

Tanulói tévképzetek a fizikában

Doktori értekezés

Kuczmann Imre

Témavezető: Dr. Tasnádi Péter egyetemi tanár

Fizika Doktori Iskola

Vezető: Dr. Tél Tamás

Fizika Tanítása Doktori Program

Vezető: Dr. Tél Tamás

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

2018

Tartalom

1. Bevezetés	6
1.1 A dolgozat szerkezete	7
2. A tévképzetek meghatározása és típusai	9
2.1 A definíció kérdése	9
2.2 Történeti vonatkozások.....	11
2.3 Jellegzetes tanulói tévképzetek.....	13
2.4 A tévképzetek osztályozása	18
2.5 Megjegyzés a kvantumelmélet interpretációjához	21
3. A kutatás célja és módszerei.....	24
3.1 A mechanikateszt jellemzése	26
3.2 A hidrosztatikai teszt jellemzése	27
4. A mechanikateszt főbb eredményei és tanulságai	29
4.1 A csoportok bemutatása	29
4.2 A kérdésekre adott válaszok statisztikája	30
4.3 A tévképzetek tükröződése a válaszokban	32
5. A hidrosztatikateszt főbb eredményei és tanulságai	35
5.1 A csoportok eredményei és a tévképzetek megjelenési formája.....	35
5.2 A válaszokban megjelenő tévképzetek okainak elemzése	36
6. A tévképzetek okai	41
7. Az eredmények alapján megfogalmazott tézisek.....	45
7.1 A lényeges információk birtoklásának kérdése	45
7.2 Az egymáshoz szorosan kötődő ismeretek kérdése	47
7.3 A tananyagban fellelhető teljes gondolati ívek szerepe.....	49
7.4 Az alapelvek megerősítő szerepe.....	52

7. 5 A tévképzetek kialakulásának korai megelőzése	54
7. 6 Az információk kritikus elemzésének fejlesztése	56
7. 7 Informatikai eszközök használata a tévképzetek leküzdésében	58
7. 8 A tévképzetek definíciója	58
7. 9 A szemléletesség és a szavak megválasztásának jelentősége	60
8. Az ismeretek elsajátításának elektronikus támogatása	62
8. 1. Az appletek létrehozása és jellemzése	63
8. 2. Az elektronikus mechanikakönyv tartalma	64
8. 3. Az elektronikus hidrosztatika-könyv tartalma	66
8. 4. Az elektronikus optika és atomfizika könyv tartalma	69
9. Egyes források kritikus elemzése	72
9. 1 Régebbi fizikakönyvek	72
9. 2 Közelmúltban írott fizikakönyvek	79
9. 3 Megjegyzés a tehetetlenségi erőkhöz	85
9. 4 Külföldi fizikakönyvek	88
9. 5 A források elemzéséhez fűzhető gondolatok	91
9. 6 A szemléletesség és szóhasználat jelentősége	92
10. Összefoglalás	97
11. Mellékletek	99
11. 1 Az elektronikus mechanikateszt	99
11. 2 A tanulók eredményeinek csoportonkénti összesítése a mechanikatesztben	106
11. 3 A mechanika területén végzett kutatás statisztikája	112
11. 4 A tanulók válaszadásának következetessége a mechanikatesztben	113
11. 5 Csoportok közti korrelációk	116
11. 6 A hidrosztatika teszt	122
11. 7 A hidrosztatikatesztben megfigyelt tévképzetek gyakorisága	126
11. 8 A tanulók válaszadásának következetessége a hidrosztatikatesztben	127

Függelék: A mérés reliabilitása és validitása	130
Irodalomjegyzék	132
Köszönetnyilvánítás	137
Summary	138

1. Bevezetés

Dolgozatomban a fizika tanítását befolyásoló jellegzetes jelenséggel, a tanulói tévképzetekkel foglalkozom. Ezek nem véletlenszerűen előforduló tanulói tévedések, hanem olyan hibás elképzelések, amelyekre az elsajátítandó témakör bizonyos okoknál fogva esélyt ad. Akadályozzák a tanulási folyamatot, hiszen a tanuló megértettnek hisz bizonyos kérdéseket, azt hiszi, hogy eleget tud az adott kérdés megítéléséhez. Képes is a nézeteit alátámasztani, az indokok viszont csak látszólag helyesek, ellentmondanak a tudományosan megalapozott ismereteknek.

Tévképzetek bármely tantárgy oktatása során felbukkanhatnak. A fizikán kívül ismerünk a matematika, kémia, biológia vagy földrajz tárgykörébe sorolható tévképzeteket is [1] [2] [3] [4] [5], nem is beszélve a társadalomtudományok, pl. történelem területén fellelhető tévképzetéről. Számon tartjuk őket, mert viszonylag gyakoriak és lényeges negatív hatást gyakorolnak a tantárgy oktatására. Ha nem figyelünk fel rájuk és nem helyesbítjük őket, akkor a tanítási folyamat fontos részei válhatnak formálissá és értelmetlenné, hiszen a tévképzetek gyakran éppen a kulcsfontosságú ismeretekkel állnak konfliktusban. Építkezni pedig csak biztos alapokon nyugvó ismeretekre érdemes.

A tévképzetek alátámasztottsága igen sokféle lehet. Tévképzetet eredményezhet valamilyen rosszul értelmezett köznap megfigyelés, de szó lehet mások véleményének az elfogadásáról is (barátok, média stb.). A tanuló saját előismereteiből kiindulva gondolati úton is alakíthat ki tévképzetet. Az eredmény az, hogy a tévképzettel rendelkező személy olyan véleményt formál, amely *csak látszólag* fedi a valóságot.

Új ismeretek elsajátítása során természetes, hogy nem alkotunk rögtön tökéletes képet a kérdésköréről. Az esetek többségében ennek nincs különösebb jelentősége, mert az idő múlásával a kép fokozatosan tisztul. A tévképzetek esetében azonban többről van szó. A látszólagos alátámasztottság miatt a tanulót nehéz a tévképzetétől megszabadítani. A tévképzetek általában makacsul tartják magukat.

Tévképzetekkel a tanulók már iskolába lépés előtt rendelkezhetnek, és a fizika, mint tantárgy oktatásának megkezdésekor már nagy valószínűséggel rendelkeznek is. Megfigyelik a környező világ jelenségeit, néhányan már el is gondolkodnak a jelenségek igazi okán. Szerencsés esetben megfelelő választ kapnak az általuk megfogalmazott kérdésekre, de ez el is maradhat, vagy helytelen is lehet.

Az iskolai oktatás szervezeten igyekszik a tanulók ismeretkörét bővíteni a fokozatosság és ciklikusság elvének megfelelően. A legalacsonyabb évfolyamokban egyes tantárgyak (pl. természetismeret) a fizikaoktatást előkészítő és megalapozó szerepet is játszanak. Az előkészítő folyamatban zajló lehetőségeket nem szabad lebecsülnünk, ugyanis nehezebb egy hibát kijavítani, mint elkerülni.

1. 1 A dolgozat szerkezete

Dolgozatom egyes fejezeteiben beszámolok a tévképzetek vizsgálata során szerzett tapasztalataimról, összefoglalom eredményeimet és eszközöket ajánlok fel a tévképzetek elleni harchoz. A tesztek útján szerzett eredmények kapcsán vizsgálom a tévképzetek felbukkanásának okait és kiküszöbölésük módját. Különös figyelmet szentelek az *elsajátítandó ismeretek szerkezetének*, amelyből kiindulva gyakorlati útmutatásokat nyújtok a tévképzetek leküzdéséhez. Ez a megközelítés a tévképzetek mélyebb megértését is segíti. Céлом, hogy munkám eredményei felhasználhatók legyenek az iskolai oktatás folyamatában.

A bevezető jellegű 2. és 3. fejezet után a 4. és 5. fejezetben a tanulók körében végzett kutatómunkám eredményei és a belőlük levonható fő következtetések találhatók. A tévképzetek keletkezésének módját a mechanika két területén, a testek mozgása területén és a hidrosztatika területén elemzem. Megállapításaim a téziseimet is megalapozzák.

A 6. fejezetben a tévképzetek okaira vonatkozó meglátásaim szerepet játszanak a tévképzetek definíciójára vonatkozó, 7.9. pontban tett javaslatom alátámasztásában is.

A 7. fejezetben bemutatom téziseimet és az eredmények felhasználási módját. Munkám központi gondolatát az ismeretek szerkezetének szerepére vonatkozó, 7.5. pontig terjedő tézisek alkotják. A 7.6. és 7.7. pontokban *a tévképzetek kérdésére vetitek* bizonyos általános nevelési elgondolásokat. A 7.8. pont az információs technológiák felhasználására (informatikai segédleteim bemutatására) irányul, ennek részletes kifejtése az önálló 8. fejezetben található. A hetedik fejezet zárásaként részletesen elemzem a tévképzetek definíciójának kérdését, és javaslatot teszek egy újabb definícióra.

Az általam készített informatikai segédletek lehetőséget nyújtanak a kulcsfontosságú ismeretek virtuális kísérletezéssel egybekötött elsajátítására vagy elmélyítésére. Megtekinthetők az interneten Geogebra-könyv formájában, de bemutatom őket az elektronikus mellékletben is.

Mivel azok a források, amelyekből a tanulók az ismereteiket szerzik, szerepet játszanak a tévképzetek megelőzésében, cáfolatában és esetleg felbukkanásában is, a 9. fejezetben

tankönyveket, szakkönyveket vizsgálók. Elemzem a kiválasztott források szerkezeti összefüggéseit és azt, hogy milyen módon járulnak hozzá a tévképzetek megelőzéséhez.

Az elvontabb és összetettebb témakörökben kimagaslóan nagy esélye van tévképzetek megjelenésének. Ilyen terület a kvantummechanika, de az irodalom a modern fizika területén általában is sok tévképzetet említ. Néhány esetet dolgozatomban is érintek, a források elemzése kapcsán pedig tézisbe foglaltan értekezem a szemléletesség és a szavak megválasztásának jelentőségéről. A megvitatott kérdések a tévképzetek definíciójára tett javaslatomat is alátámasztják.

2. A tévképzetek meghatározása és típusai

A tévképzetek tanulmányozása több évtizeddel ezelőtt kezdődött. Már 1943-ból találunk olyan cikkeket, amelyek sorolják a legkülönbözőbb tévképzeteket [6] [7]. Több velük kapcsolatos cikket olvashatunk az 1980-as és 1990-es évekből [8] [9] [10] [11] [12]. A tévképzetekkel foglalkozó cikkek kategorizálják a tévképzeteket, statisztikailag értékelik a vizsgálatok eredményét, keresik a tévképzetek okait és az ellenük való küzdelem módjait. Néha tágabb, néha szűkebb jelenségek közt vannak be a vizsgálatba. A tanulók nehézségeit gyakran a pedagógiai pszichológia és kognitív pszichológia szemszögéből közelítik meg. Ilyen megközelítésről és a tévképzetekre vonatkozó kutatás négy fő irányának eredményeiről számol be pl. [2]. Ebben az irányzatban központi szerepet játszik a *fogalmi váltás*.

2.1 A definíció kérdése

A tévképzetekkel foglalkozó cikkek általában nem törekszenek kifejezetten arra, hogy definíciószerűen rögzítsék, mit értenek tanulói tévképzeteken. Ez bizonyos fókig érthető a téma széles területet felölelő jellege miatt. Ilyen körülmények között a szerzők a tévképzeteket néha konkrétan és részletesebben, néha pedig csak nagyobb vonalakban határozzák meg. Találkozunk rövid meghatározással, amelyben a szerző a tanulók „nem tudományos elképzeléseit” tekinti tévképzeteknek – lásd [13], vagy olyan definícióval, amelyben a szerző a tévképzeteket mint a tudományosan elfogadott ismereteknek ellentmondó hiedelmeket adja meg [14]. Ezek a meghatározások a tévképzet alátámasztottságát nem említik, tehát a jelenségek tágabb körére engednek következtetni. Ha szó szerint vesszük és kiragadjuk őket a szövegkörnyezetükből, akkor minden helytelen nézetet a tévképzetek közé sorolhatunk, ez pedig nem célszerű. Az egyik ilyen definíció szerint tévképzet lenne pl. az, hogy egy atom mérete kb. a milliméter század része, vagy hogy az erők összeadásakor az erők nagysága mindig összeadódik. Persze ha belegondolunk, hogy a tévképzetekről általában mint kiterjedt vagy kevésbé kiterjedt tartalmú fogalmakról, esetleg elméletekről esik szó (angol nyelven pl. *misconception*, de van *misinterpretation*, *conceptual primitives*, *common sense concepts* vagy *common sense beliefs*, *students' preconceptions* stb.), akkor ezek a példák nem hozhatók fel, mert „fogalmon” nem egyszerű adatismeretet kell érteni. A szerzők néha egy íráson belül is szinonimaként váltogatják a megnevezéseket, mintegy visszatükrözve azt, hogy nincs határozottan megfogalmazott definíció és rögzített elnevezés. A legáltalánosabban használt szó angolban mindazonáltal a „*misconception*”.

Egyes szerzők írásaiból visszatükröződik az is, hogy a tévképzetek fogalmába célszerű a tévképzet látszólagos indokoltóságát is beleérteni [15] [8]. Ez helyénvaló, hiszen a tévképzeteknek az iskolai oktatás keretén belül éppen a nehéz kiküszöbölhetőség miatt jut különleges szerep, ami nem képzelhető el valamilyen komolynak látszó, de mégis csak helytelen indokoltóság nélkül.

Ha hiedelemről beszélünk, akkor is csak kissé más a helyzet. Hiedelem lehetne pl. az, hogy a világűrben léteznek féreglyukak, vagy hogy az időben oda-vissza lehet utazni.

A tévképzetek definícióját gyakran egyszerűen a tévképzetek tulajdonságainak a felsorolásával helyettesítik. Négy tulajdonságot ad meg pl. David Hammer [16], mely szabad fordításban így vázolható:

- I. A tévképzetek igen tartós kognitív szerkezetek
- II. Eltérnek a szakszerű elképzelésektől
- III. Kifejezik, hogy milyen elképzelése van a tanulóknak a természeti jelenségek tudományos magyarázatáról
- IV. Ahhoz, hogy a tanuló elképzelései szakszerűvé váljanak, közömbösíteni kell őket, le kell őket küzdeni.

A tévképzetek részét képezik az általános értelemben vett téves elképzeléseknek. Téves elképzelések azért alakulhatnak ki, mert adott kérdést adott személy nem dolgozott fel jól, esetleg nincs is elégséges áttekintése a kérdésről. Ha fontos tények hiányában mégis kialakít valamilyen elképzelést, akkor az *naiv elképzelés*. Ilyenek jellemzően kiskorúak körében mutathatók ki, pl. „minden mozog, ami él, következésképpen az atomok is élnek”. Nem sorolom őket a tévképzetek közé, mert esetükben elég a dolgok egyszerű rendbetétele, tapasztalati alátámasztottságukkal nem kell komolyan számolni. A naiv elképzelések feloldása nem szükségszerűen bonyolult, a helyzet a hiányzó információ megadásával egyszerűen orvosolható. Ezt tesszük, például amikor tisztázzuk a légnyomás szerepét a szivattyúzásban és megmagyarázzuk, miért nem lehet 10 méternél magasabbra felszívni a vizet. A szükséges ismeretek feltárásával ekkor annak a tévképzetnek a feladását érzük el, hogy „a természet irtózik a vákuumtól”. A naiv elképzeléseket és a tévképzeteket [2] is különválasztja.

Naiv elképzelésnek tekinthető az a korai elképzelés is, hogy az atomot viszonylag egyenletesen tölti ki a pozitív töltés és benne negatív töltések helyezkednek el, mint a pudingban a mazsolaszemek („pudingmodell”, vagyis Thomson-féle atommodell, az atommag felfedezését megelőzően). Egy naiv elképzelés akkor kezd tévképzetté átminősülni, amikor az egyén számára már ismertnek kellene lenni a képzet ellen szóló érvek, mert azt a tudomány már hozzáférhetővé tette.

A téves elképzelések körét szűkítve eljuthatunk az igazi tévképzetek kategóriájához. Esetükben párhuzamosan vannak jelen és állnak rendelkezésre a jelenség lényegét nem mutató, hamis irányba vezető tények és a helyes irányba mutató ismeretek. A heliocentrikus világkép megszületése után sem lehet pl. egyhelyben állva érzékelni a Föld mozgását, és úgy tűnik, hogy a Nap végighalad az égbolton.

A példákból kitűnik, hogy tévképzetet nem úgy hoz létre valaki, hogy az kétségbe vonjon valamilyen kísérleti eredményt, hanem egyszerűen csak rosszul ért meg valamit. A tévképzetek éppen ezért cáfolhatók is. Nem véletlen, hogy a tévképzetek felszámolásának hatékony eszköze a kísérletezés. A szabadesés gyorsulásának tömegfüggésére vonatkozó tévképzetet pl. cáfolhatjuk a vákuumban eső tárgyakról készített videóval, a túsugárzás hipotézisével szembeállíthatjuk Selényi Pál nagyszögű interferenciakísérletét [S1], stb.

A tévképzettel rendelkező személy gondolatrendszerében (nézetem szerint ez a döntő!) létezik olyan egyszerű vagy összetettebb indok, amely a téves elképzelést alátámasztja. Ha a nehezen javítható tanulói elképzelésekre akarunk mint igazi tévképzetekre tekinteni, akkor az indokoltságot feltétlenül a tévképzet velejárójának kell tekintenünk. Nem vonhatjuk bele a tévképzetek fogalmába a kifejezetten rosszul, vagy „a lecke elhanyagolása” miatt tévesen levont következtetéseket. Ezek nem mélyen gyökerező elképzelések, hiszen különösebb akadály nélkül, szokványos tanulással kijavíthatók. A tévképzetet a tanuló ezzel szemben „régebről” hozza, a kérdéses jelenséggel kapcsolatban már rendelkezik elképzeléssel, az ügyet „elintéztnek” hiszi.

A tanulók gondolatvilágában gyakran ugyanolyan téves elképzelések jelennek meg, mint amilyenek valamikor a fizikai elméletek fejlődése során is felmerültek [17]. Azonban az ismeretek akkori hiányos volta miatt nem sorolhatunk minden egykori téves elképzelést a tévképzetek közé, hiszen sok közülük az adott időben nem állt ellentétben valamilyen általánosan elfogadott tudományos elképzeléssel. Az ilyenek inkább csak tartalmilag emlékeztetnek a mai tanulói tévképzetekre. Éles határt vonni viszont a két kategória közt nem lehet, mert a szakértői tudással rendelkezők is kerülhetnek ideiglenesen olyan helyzetbe, hogy nem kellően tájékozottak, rosszul választják meg a szempontjaikat, nem a fontos tényeket tartják lényegesnek. Érdekes viszont, hogy ilyen helyzetben a szakértők (kutatók) legalább annyira ellenállóak a változtatással szemben, mint a tanulók [8].

2. 2 Történeti vonatkozások

A tévképzetek története szempontjából célszerű áttekinteni, hogy a történelem során a vezető tudósok milyen téves elképzelésekkel küszködtek a fizika területén. A fizikusok

tévedéseire tanulságos példákat mutat be Robert E. Krebs [18], aki többek közt Arisztotelész, Galilei, Descartes és Newton munkásságát taglalja ilyen szempontból. Nem gondolhatjuk, hogy az érintett tudósok elítélőek lettek volna az új elméletekkel szemben. Nézzük Robert E. Krebs példáit.

Arisztotelész (görög filozófus, időszámításunk előtt 384 – 322) több tudományággal foglalkozott, így pszichológiával, etikával, logikával, matematikával és biológiával is. Fontosnak tartotta, hogy az ember a következtetéseit megfigyelésekre alapozza. Rámutatott az ok-okozati törvény jelentőségére. A mozgásokra viszont úgy tekintett, mint amelyek csak valamilyen hatásnak köszönhetően maradhatnak fenn. A szóban forgó hatást szokás az *impetus* szóval jelölni (ez már középkori fogalom). Az impetus egyfajta belső mozgóerőt jelent (a szó szerinti jelentése 'lendület'), amit egy testnek át lehet adni, de amely fokozatosan el is használódik, aminek következtében a test végül megáll. Arisztotelész mozgástanából tehát hiányzott a tehetetlenség törvénye. Bizonyára nem látta át a súrlódás jelentőségét. Abban is hitt, hogy az elejtett tárgyak közül a nehezebbek érnek előbb a földre [18]. Nyilván nem is igyekezett ennek az állításnak a kísérleti ellenőrzését elvégezni. Newton idejéig a mozgások magyarázata megfelelt az arisztotelészi fizika szellemének. Ez példa arra, hogy egy tévképzet egy teljes nézetrendszer – esetünkben a mozgástan – alapjait is átszőheti.

Galileo Galilei (1564 – 1642) munkássága az arisztotelészi fizika hiányosságainak kiküszöbölése irányult és áttörést jelentett [8]. Galilei az asztronómia mellett matematikai és mechanikai kérdéseket is vizsgált, pl. a testek esését és a lövedékek mozgását. Felismerte a tehetetlenség törvényét és az erő szerepét a mozgásállapot megváltoztatásában. Tévedett viszont abban, hogy a fény sebességét végtelennek hitte [18].

René Descartes (1596 – 1650) analitikus geometriával és filozófiával foglalkozott. Megpróbálta magyarázni a tehetetlenség törvényét, de úgy hitte, hogy a törvény működését a mozgó testet körülvevő levegő biztosítja – lásd a Párbeszédhez írt kommentárt. Ebből kifolyólag azt képzelte, hogy ha a levegőt fokozatosan eltávolítjuk a test környezetéből, akkor az fokozatosan lelassul. A gravitációs, mágneses stb. jelenségeket igyekezett mechanikai fogalmakra visszavezetni [18].

Isaac Newton (1642 – 1727) munkájára Kopernikusz, Kepler és Galilei is hatással volt. 1687-ben tette közzé *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* című nagy jelentőségű művét, mely a mai értelemben foglalja magába a mechanika alaptörvényeit. Egyik legfontosabb hozzájárulása a fizika fejlődéséhez a gravitációs törvény megalkotása volt. Az optikában a korpuszkuláris elméletet képviselte, tehát a fényt részecskék mozgásának hitte.

Newton a teret és az időt egymástól függetlennek és abszolútnak tekintette. A relativitáselmélet alapján tudjuk, hogy ezt csak a fénysebességhez képest kis relatív sebességek esetén lehet megtenni.

Kétségtelen, hogy a fejezet elején megadott meghatározás szerint az említett tudósok egyes téves elképzeléseit nem tekinthetjük tévképzeteknek, hiszen az adott korban nem álltak ellentétben a korra jellemző tudományos ismeretekkel. Ezekre az elképzelésekre inkább mint az adott szinten kínálkozó értelmezésekre tekinthetünk.

A történeti példák alapján is látjuk, hogy a tévképzetek nem azért születnek, mert valaki ellent akar mondani a kísérleti tényeknek, hanem inkább a hétköznapi szemlélődés és az emberi gondolkodás természetes működése következtében, amely megfelelő információk, tények hiányában is hajlamos az elméletalkotásra.

Érdekes tanulmányt olvashatunk [19]-ben arra nézve, hogy mit tudnak a tanárok a tanulók tévképzeteiről és hogyan kezelik őket.

2.3 Jellegzetes tanulói tévképzetek

A következőkben a fizika különböző területein előforduló jellegzetes tévképzeteket mutatok be és röviden tárgyalom, mi okozhatja a félreértést és milyen jellegű információval lehet a problémát a leghatékonyabban kiküszöbölni.

a) mechanika

- az egymást megelőző járműveknek az előzés pillanatában egyenlő a sebességük (kinematikai tévképzet [8] [9]) – Ennek a tévképzetnek esetleges magyarázata lehet az, hogy a tanuló a megtett utak egyenlőségéből indul ki, és abból, hogy egyszerre indultak, nyilván beleértve tehát a kérdésbe olyan feltételeket is, amelyek nem kell, hogy teljesüljenek. Valójában az átlagsebesség fogalmát használják. A járművek azonos időben vannak azonos helyen, így a $v = s / t$ képletben azonos az út és az idő is.
- a testek sebessége egyenesen arányos a rájuk ható erővel (dinamikai tévképzet [12]) – Ez a következtetés szorosan összefügg azzal a kiindulási tévképzettel, hogy a mozgáshoz erő kell. Ekkor a nagyobb erő logikusan nagyobb sebességű mozgást eredményezhetne. Nyilván nincs a mérlegelt szempontok közt a tehetetlenség törvénye és a súrlódás tulajdonságai.
- a szivattyúzást az teszi lehetővé, hogy a természet irtózik a vákuumtól [20] – Amíg nem ismeretes a légnyomás szerepe, addig ez a tévképzet hihetőnek tűnik, de nem

magyarázható fizikai alapon, anyagi hatással. A tévképzetben szereplő „irtózás” nem fizikai, nem az élettelen természetre jellemző kategória.

b) hőtan

- hőcsere során „kalorikum” áramlik át az egyik testből a másikba [21] – Annyiból helyes az elképzelés, hogy valaminek (mozgási energiának) az átadásáról van szó, de a helyes kép csak az anyagot alkotó molekulák és atomok mozgására vonatkozó ismeretek tükrében alakulhat ki.
- égés közben „flogiszon” szabadul fel az anyagból [3] – Ebben az esetben hiányzik a kémiai reakciók során felszabaduló kötési energiák szerepének ismerete.

c) elektromágnesesség

- az elektromos energia az árammal átjárt vezető belsejében áramlik – A kérdést kommentáltam [S2]-ben. Abból, hogy az elektromos áram fogalmát a vezetőben elektronok elmozdulásával modellezzük, következhetne az, hogy az energiát a vezető belsejében mozgó elektronok viszik magukkal. Alapvető szerepe azonban a vezetőn kívül jelenlévő elektromos és mágneses tér Poynting-vektorának van, mely ferdén a vezető belseje felé irányul [22].
- az égő világíthat, ha az egyik irányból elektromos energiát vezetünk bele [21] – A tanuló arra gondolhat, hogy elég az energiát a felhasználás helyére odavezetni, de nincs tisztában azzal, milyen feltételek mellett folyhat a vezető belsejében áram.

d) optika

- a fény terjedési sebessége végtelen – A nagy terjedési sebesség miatt kezdetben kialakulhatott ilyen nézet, de O. Römer-nek 1676-ban már sikerült viszonylag helyes eredményt kapnia a Jupiter holdjaira vonatkozó csillagászati megfigyelések alapján (lásd Természettudományi lexikon, *Römer* címszó alatt).
- a megvilágított tárgyról csak egymással párhuzamos sugarak indulnak [23]
- a fehér fény nem az egyszerű színek keveréke – ez a tévképzet gyakran azután is tartja magát, hogy a tanulók a már találkoztak a kérdéssel az iskolában [24].

e) atomfizika

- az atomok közt üres tér van – Tudjuk, hogy a vákuum sem üres tér, mert benne az anyagnak vizsgálható és számszerűen jellemezhető formája van jelen. Az elképzelés az atomok véges térfogatát is feltételezi.
- az elektronok az atomban egymás mellett keringenek – A nézet csak a kezdetleges bolygómodell keretén belül bukkanhat fel. Hangsúlyozni kell, hogy az elektronok viselkedését az atomban a hullámjellegükre építve kell leírni és hogy különböző

elektronok hullámterei egymást áthatják, nem egymás melletti térrészeket töltenek ki. [S3].

f) modern fizika

- a részecskék pontszerűek – Ilyen kijelentéssel a tanuló a szakirodalomban is találkozhat, azonban vitákra ad okot (az ésszerűség kapcsán is). „Geometriaméret-fogalom azonban nem alkalmazható az elektronra (sem semmilyen más, szerkezet nélküli, elemi részecskére például kvarkokra).” [25]
- a kétréses kísérletben van értelme kérdezni, hogy a mikroobjektum melyik résen ment keresztül – Ez a feltételezés a klasszikus részecskeszemlélet nagyfokú megtartását jelzi, vagyis azt, hogy a kérdés felvetője a mikroobjektumok adagos jellegét és hullámjellegét nem tudja összeegyeztetni. A kérdést kommentáltam [S1]-ben.
- lehetséges a fénysebességnél nagyobb sebességű mozgás – Ha az anyag „építőkövei” nem hullámként léteznének, hanem klasszikus testekként az üres térben, akkor nem létezne határsebesség. Azonban hullámként léteznek és semmi sem mozoghat gyorsabban, mint az őt alkotó hullámok csoportsebessége.

