukat:

$$\frac{m_5}{m_2} = 1,816$$

érték adódott, ami alig fél százalékos eltérést mutat az ütközés során bekövetkezett sebességváltozások nagyságának hányadosától:

$$\frac{|\Delta \mathbf{v}_2|}{|\Delta \mathbf{v}_5|} = 1,824.$$

Tehát a mérleggel történt tömegmérés eredményét elfogadhatjuk.

Most visszatérhetünk a kísérletek grafikus feldolgozásához, és megtekinthetjük a 3.e ábrát. Ezen az látható, hogy a párkölcsönhatásban résztvevő korongok sebességváltozásának és tömegének szorzata két egyenlő nagyságú, ellentétes irányú vektor: $m_2 \Delta \mathbf{v}_2 = -m_5 \Delta \mathbf{v}_5$. Ez az eredmény adódik a többi testpárra is. Általában igaz:

$$m_A \Delta \mathbf{v}_A = -m_B \Delta \mathbf{v}_B.$$

Ha a sebességváltozásokat a kölcsönhatás előtti \mathbf{v} és kölcsönhatás utáni \mathbf{v}' sebességekkel fejezzük ki, az

$$m_A(\mathbf{v}'_A - \mathbf{v}_A) = -m_B(\mathbf{v}'_B - \mathbf{v}_B),$$

illetve átrendezés után az

$$m_A \mathbf{v}'_A + m_B \mathbf{v}'_B = m_A \mathbf{v}_A + m_B \mathbf{v}_B$$

egyenlethez jutunk.

Az itt szereplő $m\mathbf{v}$ vektormennyiséget az m tömegű, \mathbf{v} sebességű tömegpont *impulzusának* (lendületének) nevezzük és \mathbf{I} -vel jelöljük. Ezek után kísérleti tapasztalatainkat az alábbiak szerint összegezhettük:

1. párkölcsönhatásban mindkét korong impulzusa megváltozik.

2. Az impulzusváltozások egyenlő nagyságúak és ellentétes irányúak:

$$\Delta \mathbf{I}_A = -\Delta \mathbf{I}_B.$$

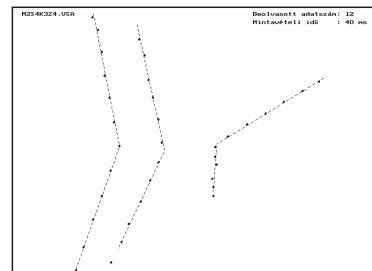
3. A két korongból álló rendszer összes impulzusa nem változik:

$$\mathbf{I}_A + \mathbf{I}_B = \mathbf{I}'_A + \mathbf{I}'_B.$$

Így eljutottunk a *párlölcsönhatásra vonatkozó impulzusmegmaradás törvényéhez*.

Jelen kísérleti körülmények között (a rendszer három helyzetjelző gombbal rendelkezik) legfeljebb három testre vonatkozóan tudunk megállapításokat tenni. Az 5. ábrán olyan ütközési kísérlet nyomvonalai láthatók, amelyben három kölcsönható partner vett részt (két egymáshoz rögzített és egy magányos korong ütközött). Ekkor az összeillesztett korongok tömegközéppontjának „nyomvonalát” kell megszerkesztenünk, és a sebesség- és impulzusváltozás-vektorokat is ehhez kell rendelnünk. Természetesen nemcsak haladó mozgást, hanem forgó- vagy rezgőmozgást, illetve tetszőleges – az érzékelő gombok sérüléséhez nem vezető – mozgást végző testekre vonatkozóan is végezhetünk méréseket. Feltárhatunk különböző (gravitációs kölcsönhatásra, rugalmas kölcsönhatásra, közegeellenállásra, súrlódásra vonatkozó) erőtvényeket. Mivel a V-Scope rendszer néhány milliszekundumonként tízedmmilliméter pontosságú adatokat szolgáltat a testek helyéről, a segítségével feltárt és igazolt törvényeket a newtoni mechanika leírására elfogadhatjuk.

5. ábra. Három ütköző korong nyomvonala.



Irodalom

1. Demonstrációs alapkészlet az általános iskola 6–8. osztályos fizika tanításához – TANÉRT, Budapest, 1983.
2. DEDE M., DEMÉNY A., JUHÁSZ S.: *Newton törvényei fényképeken* – Fizikai Szemle 23/6 (1973) 44
3. *Fizikai kísérletek gyűjteménye* (szerk.: Jubász A.) – Tankönyvkiadó – TypoTEX, Budapest, 1992.
4. R. WODINSKI, H. WIESNER: *Einführung in die Mechanik über die Dynamik* – Physik in der Schule (Berlin) 32/4,5,6 (1994)
5. W. OEHME, G. SCHNELLENBERG: *Annäherung der Durchschnittsgeschwindigkeit an die Augenblicksgeschwindigkeit – ein experimentelles Problem?* – Physik in der Schule (Berlin) 31/11 (1993) 389
6. H.-D. KOLWIG, V. RICHTER: *Computerunterstützte Experimente in der Mechanik mit der Glasfabrban* – Physik in der Schule (Berlin) 31/2 (1993) 61
7. Lipman Electronic Engineering Ltd.: *Owner's Guide VS-100* – Ramat-Hahayal, Israel, 1995.
8. M. RONEN, A. LIPMAN: *A vektorszóóp* – Fizikai Szemle 54/11 (1995) 395
9. G. SHORTLEY, D. WILLIAMS: *Principles of College Physics* – Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1967, pp. 52–55
10. DEDE M.: *Mechanika I.* – Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
11. P. WOLFRAM: *Bemerkungen zum Begriff „Masse“ in der Schulphysik* – Physik in der Schule (Berlin) 33/2 (1995) 51
12. FARKAS ZS.: *A vektorszóóprendszer alkalmazása a kinematikában* – Fizikai Szemle 54/11 (2004) 345