A bemutatott példák szemléltetik a tanulói tévképzetek sokrétűségét, egyúttal azt is, hogy a keletkezésükhöz sokféle ok hozzájárulhat. A tanulók fizikára vonatkozó tévképzeteinek érdekes gyűjteményét találjuk a <http://www.eskimo.com/~billb/miscon/opphys.html> internetes címen.

Az alábbiakban a kutatómunkám során használt hidrosztatika-teszt egyes feladataival kapcsolatos jellegzetes tanulói indoklásokat idézek szó szerint. A feladatokban többnyire nyomásokat kellett összehasonlítani. Egy olyan állítást, hogy a C pontban kisebb a nyomás, mint a B pontban, most úgy írok le, hogy $p_C < p_B$. A feladatok szövegét és ábráit ezen a helyen nem jelenítem meg (a teljes hidrosztatikateszt megtalálható a 11. 6. mellékletben). A 3. és 9. kérdés kétfelé bontásának módját és körülményeit a 3.2. pontban jellemeztem.

1. feladat:

- $p_C < p_B < p_D$ „mert a légnyomás az A pont felé sűríti a higanyt”
- $p_C < p_B < p_D < p_A$, mert „ A -t csak a higany és a légnyomás befolyásolja, C -t pedig csak a légnyomás.”
- A $p_C > p_B = p_A > p_D$ állítás indoklása az volt, hogy a C -t felfelé nyomja a higany és visszatartja a légnyomás, de a D -n „csak a higany súlya, ami rajta van”.
- Más esetben $p_A = p_B > p_D < p_C$, „mert csak C -re hat a külső nyomás”.
- Egy helyen a $p_A < p_D < p_B < p_C$ válasz szerepelt azzal az indokkal, hogy „ C -ben a legnagyobb a nyomás mert az van a legközelebb a légnyomáshoz”

2. feladat:

- „nem folyik ki, mert nem erőlködik vákuum létrehozásával”
- „nem folyik ki, mert nincs nyomás”
- „nem folyik ki, mert ugyanúgy tapad az edény falához”
- „nem folyik ki, mert a gravitáció marad”
- nem folyik ki, „mert szívóhatás ébred, ami bent tartja”
- Volt, aki egyszerűen arra az álláspontra helyezkedett, hogy „nem a levegő tartja az edényben a higanyt”.

3. feladat:

- „ $p_A > p_B$, mert a levegő nyomást fejt ki a higanyra”
- $p_A < p_B$, „mert a levegő súlya kisebb a higanynál”
- $p_B > p_A$, mert „a B fölött lévő higany is nyomást fejt ki”
- $p_A < p_B$, „mivel a higanynak nagyobb a tömege”
- $p_A > p_B$, „mert a higany összenyomja azt a levegőt, ami a bal oldali csőben van”;
- $p_A > p_B$, „mivel a levegő nyomást fejt ki a higanyra felülről”
- „A-ban nagyobb a nyomás, mert a levegő kiszorítja a higanyt, nem engedi föl”

4. feladat (a cikkben erről a feladatról helyszűke miatt nem számoltam be):

- a vastag részben a szint alacsonyabb, „mert így lesz a vastagabb részben ugyanakkora a higany tömege”
- „a cső két szárában a higany súlyának kell egyenlőnek lennie”
- $p_A = p_B = p_C$, valamint $p_D = p_E$, „mert egyazon csőben vannak” (megjegyzésem: mintha a nyomás csak a cső vastagságától függene, a mélységtől pedig nem)
- „azért egyezik meg a higany két szintje mert felülről a levegő mindkettő részt ugyanakkora erővel nyomja”

5. feladat (a cikkben helyszűke miatt szintén nem szerepel):

- a szívószálban lévő vízszint nem változik, „mivel nem tud a levegő bejutni”
- benne marad a víz a szívószálban, „mert ujjunkkal „megszüntetjük” a légnyomást, vákuumot hozunk létre”
- „az ujjunk nem hagyja a nyomást változni”
- „a vízszint megmarad a vákuum miatt”
- a vízszint „ugyanott marad, mert megszüntettük a légnyomást a szívószál tetején, az alulról érkező pedig felfelé nyomja”.

6. feladat:

- A tanulók egy része a nyomást a vékonyabb csőben gondolja nagyobbának, „mert ott szűkebb helyre szorul a folyadék”
- mások a vastagabb csőben tartják a nyomást nagyobbának, „mert ott nagyobb a folyadék mennyisége”.
- „a két szárba egyenlő mennyiségű folyadék kerül”
- „kiegyenlítődik a két henger alakú edényben a nyomás, ezért a szűkebb hengerben magasabban lesz a vízszint” (!)

7. feladat:

- $p_A > p_B > p_C$, „mert az A felett nagy a víztömeg”
- $p_B > p_A > p_C$, mert „B-t mindkét oldalról jobban nyomja a víz, A fölött több víz van, mint C fölött”
- $p_A > p_B > p_C$, mert „a bal oldali edényben a folyadéknak nagyobb a felülete, így arra nagyobb nyomás hat”
- $p_A > p_C > p_B$, „mert A-ra nehezedik a legtöbb folyadék”
- $p_A = p_C < p_B$, mert „B-t mindkét tartály nyomja, p_A és p_C pedig egyenlő, mert csak a fölöttük lévő folyadék súlya számít”.

8. feladat:

- $p_E > p_D > p_B > p_C > p_A$, mert „a higany a tálca legvégére akar jutni, tehát ott lesz a legnagyobb a nyomás”
- $p_C > p_A > p_D = p_E > p_B$, „mert, ha a higany szempontjából nézzük, akkor C felett van a legtöbb, majd A felett, aztán D, E felett, majd B felett”
- $p_A < p_B = p_C < p_D < p_E$, mert „átmegy a nyomás oldalirányba”
- $p_B < p_A < p_D = p_E < p_C$, mert „csak a fölöttük lévő folyadék számít”

9. feladat:

- „ $p_C > p_D > p_E$, mert közeledünk a vízhez, ahol nagyobb a nyomás”
- „ $C = D = E$, bárhonnán bármekkora nyomás éri a folyadékot, abban szétterjed a nyomás, így azonos magasságban azonos nyomás lesz”
- „az E ugyanabban az ágban van, mint a B, ezért nagyobb, mint a C és D”
- „ $C = D = E$, mert a jobb oldali csőben a Hg szint pont annyival csökkent amennyivel a víz befolyásolta a légnyomás nagyságát”

3B feladat (a tesztben szereplő 3. feladat két részre bontása miatt):

- $p_A = p_0$, „mert különben elmozdulna a higany”
- „a csőben lévő nyomás nagyobb, mint a külső légnyomás a kisebb térfogat miatt”
- A külső légnyomás kisebb, mint a csőben lévő, „mert a jobb oldali cső telített ezért a bal oldali csőbe próbálja átnyomni a higanyt ami meg nem telített csak a végén levegő van ami összenyomható”
- „a bal oldali csőben nagyobb a nyomás, mint a külső légnyomás, mert a higany összenyomja a levegőt”

9B feladat (a tesztben szereplő 9. feladat két részre bontása miatt):

- $p_A > p_B$, „mert a higany sűrűsége nagyobb, mint a vízé”
- $p_B > p_A$, „mert a vízoszlop magasabb”
- $p_A = p_B$, „mert egy magasságban vannak”
- „ha beállt a rendszer egyensúlya, akkor az azonos magasságban lévő pontok nyomása egyenlő”

Végül tekintsük a statisztikai feldolgozásba be nem vont, az eredeti teszt szerinti 10. kérdést, mely a szűkülő csőben állandósult áramlás végző vízre vonatkozik. Itt 186 tanuló közül 134 gondolta, hogy a nyomás a szűkebb csőben nagyobb, és csak 21 gondolta helyesen, hogy a nyomás a nagyobb keresztmetszetű csőben nagyobb. A megfogalmazott indokok közül néhány:

- „mert a szűkülés után a részecskék összenyomódnak”
- „mert ugyanannyi víz van kisebb térfogatban”
- „mivel a szűkebb helyen nagyobb erővel kell mennie a víznek a sebesség tartásához”
- „mert a nyomás függ a rendelkezésre álló helytől”
- „ $p_B > p_A$, mert az A -ban és a B -ben az erő ugyanaz, de a felület nem”.

A helyes válaszokat adók közt volt, aki azzal indokolt, hogy a szűkebb részben lévő B pontban azért kisebb a nyomás, mert „a B -be kevesebb víz tud bejutni”.

2. 4 A tévképzetek osztályozása

Az eddig szóba hozott tévképzetek is igen sokfélék voltak formailag és összetettségükben is. Természetes, hogy sokféleségük következtében többféle szempont szerint, és akár több lépcsőben is osztályozhatjuk őket. A különféle szempontrendszerek természetesen átfedő

osztályozásokra vezetnek, ez azonban csak akkor gond, ha ellentmondó felosztásokat használunk.

Egyszerű felosztási lehetőséget kínál az a tény, hogy a tévképzetek esetén a háttérben mindig ott van valamilyen rosszul értelmezett gyakorlati tapasztalat vagy valamilyen helytelen logikai következtetés. Eszerint a tévképzetek gyakorlati vagy elméleti alátámasztottsággal rendelkezhetnek. Végző soron azonban mindig logikai következtetéssel állunk szemben, hiszen a gyakorlati tapasztalat is logikai úton kerül kiértékelésre.

Érdemes felfigyelnünk arra a körülményre is, hogy a kiindulási tényekből, állításokból lehet téves következtetésre jutni egy-két lépésben és hosszabb következtetési láncolattal is. Ez a szempont a szövevényes, nehezen kibontható és egyszerű, könnyebben feloldható tévképzetek megkülönböztetésére vezethet. Egyszerű fogalmi zavart tükröz pl. az olyan kinematikai tévképzet, hogy az előzés pillanatában a két jármű sebessége egyenlő. Egy fokkal nehezebb megindokolni azt, hogy a szabadesés gyorsulása nem függ a test tömegétől. Itt ugyanis ki kell térni a levegő ellenállásának szerepére, de ismerni kell a dinamika alaptörvényét is, mert az egyenlő gyorsulások tényét azzal lehet indokolni, hogy a szabadon eső testekre annyiszor nagyobb erő hat, ahányszor nagyobb a tömegük.

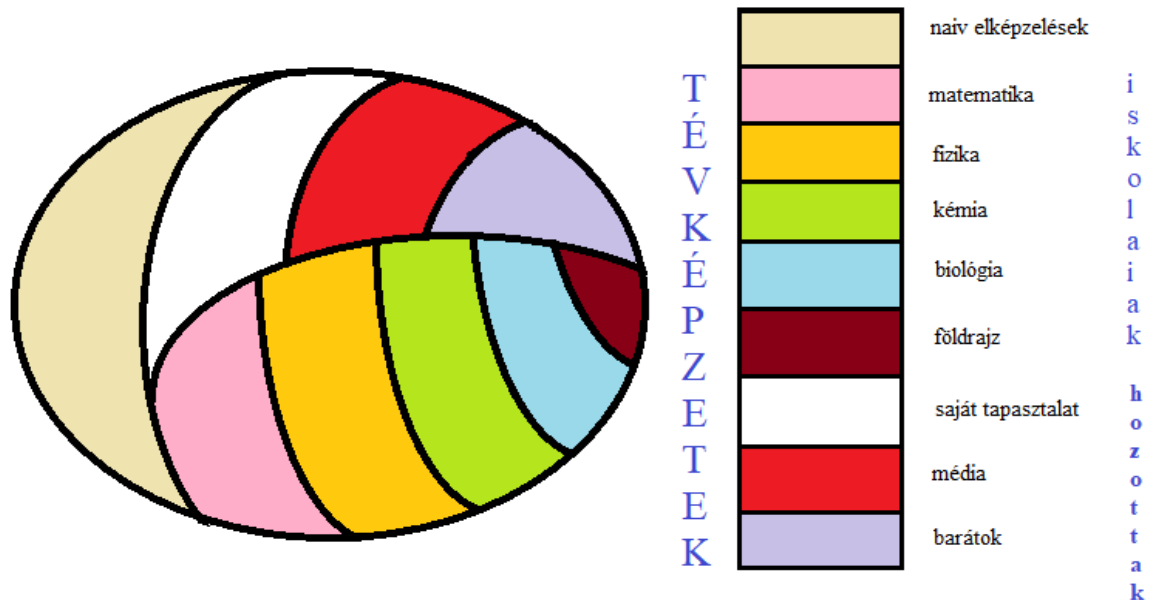
Felosztás céljára figyelembe vehetjük pl., hogy milyen forrásból származnak azok az ismeretek, amelyek tanulói tévképzetek kialakulásához vezetnek. Ezt akkor célszerű megtennünk, ha a tévképzet kialakulásában jellegzetes szerepet játszik az a forrás, amire a tanuló támaszkodik. Léteznek pl. tanulók által hozott és iskolában kialakult tévképzetek. Bővebb áttekintéssel a következő csoportokat hozhatjuk létre:

- Saját tapasztalat útján kialakuló tévképzetek (pl. a tárgyak mozgásban maradásához erő kell)
- Más személytől átvett tévképzetek (pl. egy autó végsebességét csak a motor teljesítménye határozza meg)
- A médiából átvett tévképzetek (pl., akit eltalál egy lövedék, az akár néhány méterrel is odább repülhet – a fegyver elsütője viszont egyhelyben marad)
- Iskolában kialakuló tévképzetek (pl. [8])

Kiindulhatunk abból is, hogy a tévképzetek mely tudományterület, tantárgy vagy jelenségkör ismereteire vonatkoznak. Már korábban is említettük, hogy tévképzetek léteznek a matematika, fizika, kémia, biológia, földrajz területén, de léteznek a természettudományok tárgykörén kívül is. A fizika területén belül a tévképzeteket a fizika egyes ágai szerint is feloszthatjuk (mechanika, hőtan, elektromágnesesség, fénytan stb.). A mechanika területén kinematikai és dinamikai tévképzetekről beszélhetünk. Figyelembe vehetjük, hogy milyen

központi fogalommal kapcsolatos az adott tévképzet (pl. erővel, nyomással, energiával, fénysebességgel...). Akkor érdemes új csoportot kialakítani, ha elegendően sok tévképzet rendelkezik az adott vonással.

Az iskolai oktatás szemszögéből nézve a tévképzetek egyes csoportjait az 1. ábra foglalja össze, megkülönböztetve őket a naiv elképzelésektől.



1. ábra: a tévképzetek jellegzetes csoportjainak szemléletes áttekintése

Figyelembe vehetjük, hogy a tévképzetek milyen életkorban keletkeztek. Léteznek az iskoláskort megelőzően kialakuló tévképzetek (pl. a tárgyak nem lehetnek erő forrásai) és a tanulmányok során megjelenő tévképzetek (pl. a hidrosztatikai nyomás csak lefelé hat).

Külső vagy belső okokra visszavezethető tévképzetekről beszél [19]. Külső okokra vezethetők vissza pl. a társaktól átvett, internetről származó, televízióból átvett tévképzetek, vagy akár a tankönyvek ábráit szemlélve átvett azon tévképzet, hogy a Föld pályája a Nap körül elnyújtott ellipszis. Belső okokra vezethetők vissza azok a tévképzetek, amelyek a tanulók értelmi konstrukcióival, gondolkodásmódjukkal függenek össze.

Ha nemcsak a fizikában előforduló tévképzetekre gondolunk, akkor idézhetjük [6] felosztását és konkrét példáit:

- matematikai jellegűek (pl. csak kis különbség van a 0,001 és 0,0001 közt)
- általánosak (pl. ami nyomtatásban megjelenik, az csak helyes lehet)
- tanteremhez köthetőek (pl. test periodikus mozgása azt jelenti, hogy egyensúlyban van)

- laboratóriumhoz köthetők (pl. keverés többet ront a hőmérsékletmérés pontosságán, mint amennyit javít)

Látjuk, hogy a tévképzetek valóban sokrétűek, ennek megfelelően sokféle felosztási szempont létezhet.

Ha a tévképzet keletkezési okait az ismeretek szerkezetéből (lásd alább) kiindulva vizsgáljuk, a tévképzetek újabb felosztási lehetőségét kapjuk. Az ilyen felosztás a sikerre vezető stratégia helyes kiválasztását is segíti. Eszerint létezhetnek:

- az információk teljességének hiányát tükröző tévképzetek
- az összefüggések hiányos ismeretét tükröző tévképzetek
- a gondolati ívek befejezetlenségét tükröző tévképzetek
- az alapelvek helytelen használatát (helytelen dedukciót) tükröző tévképzetek

Az információk teljességének hiányát tükrözi az arisztotelészi fizika, mely a jelenségeket a tehetetlenség törvénye hiányában igyekszik megmagyarázni. Az összefüggések hiányos ismeretét tükrözi az, amikor a tanulók nem látják meg a nyomás szerepét különböző helyzetekben (pl. a hidraulikus emelőben). Befejezetlen gondolati ívre utal az, hogy a tanulók nem képesek az eltérő keresztmetszetű közlekedőedényekben bejelölni a helyes folyadékszinteket, mert a tanulmányaikban nem kapott hangsúlyt a hidrosztatikai paradoxon a közlekedőedényekben. Helytelen dedukciót végzünk, ha az elektron mag körüli keringéséből kiindulva az elektron folyamatos energia-sugárzására és a magba való zuhanására következtetünk, ugyanis az adott esetre az elektrodinamika keringésre vonatkozó ismereteit nem lehet alkalmazni. Kisméretű elektron az atomburokban nincs, minden elektron teljesen körbeveszi az atommagot.

2. 5 Megjegyzés a kvantumelmélet interpretációjához

A kvantumelmélet kérdéseinek önálló pontot szentelhetünk, tekintettel az itt felbukkanó tévképzetek elméleti jelentőségére és gyakoriságára. A modern fizika területén előforduló tévképzetek igen sokoldalúan mutatják a tévképzetek jellegzetes vonásait. 15 kvantummechanikai tévképzetet sorol pl. [26]. A fizika ezen ága komoly viták kíséretében bontakozott ki, de a viták némelyike furcsa módon a mai napig tart. Eközben születnek jelentős új eredmények is.

A kvantumelmélet alapvető változásokat idézett elő az anyagra vonatkozó ismereteinkben, főleg az által, hogy az addig csupán részecskéknek tekintett anyagformák hullámtulajdonságairól és a tisztán hullámoknak tekintett anyagformák adagosságáról kezdtünk

el beszélni. Ezt a fajta kettősséget interpretálni, értelmezni kellett. A feladat megoldása afelé is lépést jelent, hogy megértsük, mi is az anyag alapvető létezési módja.

A kvantumelmélet interpretációjának legfontosabb feladata a hullám-részecske kettősség *lényegének* és a hullámfüggvény jelentésének a bemutatása. A kérdés úgy is megfogalmazható, hogy mi húzódik meg a kvantumelmélet matematikai apparátusa mögött. Az egyes interpretációk matematikai eredmények tekintetében nem különböznek egymástól, de több olyan van köztük, mely a munkám 2.1. pontjában idézett *szakszerűség* kérdését is felveti (lásd pl. a párhuzamos világok elméletét).

A hullámfüggvény statisztikai interpretációja (Max Born, 1926) nélkülözhetetlen eleme a helyes interpretáció megalkotásának. A kvantumelméletnek azonban ma több mint tíz számon tartott értelmezési módja létezik, és a kérdés sokakat foglalkoztat. A legfontosabb három interpretációs irányzatról (koppenhágai, lokális determinista és Bohm-féle) [27] számol be. Figyelemreméltó megközelítést hordoz Cramer „tranzakciós” interpretációja is. Az a lehetőség, amikor a kettős jelleg csak elfogadjuk, de *nem próbáljuk meg értelmezni* (a Feynmannak tulajdonított mondás szerint „Hallgass és számolj!”), jellemző az ún. koppenhágai interpretációra is.

A https://en.wikipedia.org/wiki/Interpretations_of_quantum_mechanics címen 14 interpretációról olvashatunk, az egyes interpretációk közti különbségeket táblázat foglalja össze. A https://de.wikipedia.org/wiki/Interpretationen_der_Quantenmechanik címen átfogó feldolgozást találunk a témáról.

Nézetem szerint a hullámjelleg nem zárja ki az adagosságot, és fordítva, *az adagosság* nem zárja ki a hullámjelleget, ha az adagosság fogalmán nem értünk többet, mint hogy negyed, harmad stb. elektron (vagy más kvantum) a természetben nem lép kölcsönhatásba. Az adagosságba pl. nem szabad beleértenünk azt, hogy a „részecskék” *mindenkor* valamilyen apró objektumok formájában vannak jelen, olyankor is, amikor nem jelzi létezésüket valamilyen kis térfogatban észlelhető kölcsönhatás. Így az atomburokban sem kering vagy ugrál valamilyen anyaggóc helyről helyre. Az adagosság (részecskejelleg) klasszikus értelemben való, a klasszikus méret és pozíció fogalmát magában hordó *téves* értelmezése sok esetben mégis felbukkan. Ez nem felel meg a kvantummechanika szellemének és gátolja a kérdésről alkotott világos kép kialakítását. A hullám-részecske kettősséggel kapcsolatban célszerű idézni a Természettudományi lexikon 5. részéből vett mondatot (*részecske-hullám dualizmus* címszó alatt) [28]: „Az egyik kép alkalmazásában addig a határig szabad elmenni, hogy a másik kép alkalmazhatósága ne váljék eleve lehetetlenné, és megfordítva.”

Az adagosság klasszikus értelemben vett téves értelmezése néhány esetben tetten érhető a kétréses kísérletre és a Bell-féle egyenlőtlenségekre vonatkozó eszmefuttatásokban is. Esetenként azzal a semmitmondó magyarázattal is találkozunk, hogy „tipikusan kvantummechanikai” jelenségről van szó. A részecskeelképzelés helytelen használatáról széleskörű áttekintést nyújt [29].

Az interpretáció kérdése jórészt ma is nyitott, ez pedig a tudományág szempontjából és pedagógiai szempontból is szerencsétlen helyzet. A kvantumelmélet ezen problémájához kötődik az egyik tézisem (lásd 7. 9 pont), valamint a 9. 2. c), d), e) és 9. 6. pontok a források kritikus elemzése kapcsán.

3. A kutatás célja és módszerei

A tévképzetekre vonatkozó kutatómunkám általános célja a tévképzetek megismerése, az ellenük vívott harc lehetőségeinek a vizsgálata, majd a kiküszöbölésüket segítő javaslatok és a tanári munkában hasznosítható stratégiák megfogalmazása volt.

Kiindulópontul a szakirodalom tanulmányozása szolgált. A lényegi munka elvégzése során nagymértékben támaszkodtam a közvetlen tanári tapasztalatomra és a kutatómunkám során gyűjtött adatok feldolgozására. Adatokat először saját tanulóim körében gyűjtöttem, majd tesztek útján szélesebb körben, más iskolák pedagógusai közreműködésével is. A statisztikailag feldolgozható ismeretek a hidrosztatika és szilárd testek mechanikája területéről származnak. Munkámat a fizika további fejezeteire is kiterjesztettem a szakirodalom tanulmányozásával. Cikkeket tanulmányoztam főleg az elektromágnesesség és optika, valamint modern fizika területén tapasztalható tévképzetekről, de más területekről is. A cikkekben tárgyalt információkat szakkönyvekben és tankönyvekben fellelhető ismeretekkel vettem össze. A modern fizikára vonatkozó elemzésekben ennek eredményeként, valamint korábban szerzett ismereteim alapján megítéltem bizonyos ellentmondásosan megítélt kérdéseket.

Tévképzetekre vonatkozó cikkek főleg külföldi forrásokból érhetők el. A külföldi tapasztalatokon természetesen az adott ország iskolarendszerének a sajátosságai is tükröződnek, azonban érdemes azokat a hazaiakkal összevetni, mert így szélesebb alapokon nyugodhatnak a következtetések.

A tévképzetek nem kötődnek meghatározott életkori szakaszhoz, bármely korosztályban előfordulhatnak, beleértve azok körét is, akik az iskolapadokból már régebben kikerültek. Célszerű volt ezért a jelenségeket több korosztályra vonatkozóan átgondolni. Ennek egyik eleme az volt, hogy a mechanikateszt esetében egy elsőéves főiskolai csoport eredményeit is áttekintettem.

A mechanikában adatgyűjtésre Hestenes 29 kérdéses feleletválasztós tesztjét használtam [10], melyből előzetesen egy rövidített, 15 kérdéses változatot készítettem a legjellegzetesebb kérdések kipróbálására és az adott témában végzett tesztelés lehetőségeinek a felmérésére. A rövidített tesztet 15 kilencedikes és 16 tizenegyedikes tanuló írta meg. A tanulók 5 lehetséges válaszból választhattak minden kérdésnél és tudták, hogy csak egy válasz a helyes. Az előzetes teszt eredményeiről a magyarul tanító tanárok számára Budapesten, 2011 augusztusában megrendezett, a „Természettudomány tanítása korszerűen és vonzón” című konferencián számoltam be [S4].

A teljes tesztet elektronikus formára alakítottam (lásd a melléklet 11.1. pontjában, valamint az elektronikus mellékletben) Nagy Péter, a Kecskeméti Főiskola tanára elektronikus tesztsablonja felhasználásával. Az eredmények az interneten keresztül futottak be. A tesztek kitöltését négy középiskolában, valamint egy főiskolai csoportban szerveztem meg. A középiskolásokat illetően a munkában három gimnáziumi, két szakközépiskolai és egy szakiskolai kilencedik évfolyamos osztály vett részt, az egyik gimnáziumban sor került a tizenegyedik évfolyamos tanulók bevonására is.

A teszthez a tanulók jelszóval védett honlapon férhettek hozzá, válaszaikat a rendszer a címekre és a tesztelést felügyelő tanár címére küldte el elektronikus üzenetben. Az eredmények feldolgozásában az EXCEL lehetőségeire támaszkodtam. A teljes teszt eredményeiről a hollandiai Nijmegenben 2012-ben tartott konferencián számoltam be [S5].

A második, folyadékok és gázok mechanikájára vonatkozó teszt 14 kérdésből állt, az első kilenc hidrosztatikára, a többi a Bernoulli törvényére vonatkozott. A hidrosztatikai kérdések közt saját kérdéseim mellett négy olyan kérdés szerepelt (1, 3, 4. és 8.), amelyek ismertek egy hidrosztatikai kutatás eredményeit tárgyaló cikkből [30].

A teljes hidrosztatika-teszt megtekinthető a melléklet 11. 6. pontja alatt. A tanulók a tesztet kinyomtatott formában kapták kézhez, válaszaikat is kézzel írott formában kaptam kézhez. Ezt a tesztet csak gimnáziumi tanulók töltötték ki.

A tévképzetek fogalmához szorosan hozzátartozik a látszólagos indokoltságuk. A tesztek értékelése során fontosnak tartottam megítélni, hogy milyen körülmények közt léphetnek látszólag lényeges, de tévképzetekre vezető szempontok a valóban lényeges szempontok helyébe, illetve melyek azok a körülmények, amelyek ezt elősegítik vagy gátolják. Felismertem, hogy a legfontosabb segítő vagy gátló tényezőket a tananyag szerkezetéből kiindulva lehet azonosítani. Célul tűztem ki ezzel összefüggésben olyan eszközrendszer megalkotását, amely a tananyag logikai összefüggéseiből kiindulva próbál gátat szabni a tévképzeteknek. Megfogalmaztam a téziseimből következő, tanári munkát segítő útmutatásokat is.

A tanítandó ismeretek szerkezetét alapul vevő megközelítés nemcsak az iskolai munkában érvényesülhet, hanem tanulmányi segédeszközök, tankönyvek szerkesztésében is. Tapasztalatom szerint nem ritka az olyan gondolatvezetés, amelyből fontos láncszemek hiányoznak. A hiányosság aránytalanul akadályozza felhasználó munkáját, de ezen túlmenően tévképzetek forrása is lehet. Célul tűztem ki ezért annak megítélését is, hogy bizonyos források milyen mértékben és milyen tudatosan felelnek meg az ismeretrendszer szerkezeti

követelményeinek. Ezzel összefüggésben a 9. fejezetben tankönyvkritikai megjegyzéseket tettem néhány hazai és külföldi könyv szerkesztési módjára vonatkozóan.

A tesztek alapján levonható következtetések megbízhatóságának tárgyilagos értékelése céljából tanulmányoztam a megbízhatóságra vonatkozó statisztikai mutató, a Cronbach-alfa felhasználhatóságát [31] [32] [33]. Emellett egyéb olyan, statisztikára és valószínűségszámításra alapozott számszerű mutatókat is kiszámítottam, amelyek alátámasztják a megállapításaim helyességét.

A tévképzetek jelentőségét kétféle irányból is megközelíthetjük. Az egyikben azt vizsgáljuk, hogy adott témakörben milyen erős hatással lehetnek a tévképzetek a tananyag elsajátításának sikerességére. A tévképzetek hatása a mechanikában kétségtelenül nagy.

A tévképzetek jelentőségének más irányú megközelítése az, amikor felmérjük, milyen széles körben elterjedtek. Itt különböző területekre bukkanhatunk. Léteznek témakörök, amelyekben nagy valószínűséggel fordulnak elő és olyanok, amelyekben kisebb valószínűséggel. A tévképzetek jelentőségét mindkét szempontból érdemes tudatosítani.

A modern fizika területén az elérhető források számos tévképzetről számolnak be és olyan elemzéseket is bemutatnak, amelyeknek pedagógiai vonatkozásai is vannak. Ezek az elemzések nemegyszer komoly nézetkülönbségeket tükröznek [29]. Úgy gondolom, hogy ilyen körülmények közt indokolt, hogy bizonyos kérdésekhez észrevételeket, javaslatokat tegyek. A probléma bizonyos vonatkozásai a középiskolai oktatásra is kisugároznak (lásd erről pl. a 9. 2. pontban). Nem mindegy, hogy az elérhető források mennyire nyújtanak egységes, megalapozott és félreértésekre okot nem adó információkat.

3. 1 A mechanikateszt jellemzése

A teszt tanulók által megoldott formája a 12.1. mellékletben látható, az elektronikus mellékletben szereplő elektronikus verzió képeinek másolataként. Ez Hestenes mechanikatesztje, mely a kinematika és a dinamika legalapvetőbb fogalmait és törvényeit célozza. Vizsgálja a tanulók szemszögéből a gyorsulás és sebesség fogalmának ismeretét, az erő fogalmát és tulajdonságait, a dinamika alaptörvényét, a tehetetlenség törvényét, a hatás-ellenhatás törvényét, a homogén gravitációs térben végzett mozgások jellegzetességeit, az ütközések jellegzetességeit, a centrifugális erővel kapcsolatos ismereteket, a súrlódás és légellenállás szerepét, de az űrben elképzelt mozgások jellegzetességeit is. Vizsgálja azt a gyakori tévképzetet, mely szerint a mozgáshoz súrlódásmentes esetben is erő kell. Erre főleg az 5. 8. 9. 22. és 24 - 29. kérdések vonatkoznak, de ide tartozik a lift egyenletes emelkedését

vizsgáló 18. kérdés is. Tulajdonképpen minden olyan kérdés ide tartozik, amelynek köze van a tehetetlenség törvényéhez.

A teszt néhány ismeretet több szempontból, több kérdésben is megközelít, annak vizsgálatára, hogy egy adott tévképzethez a tanuló következetesen igazodik-e. Ilyen a körmozgásra vonatkozó 4 -10 kérdéspár, amely a tehetetlenség törvényével foglalkozik. E két kérdésben nagyon hasonlóak a lehetséges válaszok is. Az 1-3 kérdéspár arra vonatkozik, másképp gyorsulnak-e a nagyobb tömegű testek a szabadesés során. A hatás-ellenhatás törvényére vonatkozik a 2 -11 kérdéspár. Az ilyen kérdéspárookra adott válaszok összefüggéseinek erősségét a feldolgozásban korrelációk megadásával is rögzítem.

A tanulóknak a teszt kitöltésére egy tanítási óra állt a rendelkezésére. Ez a saját tapasztalatom alapján elegendő is volt. A kapott eredmények igazolták, hogy egyes téves elképzelések nagymértékben jelentkeznek az iskolai fizikaoktatás ellenére is, hiszen a kitöltésekre a tavaszi időszakban került sor, amikor a kilencedik évfolyamokban a mechanika nagy részén a tanulók már túl vannak.

3. 2 A hidrosztatikai teszt jellemzése

A hidrosztatikai tesztben nem voltak előre megfogalmazott feleletek és a tanulók az egyes kérdésekre különböző mélységegig válaszoltak. Emiatt a teszt eredményeinek egységes adatbázisba való foglalása jóval bonyolultabb volt. Az eredményeket az elektronikus melléklet tartalmazza.

Válaszadáskor a tanulók rövidített jelölésmódot használtak, amelyhez útmutatást a teszt elején kaptak. Az olyan felírás, hogy $A < B < C = D$, pl. azt jelentette, hogy az A pontban kisebb a nyomás, mint a B pontban, a B pontban kisebb, mint a C pontban és a D pontban pedig ugyanakkora, mint a C pontban. Ezt a jelölésmódot [S6]-ban $p_A < p_B < p_C = p_D$ formájúra változtattam és a továbbiakban is alkalmazom.

A feldolgozás során tekintettel voltam a „tranzitív” tulajdonságokra is, tehát ha valamely tanuló az A pontban fellépő nyomást nagyobbának tartotta, mint a B pontban fellépő nyomást és a B pontban fellépő nyomást nagyobbának tartotta, mint a C pontban fellépőt, akkor azt az összefüggést is rögzítettem, hogy a tanuló az A pontban fellépő nyomást nagyobbának tartja, mint a C pontban fellépőt. Néhány kérdés esetében ez meglehetősen sok adat rögzítését jelentette, és emiatt az eredményeket tartalmazó adatbázis is igen terjedelmes.

Fontos, hogy a hidrosztatikai tesztből részletesebb információk is nyerhetők, mint a mechanikatesztből, mert a tanulók a feladatnak megfelelően a döntésük okairól is írhattak. Az

indoklások sok esetben felérnek egy interjúval, ami hiteles betekintést nyújt a tanulók gondolkodásmódjába és a tévképzetek szerkezeti összefüggéseibe.

A feladatokban többnyire adott pontokban fellépő hidrosztatikai nyomásokat kellett összehasonlítani. A feladatot ábra és rövid leírás ismertette (lásd a 11. 6. mellékletben). A mechanikateszthez képest lényeges eltérés volt, hogy a feladat a tanulókat a válaszok rövid indoklására is kérte. A teszt kitöltésére egy tanóra állt rendelkezésre. Megjegyzendő, hogy a hidrosztatika a középiskolában a mechanika részeként már nem tananyag, a tanulók az idevágó ismeretekkel csak a 7. évfolyamban találkoznak (leszámítva a folyadékok és gázok áramlásával, főleg Bernoulli törvényével kapcsolatos ismereteket).

A teszt főbb eredményeiről és a levonható tanulságokról a Fizikai Szemle c. folyóiratban számoltam be [S6]. A statisztikai feldolgozásba most **csak az első kilenc kérdést** vontam be, de a 3. és 9. kérdést két részre bontottam. Ezt azért volt célszerű megtenni, mert a bennük szereplő részkérdések önálló kérdésként is megállják a helyüket. A feldolgozásban 3. kérdésként szerepel az A és B pontokban mérhető nyomások összehasonlítása, és 3B kérdésként pedig a bal oldali csőben lévő nyomás összehasonlítása a p_0 külső légnyomással. 9. kérdésként szerepel a nyomások összehasonlítása a C, D, E pontokban, és 9B kérdésként a nyomások összehasonlítása az A és B pontokban. A 3B és 9B kérdések voltak egyébként a teszt legnehezebb kérdései. Az indoklásuk nem egyszerű, viszont a 9B kérdésre adható intuitív válasz megegyezik a helyes válasszal. Ez a tanulók válaszaiban is tükröződik (lásd alább az 5. fejezetben). Az első 9 feladatból kiindulva tehát összesen 11 válaszadási helyzettel foglalkozom.

A statisztikai feldolgozásba be nem vont hidrodinamikai kérdésekre nézve a tanulók iskolai oktatásban nem részesültek. Így azok csak azt mutatják, hogy a tanulók ilyen esetekben mit feltételeznek, illetve milyen következtetéseket vonnak le. A válaszok egyértelműen jelzik, hogy a tanulók (leszámítva talán a szakosított osztályok tanulóit) nem is gondolnak olyan jelenségekre, mint pl. a szűkületbe beáramló folyadék nyomáscsökkenése. Az intuitív válaszoknak itt a fordítottja igaz.

4. A mechanikateszt főbb eredményei és tanulságai

4.1 A csoportok bemutatása

Összesen 114 kilencedik évfolyamos tanuló eredményeit dolgoztam fel, melyek 6 különböző csoportban születtek. A hat csoport közül három gimnáziumi, kettő szakközépiskolai, egy pedig szakiskolai csoport volt (összesen 4 iskolából). Összesített eredményeiket a 7. a) – 7. f) táblázatok tartalmazzák a 11. 2 pontban (a mellékletben). Bennük az szerepel, hogy az egyes kérdésekre hány tanuló adott a, b, c stb. választ. Az 1. csoportban pl. az első kérdésre 2 tanuló adott „a” választ, 2 tanuló „b” választ, 18 tanuló „c” választ, 3 tanuló „d” választ, olyan pedig nem volt, aki az „e” választ adta volna, vagy nem válaszolt (x). A helyes válaszok száma minden sorban piros mezőben szerepel. A tanulók egyéni eredményei az elektronikus mellékletben található az adott tanuló által elért pontszámmal együtt.

A kilencedikes tanulók csoportlétszámait és a csoportonkénti átlagos pontszámok (a helyes feleletek átlagos száma) az 1. táblázatban található. Az átlagos pontszám a csoport „erősségére” utal. A csoportok százalékban kifejezett sikeressége szinte pontosan ugyanabban az intervallumban helyezkedik el, mint az 1995-ben vizsgált nyugat-magyarországi csoportok zömének az eredményessége egy hasonló tesztben – lásd [34].

Csoport	Csoportlétszám	Átlagos pontszám	Sikeresség
1. (gimnázium)	25	11,8	40,7%
2. (gimnázium)	22	11,5	39,8%
3. (gimnázium)	15	10,7	37,0%
4. (szakközép.)	21	7,7	26,8%
5. (szakiskola)	15	7,1	24,4%
6. (szakközép.)	16	6,6	22,6%
Összesen	114	9,5	32,8%

1. táblázat: a csoportok átlagos pontszámait

Kiegészítésképpen megemlítem, hogy a 3. fejezetben említett főiskolai, illetve gimnáziumi tizenegyedik csoportnál az átlagos pontszám 17,5 és 17,0 volt. Az eredmény itt 60,3%-nak, illetve 58,6%-nak felel meg, miközben a teszt szerzői szerint 60% alatt már nem beszélhetünk newtoni fizikáról [35]. Az általam begyűjtött teszteredmények tehát a tévképzetek nagymértékű jelenlétét jelzik a 9. évfolyamban, bár nyilvánvalóan nem elhanyagolható az egyes csoportok erőssége és a tesztíráshoz való viszonyulása sem. A főiskolai csoport hallgatóinak eredményei jól tükrözik a tanulók fokozatos előrehaladását és az életkori különbségeket, mert bizonyos vonatkozásokban a pozitív tendenciákat tovább folytatják.

Tanulónként az egyes csoportokban a legmagasabb és legalacsonyabb pontszámok a következők voltak (2. táblázat):

	1. csoport	2. csoport	3. csoport	4. csoport	5. csoport	6. csoport
min	4	5	7	3	4	3
max	19	19	19	15	17	10

2. táblázat: a tanulók minimális és maximális pontszámai az egyes csoportokban

Az említett gimnáziumi 11. évfolyamos csoportnál a minimum pontszám 11, a maximum pontszám 24 volt, a főiskolai csoportnál pedig 5 és 29 pont (ez egy tökéletes kitöltés).

4. 2 A kérdésekre adott válaszok statisztikája

Azt, hogy a 114 kilencedikes tanuló mely kérdésekre összesen hány helyes választ adott, a 3. táblázat tartalmazza:

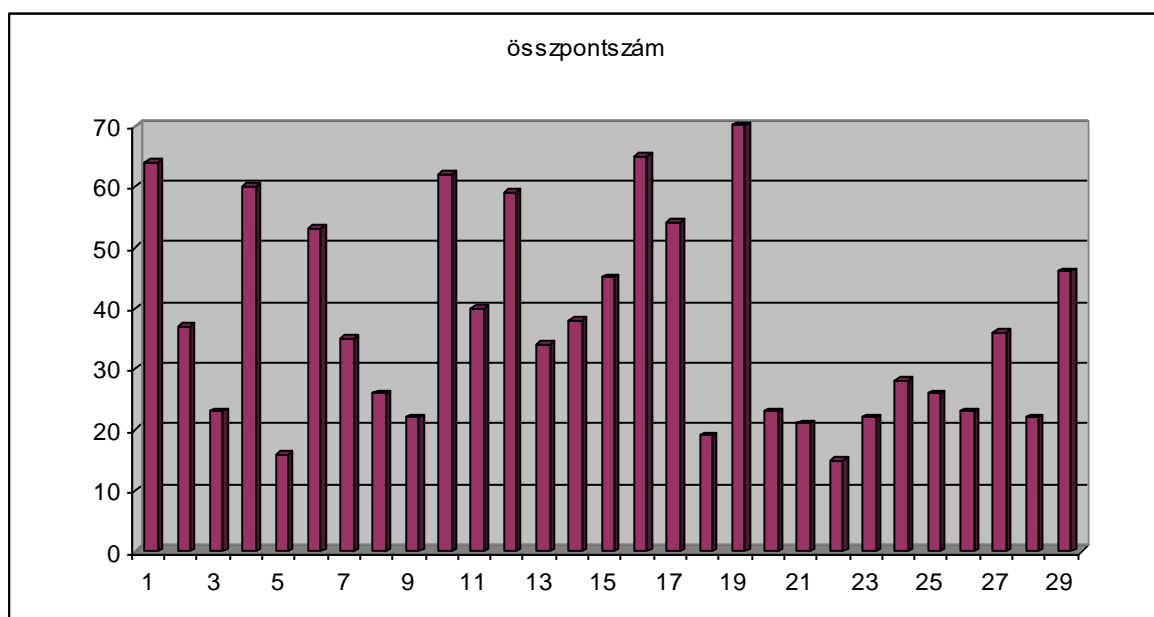
kérdés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
összpontszám	64	37	23	60	16	53	35	26	22	62
százalék	56%	32%	20%	53%	14%	46%	31%	23%	19%	54%
kérdés	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
összpontszám	40	59	34	38	45	65	54	19	70	23
százalék	35%	52%	30%	33%	39%	57%	47%	17%	61%	20%
kérdés	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
összpontszám	21	15	22	28	26	23	36	22	46	
százalék	18%	13%	19%	25%	23%	20%	32%	19%	40%	

3. táblázat: 114 tanuló helyes válaszainak száma (összpontszám) az egyes kérdésekre

A kérdésekre adott helyes válaszok átlagos száma 37,4. A legtöbb helyes válasz a 19. kérdésre született (a „ketten húznak egy ládat” jellegű kérdés – 70 helyes válasz), majd a 16. kérdésre (az ágyúgolyó pályája – 65 helyes válasz) és a 10. kérdésre (körmozgás, 62 helyes a 114-ből). Viszonylag több helyes válasz született a 10. kérdéssel összefüggő 4. kérdésre is (szintén körmozgás, 60 helyes válasz).

A legkevesebb helyes válasz a 22. kérdésre született (a repülő golflabdára ható erők – csak 15 helyes a 114-ből), majd az 5. kérdésre (a feldobott labdára ható erők – csak 16 helyes) és a 18. kérdésre (a felfelé haladó liftre ható erők – csak 19 helyes válasz). A táblázatból látható, hogy összességében kevés a helyes válasz, ami a téves elképzelések jelentős hatásának, illetve az ismeretek gyenge hasznosításának tudható be.

Nagyon magas hibaszintűnek lehet tekinteni minden olyan kérdést, ahol a 114 lehetséges válaszból kevesebb, mint 30 helyes válasz érkezett. Ez 13-szor fordult elő, ami a feltett kérdések 45%-a. Csak 6 olyan kérdés volt a 29-ből, ahol a tanulóknak több mint a fele (több mint 57 tanuló) találta meg a helyes választ. A legszemléletesebben ezt a 2. ábra fejezi ki, ahol a függőleges tengelyen az szerepel, hogy a 114 tanuló közül hány tanuló adott jó választ.



2. ábra: az egyes kérdésekre adott helyes válaszok abszolút száma

Külön megvizsgáltam, hogy milyen arányú az „impetus” fogalmával (a tehetetlenség törvényével) összefüggő hiba az egyes csoportokban. Az előfordulási arányokat a 4. táblázat utolsó oszlopában látjuk. Az impetus gondolatára vall az 5. kérdésnél az A, B és C válasz, a 9. kérdésnél a B és C válasz, a 22. kérdésnél pedig a B, C és E válasz.

	1. csop	2. csop	3. csop	4. csop	5. csop	6. csop	összes előford.	előford.%
5. kérdés	22	20	13	14	11	12	92	81%
9. kérdés	17	14	8	10	5	11	65	57%
22. kérdés	20	20	15	12	13	13	93	82%

4. táblázat: az „impetus” felbukkanása az egyes csoportokban

A korábbi 3. táblázatban azt is látjuk, hogy ezekre a kérdésekre azok közé tartoznak, amelyekre összességében a legkevesebb helyes válasz született. Különösen igaz ez az 5. és 22. kérdésre. A 9. kérdésnél kifejezetten a B vagy C választ adók aránya 57%, de a sikeresen válaszolók száma itt is csak 19% (lásd a 3. táblázatban).

4.3 A tévképzetek tükröződése a válaszokban

Figyelemre méltó, hogy az egyébként legmagasabb átlagos pontszámot elért 1. csoportnál sem volt *senki (!), aki az „impetus” hibáját legalább egyszer el ne követte volna*. Meg kell viszont jegyezni, hogy az 1. csoport 25 tanulója közül mindenki elkerülte legalább egyszer ezt a csapdát az említett kérdések valamelyikében. 12 tanuló viszont mind a három esetben elkövette ezt a hibát ebben a csoportban is.

A táblázatok mutatják, hogy az „impetus” fogalmával kapcsolatos tévképzet szinte általános, csak az 5. csoportban találunk két tanulót, aki mindhárom kiemelt kérdésben helytelenül válaszolt. A két tanuló közül az egyik összességében 15 pontot, a másik viszont csak 4 pontot ért el. Közülük a 4 pontot elérő tanuló 12 kérdésre nem is válaszolt, így az 5. 9. és 22. kérdésre sem. A 15 pontot elérő tanuló mindhárom vizsgált kérdésre helyesen válaszolt.

Érdeemes tudatosítanunk, hogy a tesztben két tényező versengett: a csoport felkészültsége és a tévképzet erőssége. A gimnáziumi csoportok felől a szakiskolai felé haladva egyre kisebb pontszám volt várható és szerepet kapott a tanulók teszteléshez való viszonya is. A csoportok eredményessége 22,6% és 40,7% közé esett, sorrendjüket 1-től 6-ig a tesztben elért átlagpontszámuk alapján rögzítettem (lásd az 1. táblázatot).

A teszt rávilágít arra, hogy a mechanika alapvető törvényszerűségeit a tanulók mennyire képesek valódi helyzetben alkalmazni. Elmondhatjuk, hogy az eredmények a fogalmak és törvényszerűségek ismeretének valós szintjét mutatják. A rokon válaszok közti korreláció mértéke jelzi, hogy a tanulók, ha nem is teljes rendszerességgel, de nagyrészt következetesen támaszkodtak a saját, esetenként téves elképzeléseikre, vagyis a hibás válaszok nem a véletlennek köszönhetőek. A kiugróan magas megjelenési arányok (pl. az *impetus* vonatkozásában az 5. vagy a 22. kérdésnél) az adott tévképzet nagyfokú elterjedtségét jelzik.

A 2. és 13. kérdések a hatás-ellenhatás törvényére irányultak, a tanulók mégsem tudták ezt a könnyen felmondható elvet alkalmazni. Ez azt mutatja, hogy a törvény nincs jelen az ismeretrendszerükben eligazító elvként. Talán nem is tudatosították teljes mértékben a törvény megkerülhetetlenségét. Ezen javíthatunk pl. úgy is, hogy a tanulóknak elmondjuk, a hatás-ellenhatás törvényének megszegése milyen ellentmondásokra vezet.

Az erő központi szerepet játszik a dinamika törvényeiben, a dinamika kulcsfogalmának számít. A hatás-ellenhatás törvénye az erő fogalmának szerves része, az erő fogalma a hatás-ellenhatás törvényének ismerete nélkül *nem teljes!* Az erő fogalma bármely vonatkozásának hiányos ismerete komoly gondot okoz.

Látszik, hogy bizonyos „könnyebb” helyzetekben a tanulóknak sikerül a tehetetlenség törvényét alkalmazniuk. Ilyen a körmozgás esete. Az ezzel összefüggő 4. kérdésre 60, a 10.

kérdésre pedig 62 tanuló adott helyes választ (lásd 3. táblázat). Természetesen ez is kevés a 114 válaszból, de jóval több az összes kérdésre adott sikeres válaszok átlagánál, ami 37. A tehetetlenség törvényével összefüggő 6. kérdésre (a sebesség, mint vektor megmaradása) 53 helyes válasz érkezett, de a sebesség nagyságának megmaradására vonatkozó 8. kérdésre már csak 26. A tanulók sikeressége tehát eltérő, attól függően, hogy a sebesség mely sajátosságairól volt szó.

A teszt a dinamika alaptörvényével kapcsolatosan nem tartalmaz olyan kérdést, ahol a gyorsulás, erő és tömeg összefüggését kellett volna közvetlenül megítélni. Tartalmaz viszont olyan kérdéseket, amelyekben lehetőség volt a dinamika alaptörvényével ellentétben álló válaszokat adni. Ilyen a 8. kérdés, ahol a sebesség változásának több formáját lehetett választani olyan körülmények közt, hogy a testre erő nem hat. A törvénnyel ellenkezik a 15. kérdés D válasza, a 17. kérdés D válasza, de a 17. kérdés B válasza is, ahol az látszik, hogy a válaszadó az erő növekedésekor a sebesség növekedésére számít, nem a gyorsulás növekedésére. Rá kell világítanunk arra, hogy az erő nem a sebességgel, hanem a gyorsulással van összefüggésben.