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

FRAKTÁLOK

Ha körülnézünk a szobánkban, elsőre csupa ismerős, szabályos, „euklideszi” formát látunk: az asztal lábai hasáb vagy henger alakúak, a teteje egy négyzet, vagy téglalap, a kicsit komplikáltabb tárgyak, mint például egy telefon vagy számítógép is néhány egyszerű forma kombinációjából áll. Persze ha szemünk rátéved a falon függő tájképre, már változik a helyzet, hiszen azon általában mindenféle kusza, cizellált formák is előfordulnak: a felhők pereme többnyire nagyon kacskaringós, és a bokrok, fák, hegygerincek ábrázolásai is gazdag, szabálytalan részleteket tartalmaznak.

Tehát az ember egyszerű, szabályos alakú tárgyakat készít, de az élő és élettelen természetben tipikusan nem szabályos, egyszerű formák fordulnak elő, hanem sokkal jellemzőbb rájuk a sok kis részlet, az adott szabályszerűség szerint ismétlődő mintázat. A komplikált alakzatok geometriájának ugyanis megvannak a saját törvényei. Döntő többségük *önbasonló*, ami azt jelenti, hogy egy kis részletük közelről nézve olyan, mint az egész objektum.

Képzeljünk el egy tipikus, nagyméretű fakoronát, ahogy az télen kinéz: nagyon bonyolult, hiszen sok ezer kisebb-nagyobb ágat tartalmaz. Ha most képzeletben kiragadjuk a fa valamelyik ágát, és éppen annyival nézzük közelebből, mint ahányszor kisebb, mint az eredeti fa, akkor nagyjából (úgy mondjuk: statisztikai értelemben véve) ugyanazt látjuk, mintha az eredeti fát néznénk. Ezt a tulajdonságot hívjuk *önbasonlóságnak*, és a tipikus *fraktálok önazonosak*. Ha ugyanezt valamilyen egyszerűbb alakzattal próbáljuk megcsinálni, nagyon mást tapasztalunk. Vegyünk például egy számot, a 8-at. „Középtávolságról” egy értelmes jelet, magát a számot látjuk. Ha kivágjuk egy részét, akkor vagy egy kis x-szerűséget, vagy valamiféle görbe vonaldarabot kapunk. Aztán meg, minél közelebből nézzük (minél kisebb darabját vágjuk ki), annál inkább kezd hasonlítani az, amit látunk, egy egyenes vonaldarabkára. Ezeket azután hiába nagyítjuk fel az eredeti 8-as méretére, az alakjuk teljesen más lesz.

A mellékelt képet ennek a cikknek az írása közben készítettem (lementem az utcára és kerestem egy a célnak megfelelő fát, majd egy képszerkesztővel kivágtam és felnagyítottam belőle részeket), ezzel is próbálván demonstrálni, hogy mennyire spontán módon kerülhetünk kapcsolatba fraktálokkal, és győződhetünk meg geometriájuk önazonosságáról.

Ha most a hagyományos eszközeinkkel jellemezni akarnánk a fa geometriáját, és a burkolójára koncentrálnánk, gömbszerűnek neveznénk, míg ha az ágacskákat tartanánk jellemzőbbnek, akkor inkább a vonal fogalmát használnánk, bár nyilvánvaló, hogy a valódi szerkezet valahol a kettő között van. A gömb háromdimenziós, a vonal egydimenziós, de hány dimenziós a fa koronája? Képzeljünk most el, hogy az alakzataink kis egységekből állnak. Ha most összehasonlítjuk, hogy egy kétszer akkora lineáris kiterjedésű vonalban hányszor több részecske van, azt találjuk, hogy kétszer annyi. Egy kétszer akkora kiterjedésű (átmérőjű) gömbben pedig nyolcszor annyi részecske van, mert a közönséges objektumokban levő részecskék száma $N(L)$ (tömegük, térfogatuk) a kiterjedésük (L) egész számú hatványával nő:

$$N(L) \sim L^d \quad (d = 1, 2 \text{ vagy } 3),$$

ahol \sim az arányosság jele. Ha azonban most elképzeljük, hogy a fa koronájának egyre nagyobb kiterjedésű részeiben határozzuk meg a „részecskék” számát (az ágakat úgy tekinthetjük, mintha egységnyi térfogatú kis részekből áll-