Ellentmond a dinamika alaptörvényének a rakéta mozgásával kapcsolatos 24, 25, 26 és 27 kérdés minden rossz válasza, illetve a 28. és 29. kérdés helytelen válaszai is. Itt azt érdemes kiemelni, hogy ez utóbbi hat kérdés esetében a maximális $6 \times 114 = 684$ pontból csak 181 pont született, ami 26,5%. Látható, hogy a tanulók könnyen elfogadják olyan állításokat, amelyek ellentmondanak a dinamika legfontosabb törvényének. Ez olyan szint, amikor már el lehet mondani, hogy a tanulók nincsenek birtokában a helyzet kiértékeléséhez szükséges lényeges ismereteknek, vagyis a gondolkodásuk már nem tükrözi a newtoni fizikát. A lényeges ismeretek birtoklása elengedhetetlen, hiányuk rengeteg hibához vezet.

A teszt dinamikai kérdéseken túl kinematikai fogalmak vizsgálatára is irányult, ugyanis a felmérések szerint ehhez a területhez is kötődnek tévképzetek [12]. Ilyen tévképzet pl. az, amelyben egy autó utolér egy másikat, és a tanuló az adott pillanatban a sebességük egyenlőségére következtet. Itt túlságosan kötődik a *helyzet* fogalma a *sebességhez*, vagy más előfeltételezés teszi a választ helytelenné. Bizonyos esetekben a tanulók a sebesség és a gyorsulás közt sem tesznek különbséget.

A kinematikai tévképzetekre a teszt 20. és 21. kérdése irányul. Ezeknél a 114 fős mintában a tanulók sikeressége 19% volt. Nem lehet megalapozottan elkezdni a dinamika tárgyalását a sebesség és a gyorsulás megfelelően kialakult fogalma nélkül, ezek a fogalmak a dinamika tárgyalásához is elengedhetetlenek. Nem lehet új fogalmakat tárgyalni azok ismerete nélkül, amelyekre az új épül. Ha ennek ellenére belevágunk a dinamika tárgyalásába, nagy a leszakadás

esélye és annak az esélye, hogy egyes tanulók csak ismeret-töredékekkel fognak rendelkezni. Ezek csak formális, a gyakorlatban alig használható ismeretek.

A homogén gravitációs térben történő mozgások kinematikájával a teszt 1, 3, 16, és 23. kérdése foglalkozik. Itt egyrészt azzal a tévképzettel találkozunk, hogy a nagyobb tömegű testek nagyobb sebességgel, tehát rövidebb idő alatt érnek a földre, és azzal, hogy a vízszintesen eldobott tárgyak (pl. lövedék) addig, amíg „elég nagy” a sebességük, nem esnek semennyit. Ez utóbbi tévképzet 6 alkalommal fordul elő az ágyúgolyót illetően és 1 alkalommal a repülőgépről lehulló golyó esetében, ami nem jelentős. A repülőgépes kérdésnél összességében viszont csak 22 helyes válasz született. Az ágyúgolyós kérdés a 65 helyes válasszal (57%) a legsikeresebben megoldott kérdések közé tartozik. Arra az elképzelésre, hogy a nagyobb tömegű tárgyak „hamarabb leesnek”, az 1. és 3. kérdés adható 2×14 lehetséges válasz 45%-a utal.

A tesztben megjelenik egy olyan (egyébként hidrosztatikai) elképzelés is, hogy a levegő nyomása a tárgyakat lefelé nyomja. Ez a tévképzet kisebb arányban mutatkozott meg, az erre vonatkozó válasz a tanulók kevesebb, mint egyharmadánál fordult elő (ez is elég sok).

A tévképzet a közegekben (folyadékokban és gázokban) fellépő nyomás fogalmát érinti, és lényegében azzal kapcsolatos, hogy a nyomást a tanuló vektoriális jellegű mennyiségnek hiszi. Ez bizonyára azért van, mert a nyomás vektorjellegű mennyiséget, erőt eredményez. Pascal törvényének tanításakor éppen ezért kell felhívni a figyelmet arra, hogy a nyomás nem vektormennyiség. Enélkül nem vittünk végig egy fontos gondolati ívet, emiatt pedig befejezetlen, bizonytalan marad a nyomás fogalmának kialakítása. A hidrosztatikai kérdésekkel részletesebben a hidrosztatikai teszt eredményeinél foglalkozom.

Az irodalomban említés esik olyan tévképzetről is, hogy a tárgyak nem is törekednének a Föld középpontja felé, ha nem venné őket körül a levegő. A gravitációs hatást a tanulók ebben az esetben a levegő jelenlététől teszik függővé [36], azt hiszik, hogy a tárgyak egy olyan szobában, ahol nincs levegő, lebegnének.

A kutatásban szerzett tapasztalataim megerősítették a kérdés időszerűségét. Látható, hogy a tanulási nehézségek bizonyos csoportja éppen a tévképzetek fogalmán keresztül ragadható meg. Ezért is fontos célkitűzésnek tekinthető a tévképzetek fogalmának minél jobb tisztázása. Az adatgyűjtés során tapasztalt tanulói hibák jellege és mennyisége alátámasztja, hogy a tévképzeteknek jelentős a tanulási folyamatra gyakorolt hatásuk.

A mechanikateszt feldolgozása során további lehetséges tesztkérdések ötlete is felmerült bennem, ami egy újabb mechanikateszt kidolgozásához vezetett elektronikus formában. Ezt a tesztet az elektronikus mellékletben helyeztem el „Alternatív mechanikateszt” néven.

5. A hidrosztatikateszt főbb eredményei és tanulságai

5.1 A csoportok eredményei és a tévképzetek megjelenési formája

A folyadékok és gázok mechanikájára vonatkozó tesztet összesen 186 gimnáziumi tanuló töltötte ki, három különböző budapesti gimnáziumból. A 9. évfolyamtól a 12. évfolyamig minden évfolyam bekapcsolódott, bár a 12. évfolyamot csak egy 5 tagú speciális tagozatos csoport képviselte, tekintettel arra, hogy ebben az évfolyamban nincs fizikaoktatás. Az 5. táblázat a tanulók számát mutatja az egyes évfolyamokban, valamint az átlagos pontszámukat, százalékban megadott sikerességüket és az össz-pontszámaik szórását.

Évfolyam	Létszám	Pontátlag	Elért maximális pont	Sikeresség	Az össz-pontszámok szórása
9.	93	3,5	9	32,3%	1,98
10.	19	3,7	8	33,5%	2,10
11.	69	3,0	9	26,9%	2,22
12.	5	6,4	8	58,2%	2,33

5. táblázat: az egyes évfolyamok eredményessége

Az elérhető pontszám 11 volt. Ennek megfelelően a 6. táblázatban 11 oszlop van. Itt tüntettem fel a százalékarányokkal együtt, hogy a négy évfolyam eredményeit összevonva az egyes kérdésekre hány helyes válasz született. A táblázat végén a 3B és 9B oszlopokban a 3. és 9. feladatból leválasztott kérdések eredményessége látható (a leválasztásról lásd a 3.2. pontban).

Kérdés	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	3B	9B
Helyes válasz	26	100	19	55	113	72	48	57	57	16	73
Százalék	14%	54%	10%	30%	61%	39%	26%	31%	31%	9%	39%

6. táblázat: a kérdésekre adott helyes válaszok száma

A tesztben tapasztalt tévképzeteket a következő áttekintés tartalmazza:

- A. annál nagyobb a folyadék nyomása, minél távolabb vagyunk a folyadék és a levegő érintkezési felületétől, függetlenül az edény alakjától

- B. a légnyomás a folyadékban annál inkább emeli a nyomást, minél közelebb vagyunk a folyadék és a levegő érintkezési felületéhez
- C. közlekedőedényekben a folyadékszintek úgy helyezkednek el, hogy az egyes szárazban egyenlő legyen a teljes folyadékmennyiség
- D. két azonos magasságban lévő pont közül ott nagyobb a folyadék nyomása, amelyik felett sűrűbb közeg található, függetlenül az edény alakjától
- E. közlekedőedények esetében a nyomás az edényeket alul összekötő cső közepén a legnagyobb, mert ott a két edényből származó nyomások összeadódnak
- F. a levegő nyomásának nincs szerepe a folyadék viselkedése tekintetében

A hidrosztatika néhány fogalomra, törvényszerűségekre és alapelvre épül. Ilyen a nyomás fogalma a folyadékokban és gázokban, a hidrosztatikai nyomás képlete, a közlekedőedények elve és Pascal törvénye. Ezt néhány további ismeret egészíti ki a Torricelli-féle kísérletről, a szivattyúról, a hidrosztatikai emelőről és a hidrosztatikai paradoxonról, nem utolsósorban pedig a nyomás skaláris mivoltáról. A hidrosztatika ismeretkörének jellegzetes eleme Archimédész törvénye, bár erre vonatkozó feladatot a hidrosztatikai teszt nem tartalmazott. A központi fogalom szerepét a nyomás tölti be.

Alapesetben, amikor egyszerre csak egy ismerettel kell a tanulónak megbirkóznia, az elsajátítandó ismeretek jól tárgyalhatók, jobb esetben kísérleti úton bemutatathatók, illetve be is bizonyíthatók. Azonban nem elég hatékony az ismeretátadás, ha az egyes részismereteket egymástól elszigetelten, egymásrautaltságukat kellően ki nem emelve tárgyaljuk. A tesztben tárgyalt kérdések többnyire olyanok voltak, hogy bennük több ismeret együttes alkalmazásáról volt szó. Az érdekes, iskolában nem tárgyalt helyzetek alkalmasak voltak arra, hogy kiderüljön, a tanult ismeretek mennyire váltak tartóssá, mennyire alakultak ki a köztük lévő kapcsolatok, mennyire húzódozott meg mögöttük a tényleges megértés. A teszt eredményeiből az rajzolódott ki, hogy a külön-külön esetleg elsajátított ismereteket képesek voltak felülírni az adott helyzetben a látszólag logikus, de a fizikának ellentmondó elképzelések. A tanulók megmentésére szolgál, hogy a kilencedik vagy magasabb évfolyamban csak a hetedik évfolyamos tananyagra támaszkodhattak, azóta nem kaptak megerősítést.

5. 2 A válaszokban megjelenő tévképzetek okainak elemzése

Az 1. feladatban az „N” alakú edény nyomásviszonyaira adott helytelen válaszok abból következtek, hogy a tanulók nem támaszkodtak a Torricelli-féle kísérlet tanulságaira és nem tudatosították a levegő nyomásának szerepét, vagy azt téves módon vették figyelembe. Emiatt

kétségbe vontak olyan alapismeretet, hogy az összefüggő (egynemű) folyadékban, azonos magasságokban egyenlők a nyomások. Szükség lett volna tehát a folyadékokban fellépő nyomásra és a légnyomásra vonatkozó alapismeretek együttes használatára.

A 2. kérdés szintén „N” alakú edényre vonatkozott és külön megvizsgálta az első kérdésben látott eset egyik vonatkozását. A tanulóknak csak egy egyszerű eldöntendő kérdésre kellett válaszolniuk. Lehetőségük lett volna tudatosítani, hogy az olyan higanyeloszlás, amilyen az első kérdésben előfordul, a légnyomás hatása nélkül nem maradhat fenn. Az eredményesség a teljes mintát (186 tanuló) figyelembe véve 54% volt, ami arra enged következtetni, hogy a kérdés lényegét a tanulók nem értették meg, valójában 50-50% alapon válaszoltak. A 12. évfolyamban (a specializált osztályban) a 2. kérdésben mind az 5 tanuló helyes választ adott, de közülük is négyen hibáztak az 1. kérdésben az azonos magasságban lévő pontok nyomásának összehasonlításakor. Ennek az lehetett az oka, hogy a Torricelli-féle kísérlet tapasztalatait nem kombinálták a nyomás mélységfüggésével.

A 3. kérdésben szintén elengedhetetlen volt a Torricelli-féle kísérletből adódó ismeretek alkalmazása. Az eredményesség csak 10% volt (lásd a 6. táblázatot). A tanulók a helytelen, $p_A > p_B$ vagy $p_B > p_A$ válaszokat közel egyenlő arányban választották (37% és 40%), és sokan nem adtak választ (13%). A külön kérdésként kezelt 3B kérdésben a tanulók 9%-a volt eredményes. Ebben a tanulók nem tudatosították, hogy a bezárt levegő nyomása csak kisebb lehet, mint a külső légnyomás, mert ahogy emeljük a bezárt levegő nyomását, a levegőt tartalmazó oszlopban a higany szint addig csökken, míg a külső légnyomást el nem érjük. Még nagyobb nyomás esetén a belső higany szint a külső alá süllyed. A 3B kérdés a nehezebbek közé tartozott, a százalékok arról tanúskodnak, hogy az adott helyzetben a tanulók nem találták meg a helyes támpontokat, a szükséges ismereteket nem alkalmazták.

A 4. 6. és 7. kérdés a közlekedőedények elvét célozta. A 4. feladatban a tanulók többsége úgy ítélte meg, hogy a cső vékonyabb szárában magasabb higany szintnek kell lennie (58%), de volt, aki az azonos higany szintek bejelölése mellett is azt hitte, hogy a nyomások a vastagabb szárban nagyobbak. Néhányan a mélységfüggést sem vették figyelembe, a nyomásnál csak a cső vastagságát tartották mérvadónak! Így a 186 tanuló közül csak 55 jelölt be helyes higany szintet, de közülük is hibás véleményt írt a nyomásról 16 tanuló. Néhányan a nyomásról nem nyilatkoztak. Mindebből az következik, hogy a feladatban a tanulóknak kevesebb, mint 20%-a igazodott el úgy, hogy helyesen lássa a fellépő nyomások szerepét a közlekedőedények elvének működésében. Ez nem jelenti azt, hogy a nyomás mélységfüggéséről a tanulók nagy része nem tudott, mert ennek az ismeretnek a megléte a helytelen folyadékszintet megadó 131 tanuló közül is felfedezhető 52-nél.

A 4. kérdéssel rokon 6. kérdésben elvárható lett volna az, hogy ugyanazok a tanulók adják a helyes vagy helytelen válaszokat. A 4. és 6. kérdések előző fejezetben végzett összevetéséből azonban az tűnik ki, hogy a válaszadásban a tanulók ilyen értelemben nem voltak túlzottan következetesek. Ez arra vall, hogy a körülmények jelentéktelen megváltoztatása is sokat változtatott a véleményükön. A közlekedőedények elvének teljes megértése lehetett volna az a körülmény, amely kizárta volna a tévedéseket. A teljes megértés magába kell, hogy foglalja a nyomásviszonyok megértését is.

A 7. kérdést csak a tanulók 26%-a oldotta meg helyesen. A válaszokban nagyfokú bizonytalanság mutatkozott meg. Közel ugyanannyi tanuló válaszolta, hogy a nyomás az edényeket összekötő cső közepénél a legnagyobb (22%) mint azt, hogy ott a legkisebb (25%). Ezek magas arányok a helyes válaszok arányához (26%) képest. Látszik, hogy két tévképzet versengett egymással: az az elképzelés, hogy a nyomások két oldalról összeadódnak, és az, hogy a nyomás nagysága kizárólag a vizsgált pont felett elhelyezkedő folyadékmennyiségtől függ (mintha egy vízszintesen futó vékony csőben akkor sem lehetne nagy a nyomás, ha össze van kötve egy magasabb nyomású hellyel). Ezek a hibák a nyomás skaláris mivoltának tudatosításával függenek össze.

Ezen a ponton eszünkbe juthat a nyomási potenciális energia (a nyomás és térfogat szorzata), amely Bernoulli-törvényével összefüggésben tanítható. A nyomási potenciális energia ismerete erősíti a nyomás skaláris mivoltának felismerését. Ennek a fogalomnak az elhagyása nem biztos, hogy könnyíti a tanulók helyzetén, ellenkezőleg, nehezítheti a nyomás fogalmának teljes kialakulását. A tananyagcsökkentés bizonyos esetekben az alapismeretek nem teljes, ezáltal nehezebb elsajátításához vezethet.

A nyomások tekintetében fellépő zavarok kapcsán látjuk, hogy a tévképzetek valóban a legalapvetőbb ismereteket érintik. Az alapoknál meghúzódó hiányosságok következményei számos helyzetben felbukkanhatnak, helytelen következtetésekre adnak lehetőséget. Ez aláhúzza a tévképzetekben rejlő kockázatokat és az alapfogalmak megértésének fontosságát.

A szívószálra vonatkozó 5. kérdés a légnyomás szerepének megítélésére irányult. A kérdés azon részét, ami a szívószál teljes kiemelése előtti folyamatra vonatkozott, kevesen értették meg helyesen, de ez nem is tartozott a könnyebb részkérdések közé. Annak az eldöntésében, hogy a teljes kiemelés után benne marad-e a folyadék a szívószálban, a tanulók 61%-a volt sikeres. A kérdésre jó eséllyel lehetett intuitív módon is helyes választ adni, csakúgy, mint a vele rokon 2. kérdésre, az indoklások viszont csak kevés esetben tükrözték a valóságot.

A 8. kérdésben („L” alakú edény) ismét előkerült a nyomás kérdése az edény azon részeiben, ami fölött függőleges irányban nincs folyadék (de követni lehetett az 1. és 2.

kérdésben szerepet játszó külső légnyomás szerepét is). A helyes megoldások alacsony aránya (31%) arra enged következtetni, hogy a tanulók nem tudatosítják kellő mértékben a nyomás irányfüggetlenségét és a mélységfüggés valódi értelmét. Leszűkített elképzelésből indulnak ki, a hidrosztatikai nyomással kapcsolatban egy felülről érkező hatásra összpontosítanak. Ez abból eredhet, hogy a hidrosztatikai nyomás képletének levezetésekor általában a folyadék súlyára, mint lefelé mutató erőre hivatkozunk. Ez azonban csak induláshoz lehet elégséges, a kifejtést feltétlenül szükséges tovább bővíteni a Pascal-törvénnyel kapcsolatos ismereteken keresztül. Pascal törvényének tárgyalása elválaszthatatlanul hozzátartozik a nyomás fogalmának kialakításához, és ezt erősen ki is kell domborítanunk. Meg kell említenünk, hogy a hidrosztatikai nyomás az edény függőleges falaira, sőt felfelé is hat, az erre utaló kísérleteket pedig meg kell vitatnunk. Alkalmos kísérleti eszköz a „vízbuzogány”. El kell mondanunk, hogy a nyomás mérésekor mindegy, hogy a mérőműszer „érzékeny” falát melyik irányba fordítjuk, adott mélységben ugyanazt az értéket mutatja (erre nézve lásd az egyik informatikai segédletemet a Hidrosztatika-könyvben). A nyomáshoz tehát nem tartozik irány.

Hangsúlyoznunk kell azt is, hogy egy dugattyú, külső légnyomás vagy a folyadék saját súlya következtében előálló nyomás közt nincs különbség, ezek egy adott helyen összeadódnak, kísérlettel nem lehet őket megkülönböztetni vagy különválasztani. Ezzel kapcsolatos gondokra utalnak azok a válaszok, amelyekben a válaszadó az azonos magasságokban lévő pontok azonos nyomásának elvét felborítva a levegőtől távolabb lévő pontban tartja a nyomást a nagyobbak, vagy éppen fordítva.

A 8. kérdésre a tanulók a helytelen válaszok változatos sokaságát adták, valamilyen hamis látszatnak megfelelően (lásd a tanulók megfogalmazásait is a 2. 3. pontban!). A válaszokból az is kitűnik, hogy a tanulók önmagában (Pascal törvényétől elszakítva) nagyrészt ismerték a mélységfüggést, ugyanis a 129 rossz választ adó tanuló közül 70-nél ez bizonyos fokig megállapítható volt.

A kilencedik, ugyancsak két részre bontott kérdés egyik felében csak *egyazon folyadékban* lévő, azonos magasságban felvett pontokban kellett a nyomásokat összehasonlítani, ami a tanulók 31%-ának sikerült. A második, tehát 9B kérdés az azonos magasságokban, de *nem ugyanazon folyadékokban* kijelölt pontokban lévő nyomásokra vonatkozott. Ez nehezebb volt, de lehetett volna úgy okoskodni, hogy *abban a vízszintes sávban*, ahol a higany és víz párhuzamosan van jelen, a két kérdéses pontot legalulra téve egyenlő nyomásokat kapunk, legfelül pedig a B pontban kapunk nagyobb nyomást (ugyanis ott a nyomás az egyik oldalon egyenlő a légnyomás és a vízoszlop nyomásának összegével, míg a másik oldalon csak a légnyomással). A nyomásváltozás a pontok függőleges mozgásakor mindkét oldalon lineáris

függést mutat, ezért a sáv belsejében a B pontban biztosan nagyobb a nyomás, mint az A pontban. A helyzetet feldolgoztam az egyik informatikai segédletben, lásd az elektronikus mellékletben.

A 9. A kérdésre is csak a tanulók kevesebb, mint egyharmada válaszolt helyesen, a nehezebb rész megválaszolása ilyen körülmények közt nem elvárható. A 9B jelű kérdés megoldottsága azért lehetett magasabb (39%), mert az intuitív módon választható felelet egybeesik a helyessel.

A feladatok áttekintéséből látszik, hogy a nyomással kapcsolatos részismereteket csak egymással szoros összefüggésben, hiánytalanul lehet elsajátítani, a teljes gondolatkörből részeket megspórolni nem lehet. Szemléletesen mutatja ez azt a meglátásomat, hogy csak egy teljes gondolati ív bejárása eredményezheti bizonyos fogalmak (pl. nyomás, erő) biztos elsajátítását, és ez teszi lehetővé a későbbiekben a fogalom használatát változatosabb körülmények közt is.

6. A tévképzetek okai

A fizika ismereteire a gyakorlati életben van szükségünk, néha közvetlenül egy egyszerű helyzetben, néha összetettebb helyzetben (pl. fejlett technológia használatakor). Ismereteink nem elhanyagolható részét szintén a gyakorlati életből nyerjük, de átvehetjük mások ismereteit is. Szerzett ismereteinket tovább is gondolhatjuk. Nem mindegy, hogy tapasztalataink hogyan tükröződnek gondolkodásunkban és az ismeretek közt milyen összefüggéseket látunk meg, vagy tartunk lényegesnek.

A meglévő ismeretek nem bizonyulnak mindig automatikusan felhasználhatónak. Az előző fejezetek elemzéseiből és tévképzetek átgondolásából látható, hogy ha a tanuló egy egyszerű ismeretet összetettebb helyzetben próbál használni, az hiányosságokat hozhat felszínre is és hibákat eredményezhet.

A tévképzetekhez az egyén egy bizonyos fokig ragaszkodik, hiszen okot lát erre. A hibás elképzeléshez ragaszkodó ember gondolkodását a környezete hajlamos az ő hibás gondolkodásmódjának tulajdonítani. Pedig lehet, hogy az illető csak ott hibázik, hogy nem a jelenség lényeges elemeiből indul ki. Konkrét példát véve pl. a tanuló azt hiszi, hogy az elektromos vezetőben az energia a vezető belsejében áramlik a feszültségforrástól a fogyasztóig (lásd a Tipikus tanulói tévképzetek c. 2. 3. fejezetet). Egy másik példa a kondenzátorlemezek távolításakor végzett munka: munkát végzünk a lemezeken, de ennek következtében a kondenzátornak kisebb lesz az energiája [S2]. Itt olyan paradox helyzettel állunk szemben, melynek feloldására fel kell használnunk a mechanikai és elektromágneses ismereteinket is. A vázolt esetekben a tanulók ismeretei a helyzet megítéléséhez hiányosak, nem minden ismeret birtokában mondanak véleményt.

A helyes döntéshez szükséges szempontok néha rendelkezésre is állnak, de nem biztos, hogy a tanuló mindent mérlegel. Ilyenkor *elhamarkodott döntésről* van szó (pl. ismert a levegő ellenállása, de a tanuló azt nem mérlegeli komolyan, amikor arról dönt, hogy a nagyobb tömegű testek nagyobb sebességgel csapódnak-e be szabadesés során). Néha viszont *nem* állnak a rendelkezésére a szükséges információk, ekkor *korai döntés* születik. A korai döntésekre néha az vezet, hogy az ember szeretné a kérdéseket mielőbb megválaszolni, lezárni.

Az elképzeléseink hibáját a magyarázat eleve téves szempontja is okozhatja. A tárgyak leesését pl. nem egy lefelé mutató *irány* létezése okozza, hanem a Föld gravitációs tere. Amíg ez a szempont nem vált ismertté, indokolni is lehetett, hogy a Föld nem gömbölyű, hiszen „az emberek és a házak a túloldalon leesnének róla”. Ma hasonló értelemben téves szempont az elektron mibenlétének megítélésakor az a nézet, hogy az elektron már csak azért sem lehet

hullám, mert pontszerű feketedéseket okoz az ernyőn. A feketedés pontszerűségét nem az elektron pontszerűsége okozza, de ennek a szempontnak a kiemelése haszontalanná teszi a további mérlegeléseket.

A szempontok megválasztásának fontosságát jól mutatja az az iskolai epizód is, amikor a tanuló a vezető ellenállásának megítélésakor arra következtetett, hogy a vastagabb vezető ellenállása a vékony vezető ellenállásánál nagyobb [S7]. Ha a tanuló rossz szempontot választ és arra gondol, hogy a vezetőnek „az a dolga, hogy ellenálljon”, akkor érthető, hogy vastagabb vezetőnél tételez fel nagyobb ellenállást (*minél több vezető, annál több ellenállás*). De ha azt a szempontot választja, hogy a vezetőnek „az a dolga, hogy vezessen”, akkor arra a következtetésre jut, hogy a vastagabb vezető vezet jobban, tehát kisebb az ellenállása. Ez a megtörtént eset is mutatja, hogy nem mindegy, milyen szemszögből közelítünk meg egy kérdést. A tévképzetek okai közt tehát számon tarthatjuk a megközelítési mód helytelen megválasztását is.

Érdekes látni, hogy a tanulóknak általában megvan a motivációja arra, hogy megértsék és magyarázzák a körülöttük lévő világot. Akiben ez nincs meg, annak tévképzete sem lehet, hiszen nem gyárt elképzeléseket a jelenségek működéséről. Ilyen ember bizonyára kevés van. A tévképzetek esetében viszont a motiváltság váratlan velejárójával találkozunk. Valaki igyekszik egy eseményt, jelenséget megmagyarázni, megérteni, csak hogy ez nem sikerül helyesen. A tanuló motiváltsága azonban természetesen pozitívum, és a tévképzet felszámolásának is alapvető feltétele. Tartsuk állandóan szem előtt, hogy a tévképzetek esetében nem egyszerű tévedésről, felületességről van szó, hanem látszólagos okokkal alátámasztott meggyőződésről, bizonyos jellegzetes csapdahelyzetekben.

A tévképzetek okainak tisztázása esélyt ad a tévképzetek elleni küzdelem hatékony formáinak a kialakítására. Az adott tévképzet elleni harc akkor éri el a célját, ha a tanuló tudatosítja a kérdés szempontjából lényeges összes körülményt és ennek alapján belátja, hogy az általa addig használt megközelítés nem helyes. Lehet, hogy a tanulónak közben újabb ismeretre kell szert tennie, és lehet, hogy csak a meglévő ismeretei közt kell a megfelelő összefüggéseket meglátnia. *Ez mindkét esetben az ismeretei szerkezetében beálló változás*, ennek kell a lehető legnagyobb esélyt adnunk egy tévképzet felszámolásakor. Egy tévképzetet csak akkor számoltunk fel, ha meggyőzően sikerül azt helyes elképzeléssel helyettesíteni.

Nézetem szerint a tévképzetek *nem* arra vezethetők vissza, hogy valaki *rosszul gondolkodik*, hanem sokkal inkább arra, hogy objektív okoknál fogva (pl. információhiány) nem szerez kellő áttekintést az adott kérdéstről. Az információhiány a tanuló esetében lehet mulasztásnak vagy az ismeretek rossz közlési módjának is az eredménye. Lényeges viszont, hogy bizonyos

hibalehetőségek magának az ismeretkörnek a logikai szerkezete miatt léteznek, ami objektív körülmény. Ez eredményezi azt, hogy bizonyos hibák szinte változatlan formában jelennek meg újra és újra.

A hibalehetőségek objektív létezését az is alátámasztja, hogy a tanulók és a tudósok körében gyakran ugyanolyan tévképzetek bukkannak fel, mégpedig a tudósok körében az ismeretlen terep bejáratlansága következtében, a tanulók esetében pedig az újdonság következtében. Egy tanuló minden tananyag esetén új felfedezés, belátás szükségességével szembesül. Tévképzet esetén nem követ el nagyobb hibát, mint amit korábban a tudósok elkövettek. Ez azt is jelenti, hogy a tévképzet felbukkanása a tanulók körében nem a gyengébb képesség jele. A gondolkodásmódnak nem kell hibásnak lennie ahhoz, hogy tévképzetre vezessen. Léteznek ügyes és kevésbé ügyes tanulók, körültekintő vagy kevésbé körültekintő tanulók, de a tévképzetek témáját többek közt azért is tekinthetjük önálló kérdéskörnek, mert az ügyesebb tanulók közt is nagyobb arányban vannak jelen.

A tévképzetek okainak vizsgálata megvalósulhat olyan irányból is, amely a tanulói fogalomrendszer fejlődésének pszichológiai vizsgálatán alapul. Ez a kognitív pszichológiára és a *fogalmi váltás* elgondolására épül, lásd [2]. Ebben az irányzatban a tévképzetek természetének pszichológiai vonásai kerülnek előtérbe. Ami a pszichológiai megközelítést illeti, úgy vélem, a tanuló gondolkodásmódja nem tartalmaz valamilyen tévképzeteket kiváltó vonást, és éppen ezért a tévképzetek lényegi magyarázatát az ilyen megközelítés nem is nyújthatja. Ugyanolyan logikával lehet valakinek tévképzete, mint helyes ismerete egy jelenségről.

Nézzünk további szakirodalmi példákat! John Clement [8] a tévképzetek kiküszöbölése céljából olyan helyzetek megteremtésének szükségességét javasolja, amelyekben a tanulók megfogalmazhatják és tudatosíthatják az előítéleteiket, hogy ezután összehasonlíthassák azokat a kísérleti tényekkel. Utal arra, hogy többek közt Fuller és Arons is ilyen stratégiákat javasol. A tanulókat laboratóriumba lehet vinni, ahol a mechanikai jelenségekkel kapcsolatban *kvalitatív* tapasztalatokra tesznek szert. Eközben jól megválasztott kérdésekre keresik a választ. Az osztályban lebonyolított páros-megvitatásoknak is haszna lehet. A szerző innovatív tanítási módszereket tart szükségesnek, amelyek a pontos megértés fontosságára helyezik a hangsúlyt.

Susan Gomez-Zwiep [19] utal arra, hogy számos szerző szerint kognitív konfliktust kell létrehozni a tanuló gondolatvilágában a tévképzet és a valóság közt. Beszámol a vizsgálatában részt vevő 3. 4. és 5. évfolyamokat tanító tanárok véleményéről, akik közt sokan tartják célszerűnek a kérdezős technikát. Vannak, akik elegendőnek tartják a tanulók egyszerű felvilágosítását. Néhányan úgy gondolják, nem lehet felszámolni a tévképzeteket. Sokan vélekednek úgy, hogy ha a tévképzeteket nem kezeljük időben, azok erősebben rögzülhetnek.

Van, aki a tanári személyiségtől, az osztályon belüli környezettől és az életkortól teszi függővé a tévképzetek megoldásának módját. A legtöbb tanár viszont nem tartja tényezőnek a kognitív konfliktus létrehozását, ami a cikk szerzője szerint azért van, mert a megkérdezett alsó tagozatos tanároknak nincs tapasztalata a felsős tanulók kognitív képességeiről.

A bemutatott elemzések nem irányítják rá a figyelmet a tanítandó ismeretek szerkezetének szerepére, pedig a hibalehetőségek objektív mivolta nézetem szerint főként ezen alapul. A szerkezeti összefüggések tudatosítása nélkül a tévképzetek kezelése nélkülöz egy lényeges szempontot, ezért az idézett forrásokban bemutatott módszerek csak olyan mértékig lehetnek sikeresek, amilyen mértékben hozzájárulnak a tanulók gondolkodásában a hiányzó ismeretek kialakításához.

Az ismeretek szerkezetének alapos mérlegelése a tananyag eredményes átadásának szükséges feltétele, főleg tévképzetekkel megterhelt tananyagok esetén. A belőle levezethető lépések ténylegesen megtervezhetők, a tanári munka eszközeivel pedig végrehajthatók. Röviden fogalmazva *a cél a szükséges tanulói ismeretek biztosítása és a köztük lévő összefüggések felismertetése, tudatosítva a tananyag szerkezeti összefüggéseiben jelenlévő csapdahelyzeteket.*

A tanulók gondolkodásmódja hosszú évek fejlődését tükrözi, és bár kétségkívül tükrözi az iskola hatását is, csak nagyon lassan változik. A tévképzet cáfolatát a gondolkodásmód megváltoztatására nem alapozhatjuk, hacsak nem azt nevezzük a gondolkodásmód megváltozásának, amikor valaki másképp strukturált ismeretekre, összefüggésekre tesz szert és azokat kezdi el használni. A tévképzetek természetét eredményező döntő hibát nem kereshetjük a tanuló gondolkodásmódjában.

Az ismeretek szerkezetére összpontosító stratégia nemcsak a tévképzetek megelőzésének fázisában használható, hanem a meglévő tévképzetek cáfolatában is. Egy elvontabb tévképzet esetében viszont egy kérdés eldöntéséhez gyakran meg kell várni egy perdöntő kísérletet. Elvontabb tévképzeteket bőséggel találunk a kvantumelméletben. A terület távol áll a tanulók gyakorlati tapasztalataitól, a tévképzetek megjelenését itt főként a szükséges információk hiánya vagy nem megfelelő értékelése okozza. Az itt megjelenő tévképzetek jellegzetes példái annak, hogy a tévképzet valamilyen helytelen gondolati művelet következtében alakul ki. Az ilyen hibáknak az esélye elméleti fejtegetések során nem elhanyagolható és indokolja a logikai következtetésekre való utalást a tévképzetek definíciójában – lásd alább a 7. 8. pontban. Ennek megfelelő tévképzeteket tárgyaltam [S1]-ben.

7. Az eredmények alapján megfogalmazott tézisek

Kiindulva a tanulói tesztek elemzése során tapasztalt hibák logikai sajátosságaiból és iskolai tapasztalataimból, a tévképzetek természetére és leküzdésük módjaira vonatkozó téziseket állítottam fel, melyeket az alábbi pontokban fejtek ki részletesen. Fő meglátásaim az ismeretek szerkezetével függenek össze a 7.1-től 7.4-ig terjedő pontokban. A bennük megfogalmazott szempontok olyan gondolati hálót képeznek, melyre alapozva tévképzetek ellen ható stratégiát lehet kialakítani. A tanítandó ismeretrendszernek objektíve létezik bizonyos szerkezete, amely a benne található ismeretek egymásrataltságán alapul (lásd a 2.1. pontban is). Ez az ismeretek átadására nézve meghatározott, kényszerű feltételeket eredményez, úgy is mondhatjuk, hogy az ismeretátadás folyamatának stratégiai vonatkozásait nagymértékben meghatározza. A szükséges feltételek teljesítésének hiánya nagyban rontja a munka hatékonyságát.

A 7.5. és 7.6. pontokban a korai megelőzés és kritikus gondolkodás szükségességére hívom fel a figyelmet, mint általános lehetőségekre. Ezek megelőzése fontos eszközöktől fosztana meg minket.

A 7.7. pontban az információs technológián alapuló lehetőségeket mutatom be. Munkám ezen része virtuális kísérleti eszközök létrehozására irányult. A programokban annak a lehetőségét teremtettem meg, hogy a tanulók *aktív felfedező tevékenységet* folytassanak egy-egy témakörben.

Téziseim sorát a definíciójuk kérdésére vonatkozó javaslatommal egészítem ki a 7.8. pontban. Olyan definíciót javaslok, amely a tévképzetek okainak átfogóbb rögzítését tartja szem előtt (lásd a 6. fejezet végét is).

A 7. 9. pontban a szemléletesség és a helyes szóhasználat jelentőségére hívom fel a figyelmet. Ez a tévképzetek szemszögéből tekintve nem elhanyagolható szempont, a bonyolultabb és elvontabb kérdéskörökben egyenesen kulcsfontosságú.

7. 1 A lényeges információk birtoklásának kérdése

A tanulók körében a mechanikai tévképzetekre irányuló tesztek eredményei alapján megmutattam, hogy tévképzeteik gyakran azzal függenek össze, hogy nem rendelkeznek az adott helyzet teljes megértéséhez szükséges valamennyi lényeges információval. Feltehető ugyanis, hogy egyes tévképzetek nem alakulnának ki, ha a tanulók a kellő időben rendelkeznének az adott kérdést érintő minden lényeges információval, ismerettel. Ismereten egyrészt tények ismeretét, másrészt tények közti összefüggések ismeretét értjük.

A tanulók mechanikára vonatkozó tapasztalatokkal már a fizikaoktatás megkezdése előtt rendelkeznek. Nagy valószínűséggel hoznak az iskolában mechanikai tévképzeteket is. Előbb-utóbb (viszonylag későn) találkoznak ugyan az iskolában olyan ismeretekkel, amelyek a hozott tévképzeteiket cáfolják, ezeket azonban sok esetben nem használják, hanem csak formálisan birtokolják. Ez azt jelenti, hogy ténylegesen nem értették meg őket. Pl. a tehetetlenség törvényéről hallanak, azonban azt gondolják, hogy a mozgáshoz erő kell. Ez azt jelenti, hogy a döntő információval tulajdonképpen nem rendelkeznek. Az, hogy a megütött golflabdára vonatkozóan a tanulók magas aránya (lásd a 4. fejezetben) azt hiszi, hogy a golflabdára a repülés teljes ideje alatt hat az ütés ereje, azt mutatja, hogy a tehetetlenség törvényét a tanulók jelentős része *egyáltalán* nem ismeri, vagy olyannyira *formálisan* ismeri, hogy azt közvetlen szituációban nem használja, nem is ismeri fel.

Hasonlóan az erő fogalmának hiányos ismeretére utal a hatás-ellenhatás törvényét érintő kérdésre adott rossz válaszok magas aránya a kilencedik és tizenegyedik évfolyamban.

Nyilvánvalóan egyszerű információhiányos állapotról van szó akkor, amikor a szemlélődő az arisztotelészi gondolkodásmódnak megfelelően azt hiszi, hogy „a mozgások fenntartásához erő kell”. Az arisztotelészi fizika ezt a „gondolatot” a mechanika egyik alapelveként kezelte, az iskola követői pedig sokáig fenn is tartották ezt a nézetet. Az ilyen gondolatkörben a szemlélődőnek nincs tudomása a tehetetlenség törvényéről, az a gyakorlati tapasztalat pedig, hogy egy tárgy vonszolásához erő kell, az idézett szemléletmód alátámasztásaként jelenik meg. Elmarad a jelenség minden részletre kiterjedő vizsgálata, a jelenségek kiértékelése egy lényeges információ (a tehetetlenség törvénye) hiányában történik meg.

Viszonylag egyszerű jelenség a feldobott labda vagy a megütött korong mozgása is. Az arisztotelészi fizikában az ilyen mozgások magyarázatához szükség van az *impetus* fogalmára, mely egy *átadható mozgatóerőt* képvisel. Mivel az eldobott tárgyak a tapasztalat szerint előbb-utóbb mégiscsak megállnak, mozgásuk közben csak *ennek a mozgatóerőnek a fogyásáról* lehet beszélni.

A tényleges teszteredmények mutatják, hogy az *impetus* gondolata gyakran felmerül, a tanulók szívesebben ragaszkodnak a „gyakorlati tapasztalatokhoz”, mint a meg nem értett iskolai ismerethez. Fel kell hívni a tanulók figyelmét arra, hogy a tehetetlenség törvénye a fizika egyik lényeges eredménye, amely azonban csak ritkán nyilvánul meg tisztán, valamilyen „zavaró” körülmény nélkül. Egyszerű körülmények közt a súrlódási erők általában akadályozzák a mozgást. Ha a tanulónak nincs ismerete a súrlódás jelentőségéről, akkor komoly esélye van annak, hogy az arisztotelészi fizika módszerével gondolkodjon, vagy arra az álláspontra helyezkedjen, hogy a „bizonytalan” iskolai ismereteknek a megfigyelések

ellentmondanak. A tehetetlenség törvényének tárgyalásából ezért nem maradhat ki a súrlódás szerepének tisztázása. A tanulók a súrlódást gyakran nem is tekintik erőnek [8].

A tévképzetekre a vázolt megközelítésben mint egy *információhiányos állapot* megnyilvánulására tekinthetünk [S7]. Az ismeretek átadása során arra kell összpontosítanunk, hogy a tanulók a megfelelő tényekkel ismerkedjenek meg a megfelelő sorrendben, a köztük lévő összefüggésekkel együtt. Stratégiánkat, tanári munkánkat ebből kifolyólag a közvetítendő ismeretek szerkezetének áttekintésével, elemzésével alapozhatjuk meg. Ez eredményezheti azt, hogy megfelelő tanulói hozzáállás esetén a tanulók ismeretrendszerük gördülékenyen fejlődjön és elhanyagolható legyen bizonyos tévképzetek megjelenésének esélye. Az információhiányos állapot ezzel szemben teret hagy a lényegre nem tükröző, pót-magyarzatok létrejöttének, a lényegtelen jegyek lényegesként való kezelésének és az így kialakult nézetek ismeretként való felhasználásának. A hasonló gondok elkerülése végett a tanár adott témakör tervezésekor gondolja át az információk *teljességének* kérdését, legyen ez a didaktikai munkájának fontos része.

Arra, hogy milyen szükség lehet egy fizikai kép kialakításához a vele összefüggő lényeges információkra, példa lehet a $\lambda = h / p$ képlet bevezetése a kvantummechanikában. Lehetőség van ugyanis annak bemutatására, hogy a képlet hogyan következik alapvetőbb törvényszerűségekből és ismeretekből, nevezetesen a hullámokra vonatkozó alapismeretekből és a relativitáselméletből. Az erre vonatkozó gondolatmenetemet [S8] részletezi. A de Broglie hullámok levezetését másként, de hasonló szellemben tárgyalja [37]. Az ilyen háttérismeretek megléte lehetővé teszi, hogy a kvantumelméletben központi szerepet játszó hullámfüggvény jelentésébe mélyebb betekintést nyerhessünk.

7. 2 Az egymáshoz szorosan kötődő ismeretek kérdése

A hidrosztatikai teszt eredményeinek tanulmányozása során arra a meglátásra jutottam, hogy a témakör bizonyos ismeretei közt olyan szoros az összefüggés, hogy esetükben szerves egésznek alkotó ismeretegyüttesről kell beszélnünk. Ilyenkor közülük bármelyik láncszem hiánya a többi ismeret megkérdőjeleződéséhez vezethet. Egységet alkotó információk előfordulnak a fizika más területein is és az ilyen esetekre, mint az egymáshoz szorosan kötődő ismeretek kérdésére hivatkozhatunk. [S7]

A hidrosztatikai nyomás mélységfüggésével, Pascal törvényével és a közlekedőedények elvével kapcsolatos hibák jellege és mennyisége mutatja, hogy a tanulók könnyedén figyelmen kívül hagyják ezen ismeretegyüttes bármely elemét, bár ezek mind ugyanannak a fogalomnak,

a nyomásnak a különböző vonatkozásait jelentik. A hibák arra utalnak, hogy a tanulók ismeretrendszerében nem alakult ki teljesen a nyomás fogalma, hanem csak formálisan, mert a fogalmat kialakító részismeretek csak izoláltan vannak jelen. Ilyenkor a fogalomra vonatkozó egyik vagy másik ismeret sem tekinthető önmagában teljes értékű ismeretnek, hiszen rá van utalva a többi ismeret meglétére és a köztük lévő kapcsolat ismeretére is.

Az állítást alátámasztja, hogy a tanulók a különleges alakú edényekben nem számoltak a hidrosztatikai nyomás mélységfüggésének jelentőségével (lásd az 5. fejezetben), nem alkalmazták a közlekedőedények elvét a változó keresztmetszetű csőben és a külső légnyomás hatása tekintetében nem számoltak Pascal törvényével. Ez azt jelenti, hogy a nyomás fogalmával összefüggő három részismeret (a hidrosztatikai nyomás mélységfüggése, Pascal-törvénye és a közlekedőedények elve) a tanulók gondolkodásában nem kapcsolódik össze úgy, hogy kissé bonyolultabb helyzetben egymást támogassák, ne egymás rovására működjenek. Így valójában a nyomás, mint összetettebb fogalom kialakulatlanságáról, elégtelen ismeretéről van szó.

Az egymással szorosan összefüggő ismeretek egymást támogatják, az összefüggésük ismeretének hiánya viszont nagyban megnehezíti felhasználásukat. A hidrosztatikai teszt 4. feladatban kiderül, hogy a kissé szokatlan alakú edényben a tanulók eltekintenek a közlekedőedények elvének használatától és a mélységfüggés figyelembevételétől. A 8. feladatban eltekintenek Pascal törvényének és a nyomás mélységfüggésének a figyelembevételétől. A 6. feladatban nem alkalmazzák a közlekedőedények elvét, a 7. feladatban pedig figyelmen kívül hagyják a nyomás mélységfüggését és Pascal törvényét. A tesztben megmutatkozó tévképzetek elkerülhetők lettek volna, ha a tanulók a nyomásról szóló ismereteket egységben, a köztük lévő összefüggéseket és kapcsolatokat megértve, tehát egymást támogató ismeretek rendszereként birtokolták volna.

A tanulók Pascal törvényével kapcsolatban úgy gondolkodtak, hogy a levegő nyomásának hatása a folyadék belsejében attól függ, milyen távol vagyunk (akár vízszintes irányok tekintetében is!) a folyadék és a levegő érintkezési felületétől.

A közlekedőedények elvével és Pascal-törvényével kapcsolatos ismeretek valójában elengedhetetlen információval egészítik ki a hidrosztatikai nyomásra vonatkozó azon ismeretet, hogy az függ a mélységtől. Az ilyen kapcsolódások meglétével a tanárnak tisztában kell lennie és az ismeretek átadása során ezt szem előtt kell tartania.

A mechanikatesztben ezzel párhuzamos helyzetet fedezhetünk fel az erő fogalma tekintetében. Bizonyos kérdésekben az erő úgy játszik központi szerepet, mint a nyomás az előző példában. A tehetetlenség törvénye, a hatás ellenhatás törvénye és a dinamika

alaptörvénye az erő egy-egy vonását mutatja meg, különböző kérdések az erő ezen vonásai közül irányulnak valamelyikre. A megfigyelt tévképzetekben a tanulók megfelelnek az erő egyik-másik vonásáról, látható, hogy azokat csak formálisan ismerik. Azokban a kérdésekben pl., ahol a tévképzetet úgy foglalhatjuk össze, hogy „nincs mozgás erő nélkül”, a tanulók figyelmen kívül hagyják a tehetetlenség törvényét. Azon tévképzetek esetében, ahol a sebességet tartják arányosnak az erővel, figyelmen kívül hagyják a dinamika alaptörvényét. A kölcsönható testek, pl. ütköző autók esetében figyelmen kívül hagyják a hatás-ellenhatás törvényét. Nyilvánvaló, hogy ez csak úgy lehetséges, ha a dinamika törvényeit csak formálisan ismerik, könnyen velük ellentétes döntéseket hoznak.

A dinamika három klasszikus törvénye (a tehetetlenség törvénye, a hatás-ellenhatás törvénye és a dinamika alaptörvénye) egymással szorosan összefügg. A hatás-ellenhatás törvényének megsértése mellett pl. két, egymással ütköző test eredetileg nyugalomban lévő közös tömegközéppontja elindul, ez pedig ellentmond a dinamika alaptörvényének.

Látjuk, hogy az erő fogalmának részletekbe menő megértése nagyon fontos, mert enélkül esélye van a jelenségek ellentmondásos, fizikai elveket sértő értelmezésének. Nem hagyható ki az erő fogalmából az erők vektorjellege, mert nélkülözhetetlen az erők összeadásakor. A szerepet játszó erőhatások közt feltétlenül figyelembe kell vennünk a súrlódási erőket is, ennek elmulasztása volt az Arisztotelészi fizika központi hiányossága. A testek mozgásának vagy nyugalomának a megítélésekor számba kell venni az összes rájuk ható erőt. Tudatában kell lenni annak is, hogy melyek azok az időintervallumok, amíg az erők hatnak. A tesztben elkövetett tanulói hibák többek közt ebből is erednek, egy erő a megszűnése után már nem befolyásolhatja a test további mozgását (lásd a 4. és 10. kérdésre adott válaszokat). Nem hat az ütés ereje a korongra sem, miután az ütő és korong érintkezése megszűnt. Ezt a 6 – 9. kérdésre adott helytelen válaszokkal kapcsolatban mondhatjuk el.

Összefoglalva mondhatjuk, hogy a tévképzetek egyes fajtáinak az az oka, hogy valamilyen összetettebb fogalom nem alakult ki a tanulóknál teljes mértékben, együtt a részismeretek közti összefüggésekkel. A részismereteket a tanulók nem birtokolják felhasználható módon, azokat meghatározott esetekben könnyen figyelmen kívül hagyják, sőt helyettesítik is valamilyen látszólag helyes ismerettel.

7. 3 A tananyagban fellelhető teljes gondolati ívek szerepe

A hidrosztatikai teszt eredményeinek tanulmányozása során arra a következtetésre jutottam, hogy a tévképzetek felbukkanása egyes esetekben ahhoz köthető, hogy a tanulók a tananyagban fellelhető gondolati íveken sikeresen túljutottak-e. Ha a közlekedőedények elvének

tárgyalásakor pl. azt is tudatosították, hogy a nyomás nem függ a folyadékmennyiségtől (hidrosztatikai paradoxon), akkor teljesebb, ezáltal pedig biztosabb ismeretekkel rendelkeznek a hidrosztatikai nyomásról.

Térjünk vissza a hidrosztatikához. Azon tanulók esetében, akik a 7. kérdésben helytelen választ adtak (74%), a hidrosztatikai paradoxon és a közlekedőedények nyomásviszonyainak elégtelen ismeretét tételezhetjük fel. A hibák jellegéből arra következtettem, hogy a közlekedőedények eredményes tanítása érdekében szükséges a hidrosztatikai nyomás és a hidrosztatikai paradoxon összefüggéseinek átlátása [S7]. Ki kell emelnünk, hogy a nyomás a közlekedőedények egyik-másik szárában nem az ott lévő folyadék össz-mennyiségétől függ, hanem az adott helyzetben csak a folyadékszint magasságától. Az ismeretek elemzése még teljesebbé válik azzal, ha tisztázzuk, hová nehezedik mégis nagyobb súly a nagyobb folyadéktömeg esetében a hidrosztatikai paradoxonban (lásd az elektronikus segédlet erre irányuló alkalmazását). Ezeknek a lépéseknek a végigjárása egy teljes gondolati ív végiggondolását jelenti. Ha ezt nem mulasztjuk el, akkor az adott kérdéskörrel a tanulók teljesebb és biztosabb ismeretekkel fognak rendelkezni.

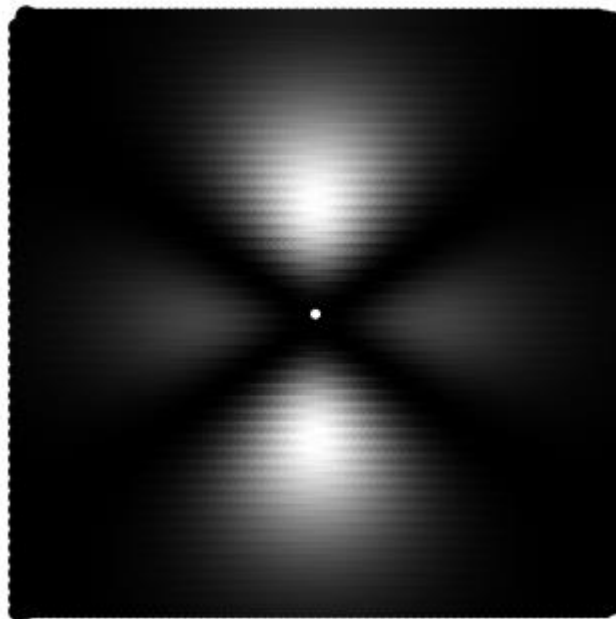
A mechanika területén hasznos gondolati ív bejárását jelenti annak végigtárgyalása, hogy a vízszintes síkon súrlódás mellett mozgatott doboz mikor gyorsul, mikor lassul és milyen körülmények közt marad a sebessége állandó (lásd az általam készített Geogebra-alkalmazás erre irányuló részét is). Ezzel megerősítjük a dinamika alaptörvényét, a tehetetlenség törvényét, és a gyakorlatban is előforduló helyzetben mutatunk rá a súrlódás jelentőségére. A kísérlet átgondolása egy viszonylagos egésznek alkotó ismeretkör teljes felhasználását igényli.

Az egyszerű feladatok megoldását egyetlen elemi gondolati ív bejárásának tekinthetjük, benne csak egy egyszerű ismeret felhasználására kerül sor. Az összetettebb feladatokban több, egymással összefüggő ismeretet erősíthetünk meg, a köztük lévő kapcsolatokkal együtt. Ennél viszont még fontosabb, hogy a tananyag bizonyos szakaszainak végére érve átfogó összefüggések válhatnak világossá. Ennek következtében még élénkebbé, szilárdabbá és tartósabbá válnak a tanulók ismeretei. Ez megalapozza a témakör ismereteinek felhasználhatóságát. A teljes gondolati ívek lezárását jelentő mérföldkövek számontartása a tanár munkáját hatékonyabbá teheti.

A jelentősebb gondolati ívek kapcsként tartják egységben az ismeretköröket. Ez azért fontos, mert egy félig megtárgyalt ismeretegyüttes esetleg el sem jut abba a fázisba, hogy tartósan beépüljön a tanulók gondolkodásába. A teljes gondolati ívek szempontjának érvényesítése nemcsak az ismeretek elsajátításának hatékonyságára van kedvező hatással, hanem a tévképzetek ellen is hat.

A teljes gondolati ívek szerepét a kvantumszámok értelmezésének kérdésén is szemléltetem, ami viszonylag komplex feladat. Ha meg akarjuk érteni, mit jelentenek a kvantumállapotok és kvantumszámok, ismernünk kell a gömbi koordinátákat, az elektron hullámjellegét, az állóhullámokat, a csomófelületeket az állóhullámokban (gömbszimmetrikus esetben csomógömbök, csomósíkok és csomókúpok), a hullám frekvenciájának (energiájának) függését a csomófelületek számától, a perdület fogalmát és függését a gömbhullámok szerkezetétől, beleértve a komplex hullámfüggvényre vonatkozó általános ismereteket is. Ha ezen ismeretek közül valamelyiket kihagyjuk, vagy csak formálisan átsiklunk felette, nem várható el az adott ismeretkörben teljes megértés.

A kvantumszámok értelmezését [S3]-ban részletezem. Az előadás keretén belül működés közben mutattam be egy egyszerű, de atomi elektronállapotok térbeli szerkezetét hatékonyan ábrázoló GEOGEBRA-alkalmazást is. Az alkalmazás az adott elektronállapotot leíró gömbfüggvényből számolva megjeleníti az elektron megtalálási valószínűségének eloszlását az atommag körüli térben a hidrogénatom esetében (lásd 3. ábra).



3. ábra: GEOGEBRA programmal ábrázolt elektronállapot

A konferenciakötetben megjelent írásomban kitérek arra, hogy az $n = 2$, $l = 1$ kvantumszámokkal jellemzett három lehetséges állapot (az m mágneses kvantumszám három lehetséges értékének megfelelően) nem lehet egymás térbeli elforgatottja, és éppen emiatt viselkednek különbözőképpen a mágneses térben. Félrevezető tehát őket egyszerűen p_x , p_y és p_z állapotoknak nevezni és úgy ábrázolni, mintha azonos térbeli formájuk lenne. Részletesebben

lásd a 9. 2. fejezetben, ahol a helyes és a helytelen ábrázolásmód is megtalálható (10. és 11. ábra).

A tananyagban fellelhető teljes gondolati ívek kérdése összefügg az ismeretanyag „kritikus tömeg” alá való csökkentésének kérdésével is. A tananyagcsökkentés egyes esetekben nem biztos, hogy tanulóknak könnyebbséget jelent, ellenkezőleg, bizonyos esetekben kétségessé teheti a célkitűzések elérhetőségét is. Bizonyos ismereteket nem lehet felszínesen elsajátítani. A kritikus pontokon való túljutás egy gondolatsor teljes megértését jelenti, vagyis az adott szakasz vázát adó ismeretek közti összefüggések teljes feltárását és tudatosítását. A tanár gondolja át, hogy a tananyagban belül melyek azok a jellegzetes gondolati ívek, amelyek teljes megértésére a tanulókat rá kell vezetni, legyen ez a didaktikai munkájának fontos része!

7. 4 Az alapelvek megerősítő szerepe

A megértés szoros összefüggésben áll az alapelvek ismeretével. A tanulók körében végzett kutatás eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az alapelvek tárgyalását a tananyag rendszerezési és megerősítő fázisában a tévképzetek kizárása egyik eszközeként lehet kezelni. A tévképzetek egyik jellegzetessége ugyanis éppen a makacs és ismételt felbukkanásuk. Az alapelvek kimondásával nemcsak betetőzzük a tanítási folyamatot, hanem gátoljuk is a tévképzetek kiújulásának lehetőségét, hiszen az alapelvek egy újabb, tévképzetek ellen ható biztosítékot jelentenek.

A tévképzetek kizárására meg kell ragadnunk minden lehetőséget, mert egyik lényeges vonásuk a tartósság. A tévképzettel rendelkezők hajlamosak a tévképzetük állandóságában, megingathatatlanságában hinni. Ez abból ered, hogy gondolkodásukban olyan rosszul értelmezett gyakorlati tapasztalatok és hibás következtetések vannak jelen, melyek indokul szolgálnak. A látszólagos indokok nélkül nem is beszélhetnénk valódi tévképzetről, csak egyszerű következtetlenségről vagy tévedésről.

Az ismeretkört összefoglaló, tömör alapelvek megismerése és megértése a tévképzetekkel szemben fontos eszközeként szolgálhat. Az alapelvek ismerete helyes következtetések levonását teszi lehetővé dedukció útján, de mint *ellenőrző eszköz* is működik. Ha a tanulót elvezetjük a tárgyalt témakör alapelveinek megértéséhez, akkor a tananyag olyan megerősítést kap, amely hatékony gátat képez a tévképzetek későbbi, újbóli felbukkanásával szemben [S7]. Meggyőző erővel bír, ha kiemeljük az ismeretek alapelvekkel való összhangját, vagy fordítva, de figyelmeztető jel az, amikor egy állítás ellentmondásban van valamilyen alapelvvel. Ha a

tanuló eljutott az alapelvek megértéséig, a későbbiekben már elemzéseket is végezhet belőlük kiindulva. Ez gazdagítja munkamódszereinek tárházát.

Alapelvekkel a fizika bevezető ciklusaiban, többnyire mint megmaradási törvényekkel találkozunk, pl. az energiamegmaradás törvénye, a lendületmegmaradás törvénye, a perdületmegmaradás törvénye. Ezek a törvények hatékonyan alkalmazhatók feladatmegoldásban és viszonylag széles körben vonhatók le belőlük következtetések. Megmaradási elv az anyagmegmaradás törvénye a folyadékok vagy gázok áramlásában (kontinuitási egyenlet), vagy az elektromos töltés megmaradásának elve (pl. a Kirchhoff-törvényeknél elektromos áramok esetében).

Fontos következtetéseket vonhatunk le a termodinamikai rendszerek viselkedésére nézve a termodinamika első főtételéből. A fajhővel kapcsolatban az ekvipartíció elvére támaszkodhatunk. A geometriai optikában ismert a legrövidebb idő elve, mely a legkisebb hatás elvének Fermat-elv néven ismert speciális formája. A legkisebb hatás elve a fizika legáltalánosabb elvei közé tartozik, ezért az ismeretek levezetésének kiindulópontja lehet nemcsak a mechanikában, hanem az elektrodinamikában is. A hullámok tanulmányozása során a Huygens-elvvel és a szuperpozíció elvével találkozunk, a legkisebb hatás elve meglátásom szerint tulajdonképpen Huygens-elvének és a szuperpozíció elvének az ötvözése.

Az alapelvek gyakran csak a józanész által megkövetelt feltételek teljesülését követelik meg. Alapelvként szolgálhat a végtelenek elutasítása, vagy alapelvként szolgálhatna a pontszerűség lehetőségének kizárása a részecskefizikában. Nyilván itt olyan területre érkezünk, ahol bizonyos kérdések megítélése interpretációs kérdéssé válik. Ilyenkor nem mindenki gondol ugyanarra egy-egy állítás vagy szó kapcsán. A tévképzetek egy része viszont valójában a józanésznek is ellentmond.

Az alapvető fizikai elvek felsorolásából nem hagyható ki a relativisztikus invariancia elve, mely szükséges feltételként az elméletek helyességének megítélésére is szolgál. A nemrelativisztikus mechanika törvényei nem invariánsak a Lorentz-transzformációra nézve. A Schrödinger-egyenlet nem használható relativisztikus esetekben, mert relativisztikusan nem invariáns. A relativitás elve a speciális relativitáselméletben az inerciarendszerek egyenrangúságát, más szóval az abszolút nyugalom és abszolút mozgás értelmezhetetlenségét mondja ki, összhangban a kísérletekkel (pl. Michelson-Morley-féle kísérlet). A fénysebességre vonatkozó azon elv, hogy az egymáshoz képest mozgó inerciarendszerekben adott helyen, vákuumban ugyanazt a fénysebességet mérjük, ennek tulajdonképpen a következménye, bár a speciális relativitáselmélet kiindulópontjaként ezeket az elveket két posztulátumként szokás

bemutatni. Ugyancsak kísérleti tény a tehetetlen és súlyos tömeg egyenlősége, mely az általános relativitáselmélet kiindulópontja.

A tanulóknak olyan alapelveket kell megtanítanunk, amelyekre az életkoruk és ismereteik alapján lehetőség van. A tudományok, így a fizika is, természetes úton jutnak el az alapelvek kimondásáig. Az oktatásnak azonban céltudatosan az alapelvek kimondása felé kell haladnia, a tanárnak pedig már a tanítási folyamat tervezésekor is lehetősége van számolni az alapelvek útmutató szerepével.

7. 5 A tévképzetek kialakulásának korai megelőzése

Kutatómunkám időszakában a tanítási gyakorlatomban arra a meglátásra jutottam, hogy a kulcsfontosságú ismereteknek léteznek egyszerű, bevezető jellegű formái, melyeknek a megfelelő életkorban való elsajátítása gátolhatja a tévképzetek kialakulását. Az ilyen ismeretek életkornak megfelelő formáit célszerű tudatosan keresni és kialakítani. Feltehető, hogy számos tévképzet nem is alakulna ki, ha a tanulók a kellő időben kapnának rájuk vonatkozó ismereteket.

Új ismeretek korai iskolai átadásának módját azért nem egyszerű megtalálni, mert fiatalabb korban az előismeretek korlátozott minőségével és mennyiségével kell számolni. Adott viszont annak távlata, hogy magasabb életkorban megtörténjen a téma átfogóbb, teljesebb tárgyalása, jó esetben az akkora esedékes tévképzetek felbukkanása nélkül

Iskolánk helyi tanterve szerint a tanulók már a hatodik évfolyamban ismerkednek a fizikával heti két órában. A tananyag kialakításakor az egyik szempontom az volt, hogy bemutassam a tanulóknak az iskolai fizikaoktatás és a fizika mint tudományág céljait, valamint a fizika tárgykörébe tartozó ismeretek megszerzésének módjait. Ennek szellemében kísérleteket mutatok be, elmagyarázom azok értelmét, mérésekre adok alkalmat, felkeltem a tanulók érdeklődését. Az elektromágnesesség területén bemutatom az elektromágneses indukció formáit. A kísérletek végzése közben fontos alapelveket beszélünk meg. Az elektromágneses indukció kapcsán megbeszéljük pl. a mozgás viszonylagosságát. Felhívom a tanulók figyelmét arra a csodálatos tényre, hogy az elektromos vagy mágneses erőter az anyagnak olyan formája, amelynél előfordulhat, hogy az egyik megfigyelő számára jelen van, a hozzá képest mozgó megfigyelő számára pedig ugyanakkor nincs jelen, vagy más erősségű. Megbeszéljük, hogy ez milyen egyszerű kísérletekkel mutatható be. Meglátásom szerint tehát már hatodik évfolyamban beszélhetünk olyan általános ismeretekről, mint a mozgás viszonylagossága, a mechanikai (és egyéb) kísérletek függetlensége a vonatkoztatási rendszer megválasztásától, a

súrlódás és a tehetetlenség viszonyáról [S7], stb. Munkám során nyilvánvalóvá vált, hogy az időtényező kihasználása lehetőséget rejt magában a tévképzetek megelőzése tekintetében is.

A súlytalanság állapota pl. egy űrhajóban olyan jelenség, amelyről a tanulók már hatodikos korukban is tudnak és érdeklő őket a jelenség mibenléte. Nagy valószínűséggel előfordul a tanulók körében olyan feltételezés is, hogy a súlytalanság olyan helyen lép fel, „ahol már nincs gravitáció”. A magyarázat során felhasználjuk a gravitációs kölcsönhatásra és a tehetetlenségre, illetve a centrifugális erőre vonatkozó, korábban tárgyalt ismereteket. A súlytalanság kérdése tapasztalatom szerint jól tárgyalható a gravitációs erő és a centrifugális erő egyenlősége alapján, miközben jól össze is foglalja és ki is egészíti a tanulók meglévő ismereteit. A téma alkalmas arra, hogy az égitestek gravitációs hatásának nincs határa.

A bemutatott esetekben természetesen nem lehet képletekre támaszkodni. A jelenségeket befolyásoló körülmények hatását a tanulók így is képesek figyelemmel követni. A kulcs az egymásra épülő ismeretek jól átgondolt összeválogatásában rejlik. A tanulók gondolkodási szintje tehát nem jelent akadályt.

Az elmondottak kapcsán az ismeretszerzési folyamatot ciklusaival kapcsolatban is tehetünk egy megjegyzést. A bevezető fázisokban célszerű olyan ismereteket tárgyalni, amelyek csak minőségi jellegűek, de alkalmasak az ismeretek közti összefüggések fontosságának megértésére is. A későbbiekben szélesíteni kell a tanulók ismeretkörét, és mennyiségi ismeretek leírására is képessé kell tenni őket. Magasabb életkorban az alapelvek felismertetését is célul kell kitűzni. Az alapelvek megkoronázzák az ismeretrendszert, magasabb rálátást eredményeznek a témakörökre, összefogják az ismereteket és biztossá teszik az ismeretrendszer szerkezetét. Az alapelvek megismerése lehetővé teszi deduktív ismeretszerzési és ellenőrzési módszerek alkalmazását. A ciklus sérülése ugyanakkor negatív következményekkel is járhat. A hidrosztatikai teszt fentebb tárgyalt eredményei pl. rámutatnak arra, hogy bizonyos ismeretek magasabb szintű tárgyalásának elmaradása a megerősítés elmaradását is jelenti, aminek következtében bizonyos korábban megtárgyalt és megcáfolt tévképzetek újra fel is bukhatnak [S6].

Az ismeretek tananyagba való bekerülésével kapcsolatban természetesen adódik egy másik meglátás is. A fizika új és szokatlan, kezdetben nehéznek tűnő ismeretei általában a jobb megértés következtében kerülnek be a tananyagba. Alátámasztja ezt az a régebbi fizikakönyvek forgatása során nyerhető tapasztalat is, hogy az adott kor újabb ismeretei viszonylag nehezen áttekinthető formában jelennek meg a könyvekben. A jó érzékkel kiválasztott, fokozatosan fontossá váló ismeretek tananyagba való beemelésén céltudatosan dolgozni kell, miközben el

kell végezni a szükségtelenné vált részek kiszűrését is. Az új ismeretek bekerülése nem kell, hogy a tananyag mennyiségének a felduzzasztását jelentse.

7. 6 Az információk kritikus elemzésének fejlesztése

Tapasztalataim szerint bizonyos esetekben a tanulók hozzáférhetnek ugyan a megértéshez szükséges lényeges információkhoz, de nem látják be elképzelésük hibáját. Más esetekben éppen ellenkezőleg, felületes információk alapján is felülbírálják eredeti véleményüket. Ez főleg az iskolán kívülről érkező információk feldolgozását érinti, de megnyilvánul iskolai körülmények közt is. A kritikus gondolkodás elsajátítására irányuló fejlesztő munka a tévképzetek ellen ható eszközként is felfogható.

Az információk kritikus elemzésének a fejlesztésére nem azért van szükség az iskolában, mert ott az ismeretek megbízhatatlansága a jellemző. Az iskolában a tanuló általában jól ellenőrzött és kipróbált ismereteket kap. Az iskolában a tanulóknak az információáradatban való eligazodás képességére kell szert tenni. Bizonyos alapvető iskolán kívüli ismeretszerzési formák mindig is jelen voltak (barátok, család), mások fokozatosan alakultak ki a közelmúltban. A legújabb csatornák (internet) egyre nagyobb teret hódítanak az információközvetítésben, az ebből adódó helyzet pedig felkészületlenül éri a tanulókat és a társadalmat.

Az információáradat mennyiségi jellemzői elképzelhetetlenül nagyok, minőségi jellemzői ugyanakkor éppen ezen oknál fogva meglepően alacsonyak. Rengeteg a fölösleges információ, és kifejezetten erősen hatnak a negatív információk. Ennek a természettudományos ismeretek közvetítése szempontjából is következményei lehetnek. A hátrányok közé tartozik, hogy a valóban hasznos információk elveszhetnek és észrevétlenek is maradhatnak. Ilyen helyzetben az értékes információkhoz nem is könnyű hozzáférni. Kulcsfontosságúvá válik a helyes válogatás képessége, miközben a befogadó főleg magára van utalva. Ami segíthet, az az önálló, kritikus gondolkodás képessége.

Az információk hitelességének, valóságtartalmának és értékének a megítélése az iskolán kívüli források esetében rendkívül fontos. A természettudományos tantárgyak oktatása igen alkalmas eszköze a kritikus gondolkodásra való nevelésnek, mert a hibák ezekben a tudományágakban tárgyilagosan kimutathatók.

Hamis az az állítás, hogy a mai embernek sokkal több információra van szüksége az életéhez és a munkája végzéséhez, mint korábban. Az állítás veszélyes is lehet, ha magában hordozza azt a sugallatot, hogy reménytelen feladat az információk ellenőrzésével is foglalkozni. Ennek a sugallatnak az elfogadása kiszolgáltatottá teszi az embert. Az iskolában

eltöltött éveknek elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy az ember a munkájára és az életben való eligazodásra felkészüljön. A mai kor embere sem képes adott idő alatt több gondolati műveletet elvégezni, mint a régebbi korok embere. Több ismeret alkalmazásának egyszerűen időbeli korlátai is vannak. A mai embernek legfeljebb csak *más ismeretekre* van szüksége, mint a korábbiaknak, miközben bizonyos általános ismeretekre mindenkor szüksége volt és szüksége is lesz.

A tanulónak, és általában az információk befogadójának a legtöbbször nincs meg a lehetősége arra, hogy a kapott ismeret helyességét megbízható módon, pl. kísérletileg ellenőrizze. Minden ismeret tanuló általi részletes ellenőrzése még a természettudományok és a fizika esetében is kivitelezhetetlen. Az ellenőrzés eszköze gyakran csak további információk felkutatása lehet. Kulcsfontosságú ezért az ezzel összefüggő készségek kialakítása és a kritikus gondolkodás elsajátítása. A tanár hosszútávú feladata, hogy elérje, a tanulók ne alkossanak felületes és elhamarkodott véleményt, legyenek tudatában annak, hogy a tények hiányos ismerete, vagy nem teljes körű figyelembevétele téves következtetésekre vezethet. A teljes megértés igényére kell vezetni őket [10], mert a teljes megértés állapota visszafordíthatatlan, a tévképzeteket kizáró állapotot jelent. Arra kell vezetni őket, hogy józanul ítéljék meg, valóban megértettek-e egy kérdést.

Az információk kritikus megítélésének képességére minden iskolai tantárgynak nevelnie kell. A tanár ezt azzal segíti elő a leginkább, hogy állandóan napirenden tartja az ismeretek közti összefüggések megtalálásának fontosságát. Ezt az is segíti, ha következetesen ellenőrzi, a tanulók milyen mértékben értették meg az ismereteket. A tanulónak éreznie kell, hogy csak akkor rendelkezik felhasználható tudással, hogy a szerzett ismeretek közt lévő összefüggéseket magabiztosan érti. *Az ismeret megérthetősége az ismeret helyességének, megbízhatóságának is fontos jele.* A téves állításokat, elképzeléseket ugyanakkor a más tényekkel való összekapcsolhatatlanságuk leplezi le a leginkább.

A kritikus gondolkodás képessége tehát egyúttal eszköz a tévképzetek ellen is [S7]. A teljes megértésre törekvő ember nem von le következtetéseket egyoldalú és nem teljes információkból, vagy legalábbis tisztában van az ilyen következtetések feltételes érvényességével.

Ha a tanuló készség szinten keresi az összefüggéseket és a teljes megértés igényével közelít az új információkhoz, nehezebben siklanak el előtte a kulcsfontosságú ismeretek és könnyebben reagál azokra a jelzésekre is, amelyek valamilyen félreértés, ellentmondás feloldásának szükségességére utalnak. Az ilyen tanuló képes szükség besetén megváltoztatni addigi gondolkodásmódját és magasabb szintre emelni az ismereteit.

A kritikus gondolkodás óvatos és körültekintő gondolkodást is jelent, mely minden szempontot igyekszik tudatosítani, de ugyanakkor képes kiemelni a lényegét is. A fizikaoktatásban a kritikus gondolkodás fejlesztésének az egyik eszköze az összefüggések kidomborításán túl a laboratóriumi mérések sorozata lehetne. Ez az ismeretek ellenőrzésének és megerősítésének az eszköze is. Sajnos ez a fajta tevékenység az iskolai fizikaoktatásban jelenleg nem kap kellő teret.

7. 7 Informatikai eszközök használata a tévképzetek leküzdésében

Kutatómunkámmal párhuzamosan olyan elektronikus tanulmányi segédleteket készítettem, amelyek cselekvő tevékenységre nyújtanak lehetőséget, emellett pedig igazodnak a téziseimben megfogalmazott és általam döntőnek tartott elvekhez. Kimutattam, hogy a létrehozott elektronikus segédeszközök a tanulók önálló tanulási folyamatát és az órai munkát is segíthetik.

A tévképzetek cáfolatának hatékony eszköze a kísérlet. Ideális esetben a tanulók valós kísérletet végezhetnek az adott kérdéskörben és közvetlen tapasztalatokra tehetnek szert. Rosszabb laboratóriumi felszereltség esetén viszont a valós kísérletek előnyeinek legalább egy részét átmenthetjük egy szimulált kísérletbe. Munkám ezen része ennek megfelelően virtuális kísérleti eszközök létrehozására irányult. A programokban annak a lehetőségét teremtettem meg, hogy a tanulók *aktív felfedező tevékenységet* folytassanak egy-egy témakörben (mechanika, hidrosztatika, optika és atomfizika), különös tekintettel az ott előforduló tévképzetekre. Az általam létrehozott elektronikus segédletek kipróbálhatók az elektronikus melléklet anyaga alapján.

7. 8 A tévképzetek definíciója

*A fizika egyes ágaiban felbukkanó tévképzetek elemzése során figyelemmel követtem, hogy a tévképzetek indokai nem mindig gyakorlati, közvetlen tevékenységből származnak, hanem bizonyos esetekben tisztán elméleti úton, állítások, információk továbbgondolásával születnek [11]. Nézetem szerint szükség van ennek a kettősségnek a megjelenítésére a tévképzetek definíciójában is. **A tévképzeteket eszerint olyan hibás, a tudományos nézeteknek ellentmondó nézeteknek kell tekintenünk, amelyek vagy valamilyen gyakorlati tapasztalat vagy logikai következtetés alapján indokoltnak látszanak.***

A tévképzetekre vonatkozó elemző munkám során megfogalmazódott bennem az az igény, hogy pontosabban rögzítsem, mit célszerű tévképzetnek tekintenünk. Kiindulópontul a

szakirodalomban fellelhető definíciók szolgáltak, de a tévképzetek fogalmát annak alapján próbáltam meg pontosítani, hogy a témakörben végzett kutató munkám tapasztalatai alapján mely ismérvek bizonyulnak a legszorosabban és leglogikusabban a tévképzet fogalmához köthetőnek.

Egységesen használt, viszonylag véglegesnek tekinthető meghatározása a tévképzeteknek nincs, több munka áttanulmányozása után nyerhetünk csak képet arról, mit is érthetünk tévképzeteken. Ez sokféleségük, minden korosztályra való kiterjedtségük okán bizonyos fókig érthető is. Mivel bonyolult, sok területen megnyilvánuló jelenségről van szó, születhetnek meghatározások az egyik vagy másik terület igényeinek megfelelően, az adott terület jellegzetességeiből kiindulva.

A jelenségkörben használatos elnevezések száma nem kevés, a szakirodalomban többféle szó jelez hasonló fogalmat. Olyan szavakról van szó (lásd a 2.1. pontban is), mint pl. téveszmék, tévhitiek, hiedelmek, előítéletek, félreértelmezések, téves interpretációk, naiv elképzelések, primitív elképzelések stb. Ezeknek a tartalma sem igazán rögzített. A használt elnevezések teljesebb áttekintését találjuk Korom Erzsébet fentebb már idézett írásban [2]. [38] -ban a következő definíciót találjuk: „A tévképzetek (misconceptions) a gyerekek vagy akár felnőttek tudásába tartósan beépülő hibás elképzelések, a jelenleg elfogadott tudományos nézetekkel össze nem egyeztethető fogalmak, fogalomrendszerek, a környezet egyes jelenségeiről alkotott modellek, amelyek mélyen gyökereznek és a tanításnak is ellenállnak”.

Annak, hogy minek tartják a tanárok a tévképzeteket, bőséges összefoglalását látjuk [19]-ben.

A tévképzetek fogalmának a leglényegesebb és legáltalánosabb ismérveit a bevezető részekben körvonalaztam. A leírás tükrözi az egyes meghatározások legfontosabb közös részét. Munkám során beigazolódott a tévképzetek számos ismert vonása, pl. a feltűnően nehéz javíthatóság. Éppen ez az a momentum, ami miatt a tévképzetek kérdésével mint sajátos problémával foglalkozunk. A nehéz javíthatóságot a tévképzet mögött meghúzódó magyarázó mechanizmus okozza, ez emeli ki a tévképzeteket az egyszerű tévedések közül. A tévképzetek esetében már kialakult a tanuló gondolkodásában a tények és információk közt valamilyen kapcsolat, az azonban hibás.

A magyarázó mechanizmus valamilyen tapasztalaton, meglátáson alapul. Tapasztalatot az egyszerűbb esetekben a jelenség közvetlen megfigyeléséből is nyerhetünk. Ha egy tárgyat elengedünk, az a földre hullik. Ez a tapasztalat a látványból azonnal következik, és könnyen rájövünk arra is, hogy az esést ugyanaz az erő indítja el, amely miatt a nagyobb tömegű tárgyakat nehezebb felemelni. A következtetés levonásához itt nem szükséges összetett logikai

műveletsor. Annak viszont nem látjuk közvetlenül az okát, hogy golyók ütközésekor bizonyos esetekben az egyik állva marad, az ok megtalálásához további mérések és számítások szükségesek. Ilyen tapasztalathoz csak bonyolultabb logikai úton juthatunk.

Egyre bonyolultabb jelenségeket vizsgálva egyre távolabb kerül egymástól a közvetlen kísérleti eredmény és a magyarázatát adó elképzelés. Bonyolultabb felszerelésre is szükségünk lehet az elképzelés kialakításához. Egyre több a hibázási lehetőség. És még nem is beszéltünk az olyan esetekről, amikor többféle magyarázat kínálkozik annak függvényében, hogy milyen alapfeltevésekből indultunk ki, milyen szempontok alapján közelítettünk meg egy-egy kérdést.

A viszonylag közvetlen, gyakorlati tapasztalattól az elvont logikai indokok láncolatáig húzódó széles skála indokolja, hogy a tévképzetek definíciójában mindkét lehetőségre felhívjuk a figyelmet. A tévképzeteket célszerű ezért olyan téves elképzeléseknek tekintenünk, amelyek ellentmondanak a tudományosan elfogadott ismereteknek, de valamilyen gyakorlati tapasztalattal vagy logikai úton *látszólag* alátámasztottnak látszanak. Ily módon figyelemmel követjük a tisztán elméleti úton keletkező tévképzetek osztályát is, másrészt kizárjuk azokat a jelenségeket, amelyek nem tévképzetek, mert esetükben a tévképzettel rendelkező személy nem rendelkezik indokkal a téves állítás alátámasztásához. A pusztán általános tanulási nehézségek közé sorolható jelenségeket kizárjuk, ezek más jellegű törődést igényelnek.

Az általam javasolt általánosabb megközelítés a tévképzetek széles körének egységes felölelését teszi lehetővé. A modern fizika területére eső tévképzetek jellemzően olyanok, hogy távol esnek a köznapi tapasztalatoktól és az elméleti következtetések kategóriájába sorolandók.

7.9 A szemléletesség és a szavak megválasztásának jelentősége

Abban, hogy egy tanuló milyen elképzelést alakít ki magában egy jelenségkörről, szerepe van az információ-átadás során használt szavaknak és a szemléletességnek is. Jellemző példákat találunk erre a kvantumelméletben. A kvantumelmélet tanulmányozójának szüksége van a szavak mögött meghúzódó érthető fizikai képekre, a valóságnak szemléletes, logikailag ellentmondásmentes és teljes formájára. Ha ez nincs meg, nem mondhatjuk, hogy az elmélet érthető képet nyújt az adott területről, ez pedig komoly hibákhoz vezethet, elsősorban pedagógiai szempontból.

A kvantumelmélet témájában publikáló szerzők a hullám-részecske kettősség elemzésekor általában nem fogalmaznak meg kérdést arra vonatkozóan, hogy mi az anyag *létezési módja*. A szemléletesség szempontjából tekintve ez alapkérdés. Amikor arról olvasunk, hogy az elektron se nem hullám, se nem részecske (hiszen bizonyos kísérletekben hullámként, bizonyos

kísérletekben pedig részecskeként viselkedik), akkor tulajdonképpen a *dualitás* álláspontját olvassuk. Ez az álláspont azon túl, hogy nem is rögzíti egyértelműen, milyen értelemben használja a *részecske* és *hullám* szavakat, inkább bizonygatja, hogy a kérdéssel nem is lehet mit kezdeni.

A 9. 6. pontban a források elemzése kapcsán bővebben elemzem a szemléletesség és a szóhasználat jelentőségét. Azt is jelzem, hogy a kvantumelmélet mögött meghúzódó realitás megértése és a vitás kérdések egyértelműbb tisztázása milyen hullámfogalmakra építve lehetséges még szemléletesebben.

8. Az ismeretek elsajátításának elektronikus támogatása

A tanulás megkönnyítésére a napjainkban elérhető elektronikus eszközök lehetőségeinek a kiaknázásával elektronikus segédleteket készítettem. Ezek a kulcsfontosságú ismeretek bemutatását és jobb megértését célozzák. Azt a célt is szolgálják, hogy a tévképzetek kísérletezés útján való kiküszöbölése legalább virtuális környezetben támogatott legyen. A segédleteket Geogebra-könyv formájában tettem hozzáférhetővé az interneten, de az elektronikus mellékletben is közlöm. A közzétett tananyag a mechanika és hidrosztatika alapvető fejezeteit fogja át, de kitér az optika és atomfizika egyes kérdéseire is.

Az elektronikus segédletek a tévképzetek kiküszöbölését azáltal segítik, hogy jobban megvilágítják a tévképzettel szemben álló helyes ismereteket. Az ismereteket úgy építettem fel, hogy a tanulók hozzáférjenek a kritikus kérdések megítélését segítő minden lényeges információhoz. Az információknak viszonylag teljes láncolatát hoztam létre, ügyelve az egymásra-épülésükre, tehát a közlésük helyes sorrendjére. A közzétett elektronikus segédletek felépítése a téziseimben megfogalmazott elméleti útmutatásaimat is szem előtt tartják.

Egyes esetekben az általam előnyben részesített módszereket alkalmazom, pl. a lendület fogalmának korszerű kialakítása érdekében több oldalról világítom meg a tömegközéppont fogalmát. Ez a tehetetlenség törvényének és fogalmának kialakításához is segítséget nyújt.

Több oldalról világítom meg a mozgások viszonylagosságának kérdését és a gyorsulás fogalmát is. Elengedhetetlen, hogy ezeket az ismereteket a tanulók önállóan tudják használni. A gyorsulás fogalmához a kinematikában lényeges tévképzetek kötődnek, és a fogalom ismerete előfeltétele a dinamika megértésének is.

A tananyagban bonyolultabb kísérleti helyzetek is helyet kaptak, amelyek inkább az összetettségük okán vezetnek helytelen következményekre. Ilyenek pl. a hidrosztatikában a többféle folyadékot tartalmazó rendszerek. Ezek tanulmányozásának haszna abban mutatkozik meg, hogy a tanulók összetettebb helyzetekben erősíthetik meg ismereteiket.

Lényeges, hogy a képernyőn vagy kivetítőn megjelenő munkalapok **interaktív tevékenységre** nyújtanak lehetőséget. Ezt a tanuló rögtön felfedezi, ha áttekinti a munkafelületet. A szimulációkat úgy szerkesztettem meg, hogy egyes paramétereit, pl. egy jármű mozgására vonatkozó feltételeket (kiindulási hely, gyorsulás, kezdősebesség), vagy a hidrosztatikában az alkalmazott folyadékok sűrűségét, a légnyomást stb. egy adott tartományban meg lehessen választani. A hidrosztatikai segédletben előfordul mozgatható nyomásmérő eszköz használata is. Az így kialakított oldalakon tehát a tanuló maga tervezheti

meg a kísérleteket, maga tehet fel kísérleti úton megválaszolható kérdéseket. Az egyes beállításokat szükség esetén kísérőszöveg magyarázza, pl. ha ütközések vizsgálatakor a beállított kezdőértékeknel nem kerül sor a golyók ütközésére, vagy „túl messze” ütköznenek, ami a képernyőn már nem látható. Néhány olyan kísérlet, amely jellegzetes végkimenetelhez vezet, előre megtervezetten áll rendelkezésre, és a rá vonatkozó beállítások gombnyomással létrehozhatók. A tanuló tevékeny szerepvállalásának igen nagy a jelentősége és haszna.

A beállítható paraméterek értékei számolásra is alkalmat adnak, az ilyen számítások eredményét a program sok esetben közli. A munkafelületen megjelennek a szükséges képetek és a behelyettesítendő számértékek, a megfelelő egység kíséretében. A számítások átgondolása időigényesebb, de az ismeretek elmélyítését és további képességek gyakorlását teszik lehetővé.

Az elektronikus segédletek a mechanika és a hidrosztatika kulcsfontosságú ismereteinek megvilágítására irányulnak.

A mechanika alapfogalmaira vonatkozó anyag a vonatkoztatási rendszer, a gyorsulás és az erő fogalmát, a dinamika törvényeit, a súrlódás jelentőségét, a centrifugális erőt és a tömegközéppont fogalmát mutatja be, ezen ismeretek alkalmazásaként pedig az ütközések tanulmányozására nyújt lehetőséget. Készítettem egy elektronikus tesztet is, mely lehetővé teszi a gyors visszajelzést, illetve a jellegzetes tévképzetek felkutatását és statisztikai értékelését.

A folyadékok mechanikájára vonatkozóhozó elektronikus segédlet hasonló szellemben tárgyalja a hidrosztatika kulcsismereteit.

További kulcsfontosságú fogalmak tanulmányozásához használható önálló elektronikus segédleteket készítettem a geometriai optika és a hullámtan területén (a gömbtükrök fókuszpontja, leképezés gömbtükrökkel, a törés törvénye és a legrövidebb áthaladási idő összefüggése, sugár áthaladása gyűjtőlencsén és szórólencsén változtatható törésmutatók és görbületi sugarak mellett, leképezés lencsékkel, interferencia kettős résen, interferencia vékony rétegen). A törés törvényének a legrövidebb áthaladási idővel való összefüggését bemutató segédletem túlmutat az optika keretein és a modern fizikában kulcsfontosságú hullámtan egyik alap-összefüggését, a Fermat-elvet mutatja be interaktív formában.

8. 1. Az appletek létrehozása és jellemzése

A GeoGebra felhasználói felületén elkészített dinamikus munkalapok egyszerűen exportálhatók a GeoGebra honlapjára. A felületen lehetőség van a **Fájl** → **Export** → **Dinamikus munkalap mint weblap (HTML)** menüpont kiválasztására, aminek következtében létrejönnek és feltöltődnek a szükséges állományok. A feltöltött dinamikus munkalap egy appletet tartalmaz, amihez feltöltéskor, esetleg később is, megjegyzéseket és

magyarázatokat fűzhetünk. A létrehozott tartalom bármely böngészővel megtekinthető. A GeoGebra mint program lehetőségeit áttekintő kézikönyv a <https://wiki.geogebra.org/hu/Kézikönyv> címen érhető el.

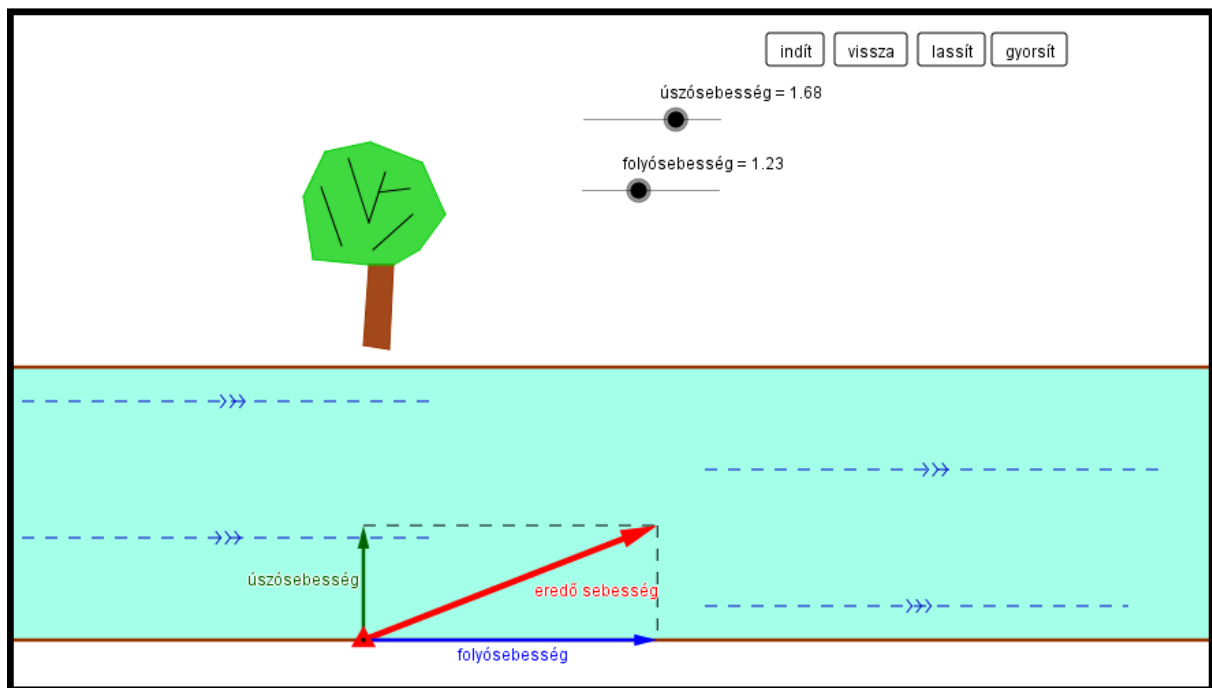
A GeoGebra honlapján lehetőség van a dinamikus munkalapoknak ún. GeoGebraBook-ban (GeoGebraKönyv) való összekapcsolására. Ekkor az egyes munkalapok, tehát az appletek a hozzájuk feltöltött kísérőszöveggel, a megjelenített tartalomjegyzéken keresztül tetszőleges sorrendben elérhetők. Az adott helyről lapozni lehet mindkét irányba.

A honlapon három Geogebra-könyvet, egy **Mechanika-**, egy **Hidrosztatika-**, valamint egy **Optika és atomfizika-**könyvet hoztam létre. A Mechanika-könyv tartalmához kötődve egy újabb, elektronikus formában használható mechanikatesztet is létrehoztam. Az elektronikus könyvek a tanulók számára hozzáférhetők az interneten a GEOGEBRA honlapján.

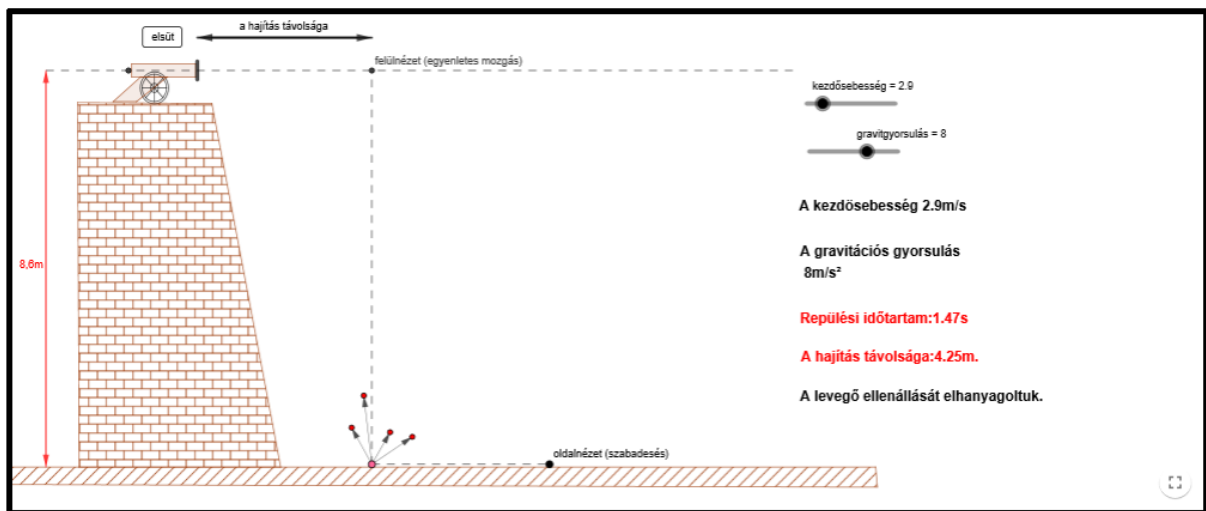
8. 2. Az elektronikus mechanikakönyv tartalma

A könyv az interneten a következő címen érhető el: <https://www.geogebra.org/m/Enzj8NkB>

1. Relatív mozgás: Két autó sebességét lehet megválasztani, a program a relatív sebességüket a megadott számértékek alapján értelmezi és megjeleníti.
2. Relatív sebesség: A hajó és a madár egymással szemben is mozoghat
3. Merőleges sebességek összeadása (4. ábra): Az úszó különböző úszósebességek esetén más és más szögben és más-más idő alatt képes a folyó túloldalára érni
4. Gyorsulás és út: Az elinduló autó azonos időtartamok alatt egyre nagyobb utakat tesz meg. Az azonos időtartamok eltelése hanghatással is jár.
5. Gyorsulás és idő: Az autó az azonos útszakaszokat egyre rövidebb idő alatt teszi meg. A hanghatás kiemeli az eltelt időszakaszok rövidülését.
6. Gyorsulások összehasonlítása: Két autó egymáshoz viszonyított mozgása látható, az autók kezdősebessége, indulási helye és gyorsulása beállítható. Egy kísérlet előre megszerkesztett paraméterekkel is elvégezhető.
7. Szabadesés: Egy fenyőfa hegyének magasságából esik két azonos méretű, de különböző tömegű gömb, megválasztható gyorsulással; az egyik gömb késleltetve való elengedése is vizsgálható.
8. Vízszintes hajítás (5. ábra): A program egy ágyúgolyó súrlódásmentes mozgását modellezi, beállítani a golyó kezdősebességét és a gravitációs gyorsulás értékét lehet.



4. ábra: a merőleges sebességek összeadását szemléltető Geogebra-alkalmazás



5. ábra: a vízszintes hajtás vizsgálata a Geogebra-alkalmazásban

9. Erők összeadása: A kísérletben kettő, három vagy négy erő vektoriális összeadása tanulmányozható.
10. Eredő erő irányába történő mozgás: A testre ható két erő nagysága és iránya beállítható, ennek alapján kell eltalálni, milyen irányba indul majd el a test.
11. A hatás-ellenhatás törvénye: Változtatható tömegű és sebességű kocsik ütköznek rugalmasan tömegközépponti vonatkoztatási rendszerben, ahol a közös

tömegközéppont nyugalomban van; a köztük ható erők nagysága az ütközés folyamán folyamatosan azonos nagyságú.

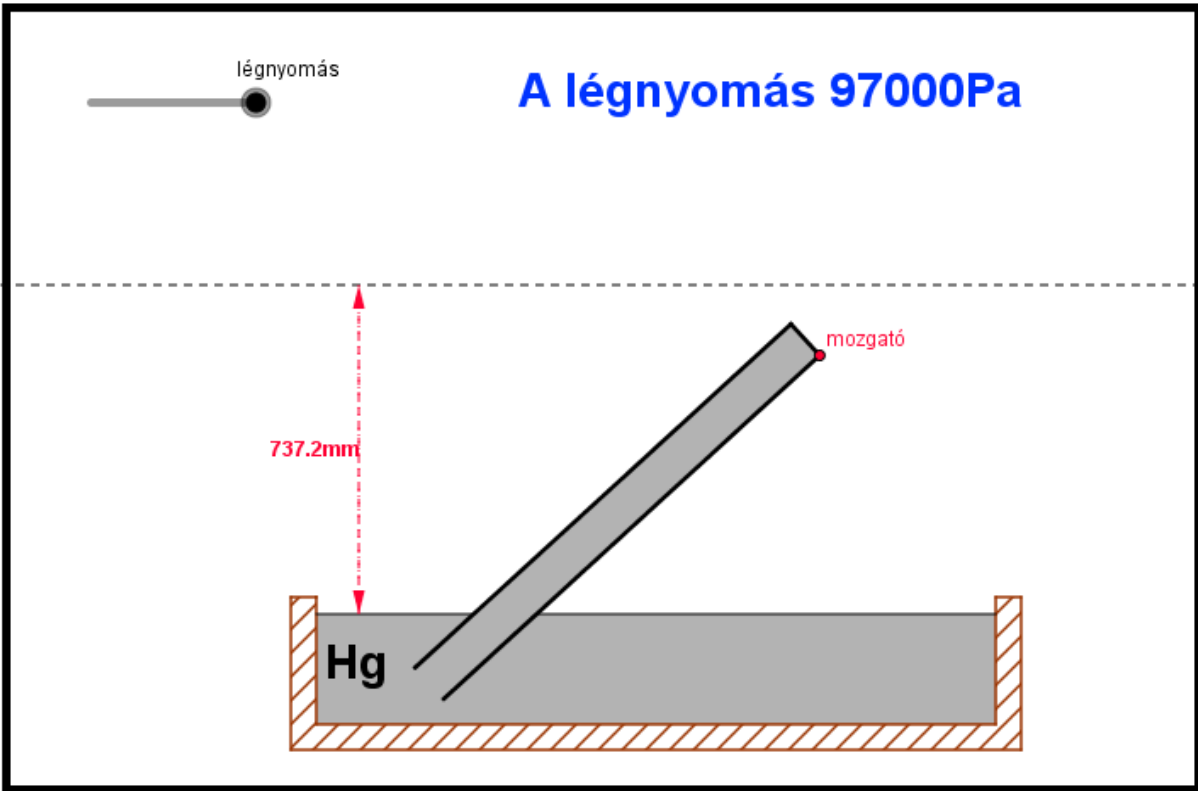
12. A csúszó súrlódás szerepe: Csúszó láda mozgása vizsgálható annak függvényében, hogy mekkora a húzóerő és a súrlódás.
13. A dinamika alaptörvénye: Az erő, a tömeg és a gyorsulás összefüggése vizsgálható súrlódásmentes esetben.
14. A testek súlya: A program a testek súlyát mutatja a tömeg és a gravitációs gyorsulás függvényében.
15. Síkalakzatok tömegközéppontja: A kísérletben egy változtatható alakú hatszög és egy különböző helyeken kifűrt négyzet tömegközéppontjának helyzete tanulmányozható. A furat sugara változtatható.
16. Tömegközéppont és egyensúly: billenő tálcán helyezkedik el a változtatható alakú test; az elbillenés iránya és szöggyorsulása a tömegközéppont helyzetétől függ.
17. Közös tömegközéppont és lendület: Megfigyelhető, hogy két test közös tömegközéppontja általában mozgásban van, de ha a két test lendületének összege nulla, akkor a közös tömegközéppont nyugalomban van.
18. Centripetális és centrifugális erő: változtatható a körmozgást végző test tömege és szögsebessége, valamint a pálya sugara; a fonál elszakadásakor a test érintőirányba halad tovább.
19. Rugalmas ütközések: megválaszthatjuk az ütköző testek tömegét és sebességét, nyomon követhetjük a közös tömegközéppont helyzetét. Három előre beállított kísérletet is végezhetünk.
Ütközés nagy testtel: megfigyelhető, hogy játszódik le az ütközés, ha az ütköző testek egyikének tömege a másik test tömegéhez képest elhanyagolható.

8. 3. Az elektronikus hidrosztatika-könyv tartalma

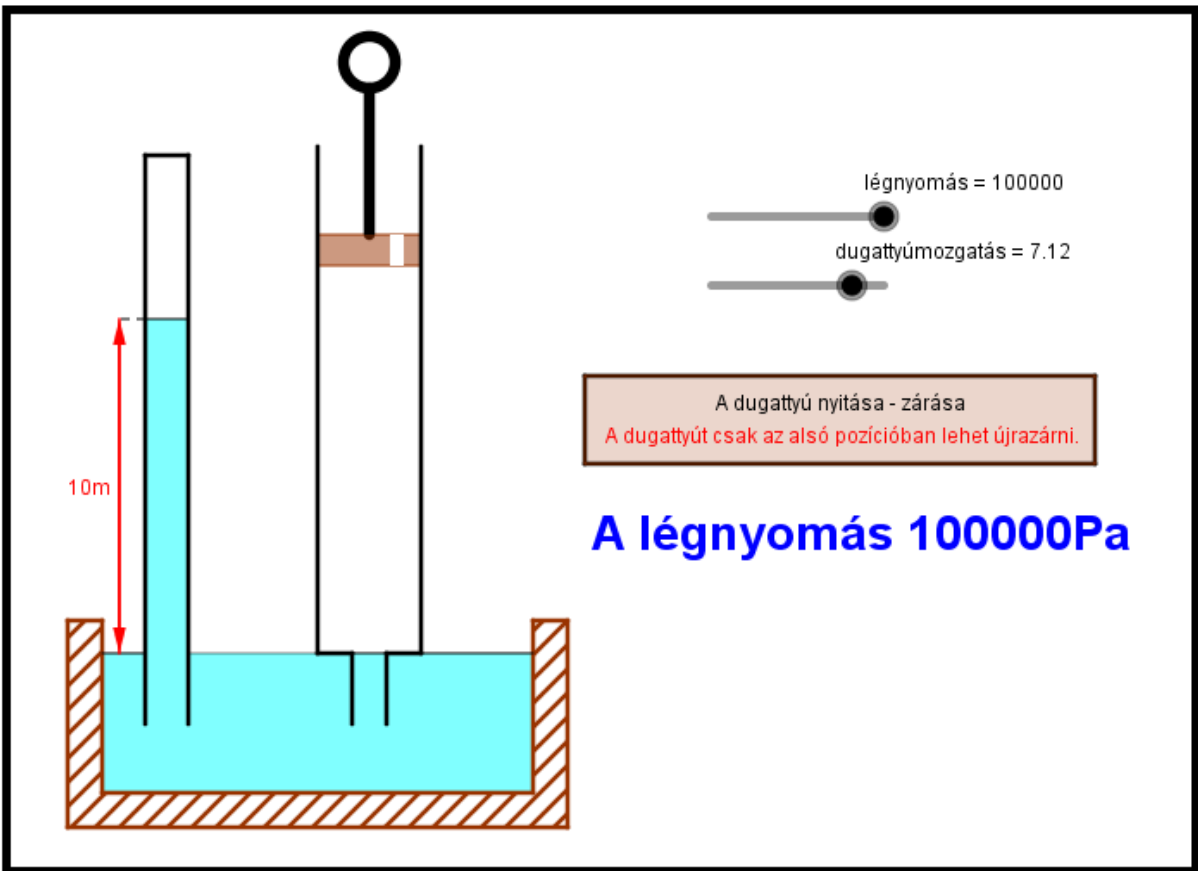
A könyv az interneten a következő címen érhető el: <https://www.geogebra.org/m/wrd2dUJf>

1. A nyomás fogalma: A képernyőn az erő, a terület és a nyomás összefüggését figyelhetjük meg.
2. A hidrosztatikai nyomás tulajdonságai: Változtathatjuk a folyadék sűrűségét, a folyadékoszlop magasságát, a gravitációs gyorsulást és a külső légnyomást; gombnyomással beállíthatjuk a földi gyorsulást, a normál légnyomást és a víz sűrűségét.

3. Hidrosztatikai nyomás és tömegközéppont: A kísérlet szemlélteti, hogy a hidrosztatikai nyomás nagysága nem függ attól, hogy a folyadék tömegközéppontja hol helyezkedik el.
4. Nyomás az L alakú edényben: A víz alatt elforgatható nyomásmérő eszköz van; kipróbálhatjuk, hogy adott mélységben bármely irányból azonos nyomást mérhetünk
5. Hidrosztatikai paradoxon: Változtatható az edény alakja és a folyadékszint; megfigyelhető, mekkora erő hat az edény alját elzáró dugattyúra, illetve az edényt alátámasztó testekre.
6. Közlekedőedények: A folyadékszint beállítható, különböző alakú edényeknek változtatható a dőlésszöge, keresztmetszete és alakja.
7. Eltérő keresztmetszetek a közlekedőedényeknél: megfigyelhető, hogy mindig azonos folyadékszint alakul ki, akár a nagyobb keresztmetszetű, akár a kisebb keresztmetszetű csövön keresztül töltjük meg a közlekedőedényeket.
8. Nyomásviszonyok a közlekedőedényekben: A vízszint és a külső légnyomás értéke szabályozható, tanulmányozhatjuk a nyomásokat az egyes szinteken és az összekötőcsőben.
9. Hidraulikus emelő: Változtatható az egyik dugattyúval elzárt henger keresztmetszete és helyzete; a program szemlélteti a másik dugattyúra ható erő nagyságát.
10. A Torricelli-féle kísérlet (6. ábra): Változtatható a zárt végű cső dőlésszöge és a légnyomás.
11. Nyomásviszonyok a Torricelli-féle kísérletben: Megvizsgálhatjuk a higany nyomását különböző szinteken, változtathatjuk a külső légnyomást és az egyik cső dőlésszögét.
12. A légnyomás szerepe a szivattyúzásban (7. ábra): Változtatható a légnyomás és a Torricelli-féle cső mellett elhelyezkedő szivattyú dugattyújának helyzete; a dugattyú felülről megnyitható.
13. Nyomás a J alakú csőben: A program a víz sűrűségével kapható valós nyomásértékeket számol a cső különböző szintjeinél; követhető Pascal törvényének szerepe.
14. U alakú cső két folyadékkal: Mindkét folyadék sűrűsége változtatható, vizsgálhatók a nyomások különböző szinteken; az azonos magasságban lévő pontok helyzete beállítható.



6. ábra: Torricelli kísérlete a Geogebra-alkalmazásban

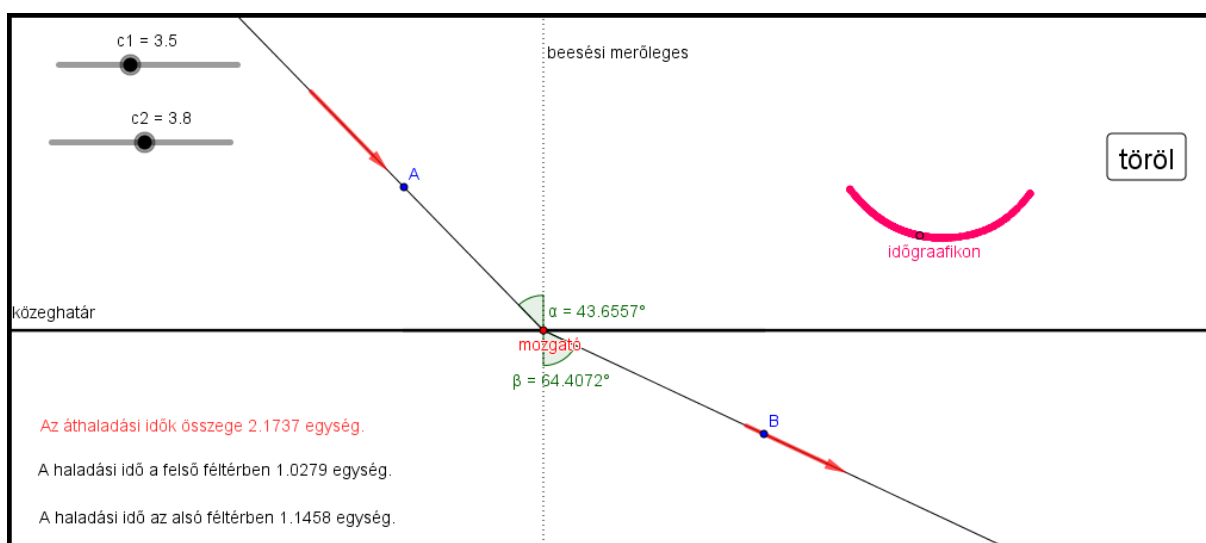


7. ábra: Légnymomás és szivattyúzás a Geogebra-alkalmazásban

8. 4. Az elektronikus optika és atomfizika könyv tartalma

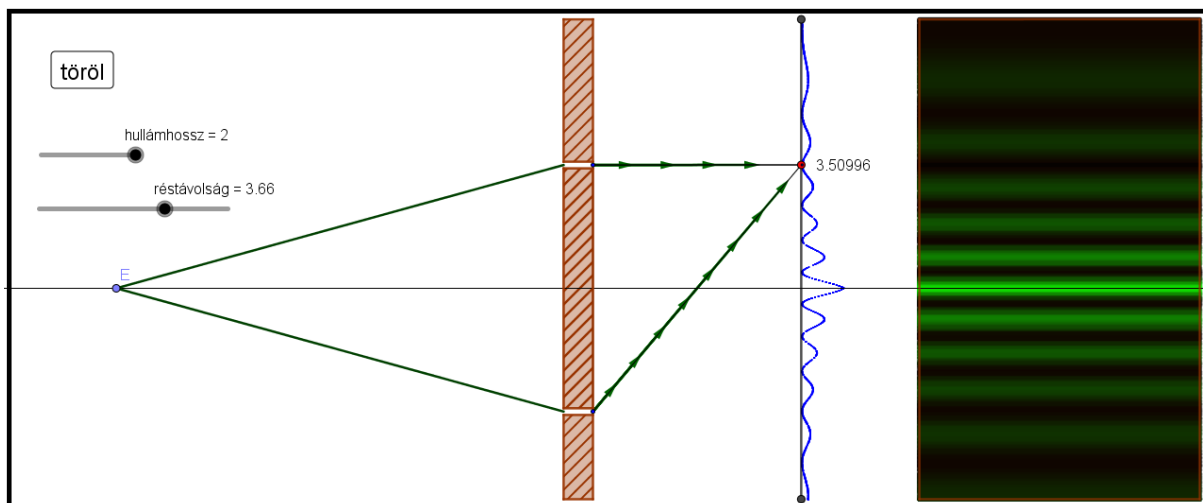
Az elektronikus anyag az interneten a következő címen érhető el:
<https://www.geogebra.org/m/W3JSsfsF>

1. Homorú gömbtükör fókuszpontja: A munkafelületen állítható a tükörrre eső sugár helyzete. A visszavert sugár a visszaverődés törvényét követi, és emiatt csak azok a sugarak verődnek vissza elég közel a fókuszponthoz tekintett ponthoz, amelyek elég közel haladnak az optikai tengelyhez.
2. Domború gömbtükör fókuszpontja: A beeső sugár helyzetének változtatásával itt is megfigyelhető a gömbtükörök fókuszpontjára vonatkozó, előző pontban leírt körülmény.
3. Hullám áthaladása közegen: A munkafelületen megfigyelhető a hullámhossz megváltozása kisebb vagy nagyobb terjedési sebességű közegbe való belépéskor. Változtatható a közeg „szélessége”, a terjedési sebesség mindkét közegben, elindítható vagy közvetlen mozgatható a hullám. Egy eltolható hullám hasonlítási alapot ad annak megállapítására, hogy milyen fáziskülönbséget idézett elő a közeg a két hullám közt.
4. A törés törvénye és a Fermat-elv (8. ábra): Megfigyelhető, hogy az egyik és másik féltérben rögzített A és B pont közt haladó sugár haladási ideje változik a „töréspont” megválasztásának függvényében. A közegekben a terjedési sebesség változtatható. A haladási idő alakulása időgrafikonon követhető és ellenőrizhető, hogy a törés törvénye éppen akkor teljesül, amikor a haladási idő minimális.



8. ábra: A törés törvénye és a Fermat-elv összefüggése a Geogebra-alkalmazásban

5. Gyűjtőlencse törőképessége: Változtatható a lencse mindkét határolófelületének görbületi sugara, a beeső sugár helyzete és a terjedési sebesség a lencsén belül és a lencsén kívül. A sugár a *törés törvényét követve* halad át a lencse mindkét határolófelületén. A fókuszpont a beeső sugár eltolásakor is változik, tehát a kísérletben a lencse gömbi hibája (szférikus aberráció) is modellezhető. Ha a terjedési sebesség a lencsén belül és kívül egyenlő, a lencse nem tör. Ha a terjedési sebesség a lencsén kívül kisebb, akkor a domború lencse szórólencseként viselkedik!
6. Szórólencse törőképessége: Az előző pontban leírt módon vizsgálható a fókuszpont helyzete. Ha a terjedési sebesség a lencsén kívül kisebb, akkor a homorú lencse gyűjtőlencseként viselkedik!
7. Leképezés pontonként: A felületen gyűjtőlencse sémája látható rögzített fókuszpontokkal. A tárgy féltérében beállíthatjuk a „zászló” alakú tárgy helyzetét, majd megfigyelhetjük tetszőleges pontjának leképeződését a kép féltérében. Ha a tárgy felszínének minden pontját bejárjuk, a kép féltérében a tárgy teljes képe kirajzolódik.
8. Interferencia kettős résen (9. ábra): A virtuális kísérletben beállítható az alkalmazott hullámhossz és a réstávolság. A beesési pont mozgatasakor a felfogóernyő oldalnézete mellett kirajzolódik az amplitúdó-eloszlás, az ernyő beforgatott képén pedig fokozatosan megjelenik az interferenciakép. A beesési pont mellett folyamatosan követhetjük az útkülönbség hullámhosszokban kifejezett nagyságát. Az útkülönbséget a sugarakon megjelenő nyilak megszámlálásával is ellenőrizhetjük. A nyilak hossza a hullámhosszat szemlélteti.



9. ábra: A virtuális kétréses interferencia-kísérletben készített Geogebra-kép

9. Interferencia vékony rétegen: A kísérletben megválasztható a réteg vastagsága, a sugár beesési szöge és a terjedési sebességek. Sugárra rajzolt nyilak megszámlálásával követhető a határfelületeken visszavert sugarak közti útkülönbség alakulása.
10. Az elektronburok állóhullámai: Az oldalon a hidrogénatom elektronburkában kialakuló elektronállapotok tanulmányozhatók. A kiválasztott elektronállapot hullámfüggvénye alapján a program kb. három perc alatt kirajzolja a megfelelő elektronhullám térbeli eloszlását. A kapott kép egy „z” tengelyt tartalmazó metszetnek felel meg (lásd pl. 3. ábra fentebb).

9. Egyes források kritikus elemzése

Egy gondosan szerkesztett forrás az általam hangsúlyozott legalapvetőbb elveknek automatikusan megfelelhet, ha a tananyagot megfelelő sorrendben és minden szükséges információra, összefüggésre kiterjedő módon közli. A tévképzetek megelőzése azonban tudatos stratégiákat is igényel, számolva a lehetséges buktatókkal is. Az alábbiakban néhány kiválasztott forrás esetében azt vizsgálom, hogy az ismeretek átadója hogyan szervezi a kulcsfontosságú ismeretek átadását és számol-e a félreértésük lehetőségével. Színvonalas ismeretátadás természetesen csak akkor jöhet létre, ha az ismeretek átadója biztos áttekintéssel rendelkezik a témakörrel. A pozitív példákban ez mindig tükröződik is.

A régebbi művekből vett idézetekben a korra jellemző megfogalmazási és helyesírási móddal találkozunk. Előfordul az is, hogy adott fogalmat az adott korban, pl. 1900 környékén más értelemben használták a fizikában, mint ma. Ilyen fogalom pl. a folyadékokban fellépő nyomás, mely az adott időben tulajdonképpen erőt jelentett.

9.1 Régebbi fizikakönyvek

a) Dr. Kovács Zoltán tanár: Fizika. Athenaeum Irodalmi és Nyomdai R.-társulat kiadása (1904) [39] – A könyvet a szerző Nagyméltóságú D^r Eötvös Lóránd egyetemi tanár urnak ajánlja tisztelete jeléül, mint tanítványa (itt és a további idézetekben korabeli helyesírás).

A 9.§-ban: „*A szabad esés jelensége bekövetkezik, ha valamely feltámasztott, vagy felfüggesztett testet támaszától megfosztunk. Első általános tulajdonsága, hogy mindig függőleges irányba történik. Különböző testek esését vizsgálva, felületes észlelés után arra a téves tapasztalatra juthatunk, hogy a különböző testek különböző sebességgel esnek. Úgy látszik pl., mintha a papíros lassabban esnék, mint az ólom. E látszólagos különbséget azonban a levegő ellenállása (77. §) okozza. Légüres térben a testek mind egyenlő sebességgel esnek.*”
– Ez nem más, mint a szabadesés céltudatos és jól megszerkesztett magyarázata, mely kitér a tömegtől való függetlenségre is. A tömegtől való függőség feltételezése gyakori tévképzet.

„18.§ A centrifugális és centripetális erő. Az egyenletes körmozgásnál láttuk, hogy a gyorsulás $\gamma = c^2 : r$, vagy $\gamma = r \omega^2$ mindig a sugár mentén lépett fel. Ennélfogva, ha m -mel jelöljük a mozgó test tömegét, akkor az erő, amely e gyorsulást létesíti

$$p = \frac{mc^2}{r} \text{ vagy } p = m r \omega^2 \quad \dots \dots \dots 1,$$

szintén a sugár irányában hat s a pontot a középpont felé húzni törekszik, amiért is *centripetális erőknek* hívják. Ha a centripetális erő hatása megszűnik, akkor (mint a tapasztalás mutatja) a pont tehetetlenségénél fogva, az érintő irányában, egyenletes mozgással iparkodik a középponttól eltávolodni. A centripetális erő hozza tehát létre az irányváltást, mely irányváltással szemben azonban a pont tehetetlenségénél fogva ellenhatást fejt ki. Ezt az ellenhatást, mint a centripetális erő reakcióját – mely a centripetális erővel egyenlő nagyságú, de ellenkező irányú erő alakjában nyilvánul – *centrifugális erőknek* nevezzük. A centrifugális erő csak addig tart, míg a pont mozgásban van.” – Látjuk, hogy a szerző az említendő ismeretek közé sorolja a körmozgást végző test mozgását a centripetális erő megszűnését követően, és ezzel erősíti a tehetetlenség törvényének ismeretét az adott körülmények közt. A mechanikatesztben megfigyelt jellegzetes hiba volt az, amikor a válaszadó a centripetális erő megszűnése után (pl. görbe csőből való kigurulás) nem tartotta mérvadónak a sebesség pillanatnyi irányát, hanem valamilyen más irányú továbbhaladásra gondolt. A centrifugális erőre vonatkozó megfogalmazás a könyvben viszont azt a képzetet keltheti, hogy olyan erőről van szó, amely ellenereje a centripetális erőnek. Ez tipikus példája annak, hogy egy tankönyvi megfogalmazás miatt is téves elképzelés alakulhat ki az olvasóban. A centrifugális erő valójában egy fiktív erő, melyről csak forgó koordináta-rendszerben beszélhetünk - lásd [40]-ben is.

60.§ – Itt a hidrosztatikai nyomás megnyilvánulásairól olvashatunk. A szerző megkülönböztet az edény aljára, oldalára és felfelé ható nyomást: „Végül a Pascal-féle tételből folyik s ugyancsak igazolható kísérletileg, hogy a hidrosztatikai nyomás mint *oldalnyomás* az oldallapokra terjed. A *hidrosztatikai nyomás tehát 3-féle alakban nyilvánulhat, így fenék-, oldal- és felfelé ható nyomás.*” – A nyomás ilyen tárgyalása hozzájárul ahhoz, hogy az olvasóban teljesebb kép alakuljon ki a nyomásról. A szerző gyakorlatilag azt tárgyalja meg, milyen következményei vannak annak, hogy a nyomás skáláris fizikai mennyiség. Ezzel a nyomásnak olyan szemléletmódját alakítja ki, amely hozzájárul ahhoz, hogy az olvasó ne vonjon le helytelen következtetéseket a nyomás nagyságára nézve különleges alakú edényekben (lásd pl. a tesztben az „L” alakú edényre vonatkozó kérdést, vagy akár a közlekedőedények kérdését is).

b) Kont Gyula tanár: Elemi fizika. Polgári fiúiskolák számára. Harmadik teljesen átdolgozott kiadás. Budapest, Franklin-Társulat Magyar Irod. Intézet és Könyvnyomda, 1890 [41]

A 10. oldalon a tehetetlenség törvényével ismerkedünk a „A mozgások és annak okairól” c. fejezetben. A szerző így ír: „Látjuk tehát, hogy a test az erőtől nyert sebességét megtartja, ha az erő megszűnik őt tovább mozgatni.” Majd kissé odább: „*A sebesség megtartása általános tünemény.* Az a tény, hogy a test sebességével gyöngítetlenül tovább halad, ha az erő őt mozgatni megszűnik, a mindennapi tapasztalatokkal ellenkezni látszik. Mert ha valamely test mozgatására erőt alkalmaztunk, soha sem látjuk, hogy a test mozgását gyöngítetlenül megtartja, ha az erő megszűnik rá működni.”

Aztán megadja a jelenség magyarázatát a „surlódás” (egykori szóalak) fogalmán keresztül. – Az idézett részlet szintén gyakori tévképzet figyelembevételét bizonyítja. A szerző igyekszik kizárni annak lehetőségét, hogy az olvasó arra következtessen, hogy a mozgások maguktól megszűnnek, ha a testre nem hat erő.

13. oldal. – A tömeg és a súly viszonyáról megállapítja, hogy a tömeg nem változik, a súly igen: „Számptalan tapasztalat alapján elfogadhatjuk azt, hogy a test tömege kétszer-háromszor nagyobb, ha a súlya kétszer-háromszor nagyobb. Elfogadhatjuk ezt mindamelltt, hogy a test tömege teljesen állandó mennyiség, míg súlya – a földnek rá működő hatása – nagyon is változó lehet. Mert például elképzeltünk egy kiló indigót távol a földtől a világtérben, a hol súlya nincs, de tömege ott is csak akkora lesz mint itt. Sőt a test súlya a földön is más-más helyen más.”

15-16. oldal: A hajított test mozgását magyarázza és megindokolja, hogy a test pályája parabola kell, hogy legyen.

18. oldal.: A szerző hengerbe dugóval bezárt rugó példáján magyarázza azt, hogy az olyan erők hatására, „melyek egy test belsejében működnek és amelyeknek a test szilárdsága ellentáll”, a test nem jöhet mozgásba. Ez „A mozgás harmadik törvénye”. „Ha azonban az előbbi rúgós henger dugója enged, akkor a feszítő erő azt el fogja lökni, de akkor a hengert ellenkező irányba is löki.” Ezután foglalkozik a szétrepülő részek tömegeinek és sebességeinek az arányával és eljut a mozgás harmadik törvényének ilyen megfogalmazásához: „*A hatás egyenlő az ellenhatással.*”

24. oldal: Elemzi a gumizsinóron pörgetett test mozgását: „A gumizsinór megnyúlása bizonyítja, hogy a körben mozgó test a középponttól eltávolodni törekszik; ez a törekvés abban a pillanatban megszűnik, melyben megszűnünk a testet a középpont felé húzni, például ha a zsinór elszakad. Ilyenkor a test tehetetlenségét követve az érintő irányában fog tovább haladni.”

26. oldal. Megtárgyalja a perdületvektor megmaradását és az inga lengési síkjának az állandóságát (!).

Az 59. oldalon tárgyalja a folyadékok súlyából származó nyomásokat. Az 1. pontban („Az alapnyomás hengeres edényben”) leírt magyarázat következménye: „A folyadék tehát nemcsak lefelé, hanem oldalt is hat.”

Célszerűnek és érdekesnek tartom annak a kérdésnek a felvetését, hogy „A folyadék mindig az edény oldalaihoz simúl, hozzájuk szorul; kérdés tehát, vajjon az alapra működő nyomása egyenlő-e a folyadékoszlop súlyával?” Ennek eldöntésére kísérleti módszert ír le.

Megjegyzés: A „nyomás” szó az adott munkában úgy értendő, mint egy erő, mert a szerző kétszer akkora alapterületnél kétszer akkora nyomást említ.

A 2. pontban – „A nyomás nem hengeres edényben” – itt a hidrosztatikai paradoxont tárgyalja.

Megjegyzés: A mai, tananyagcsökkentést célzó tankönyvekben a túl tömör tárgyalás melegágya a tévképzeteknek, de nehezen érthető szövegek megjelenéséhez is vezethet.

A 3. pontban a szerző az „Oldalnyomás” kérdését tárgyalja.

A 4. pontban – „Közlekedő edények. Szökőkút” a szerző szépen összeköti a kérdést a nyomás fogalmával: „Abból, hogy az oldalnyomás nem függ a víz mennyiségétől, hanem csak a lap területétől és a tőle számított vízszin magasságtól, következik, hogy egymással közlekedő edényekben a víz mindig egy színben van. Mert például az 50. ábrában az A-nál képzelt felület a jobb és a baloldaltól csak akkor fog egyenlő nyomásokat szenvedni, azaz csak akkor lesz a víz nyugalomban, ha B-ben és C-ben a víz egy színben van.”

A MOZAIK Kiadó FIZIKA 7 tankönyvében (tizenharmadik, változatlan kiadás, 2016) [42] szintén megtalálható a kapcsolat a közlekedőedények és a nyomás közt, de a tanulók számára kevésbé érthető módon:

„Közlekedőedényben a folyadék arra áramlik, ahol ugyanabban a vízszintes síkban kisebb a hidrosztatikai nyomás. Tartós nyugalom esetén ugyanabban a vízszintes síkban nincs nyomáskülönbség. Ilyenkor a közlekedőedény minden szárában a nyugvó folyadék felszíne ugyanabban a vízszintes síkban van.”

Visszatérve Kont Gyula művére, az 5. pont „Az oldalnyomás magyarázata”, a 6. pont a „Fölfelé ható nyomás” magyarázata, szintén a kísérleti ellenőrzés módjával.

A 7. pont – „A nyomások törvénye”:

„A folyadék belsejében elhelyezett bármily irányú lap két oldala egyenlő ellenkező irányú nyomásokat szenved, mely nyomás a lap fölött képzelt olyan függőleges folyadékoszlop súlyával egyenlő, melynek alapja a lap területe és magassága a lap közepétől a folyadék színéig ér.” – Ez segíthet az „L” alakú edény esetében tapasztalt tévképzetekkel szemben is (lásd az 5. fejezetet fentebb).

A 8. pont „A nehézségen kívül működő nyomás” – Ez a részlet gyakorlatilag Pascal törvényének leírása, szintén kísérleti berendezés ábrájával és a kísérlet magyarázatával. A szerző a vízszájók példáját is magyarázza.

A 9. pont „A paradoxon magyarázata” – Itt a folyadékrezecskék mozgékonyásával magyarázza el azt, hogy a nyomás „egyenletesen tart minden irányban”. Itt találjuk a fordított „T” alakú edényt és a benne uralkodó nyomások leírását. Az edényt fordított állásban is lehet magyarázathoz használni, erre fel is hívja a figyelmet.

A 10. pont végül „Az Archimedes törvényének a magyarázata”.

A következő fejezetben „A légnemű testek nehézségokozta nyomása” van. Sor kerül többek közt a fecskendő és a kutak működésének magyarázatára, utána pedig annak tisztázására, hogy „A levegőnek van súlya”. „A levegő súlyától származó nyomás” tárgyalása során sor kerül Galilei és Torricelli kísérleteinek elemzésére.

„Torricelli eszméjét azzal támogatta, hogy kimutatta, hogy a levegő súlyának tulajdonított nyomás olyan hatásokat szül, mint a víz súlyától származó nyomás. Ugyanis különböző tágas csövekben a vizet egyenlő magasságyira nyomja, mint a 3. fejezet V.6. pontjában leírt kísérletből a víznél láttuk.”

Megállapíthatjuk, hogy ez a régi tanulmányi szöveg jól kitér a jelenségek aprólékos és *teljes* magyarázatára, sőt az ún. paradoxonok magyarázatára is, ezzel pedig jól szolgálja a tévképzetek kizárását, megelőzését. A tévképzetek gyakran paradoxonnak tűnő esetekben bukkannak fel a modern fizikában is, lásd [43]. A paradoxonra éppen az jellemző, hogy bizonyos információk helytelen következtetés irányába mutatnak!

c) Lévay Ede dr.: FIZIKA a csillagászat és fizikai földrajz elemeivel, a kath. polgári leányiskolák számára (a legújabb tantervnek megfelelően). Szent-István-Társulat kiadása, 1910 [44] – A korabeli szóhasználat felvillantása céljából érdemes a bevezető rész 1. §-ából idézni: „A fizikai ismeretek csakis a szervesetlen testekre vonatkoznak. . . . *A testeken mutatkozó változásokat tüneményeknek nevezük.* A testek és a rajtuk észrevehető változások együttvéve a *természetet* alkotják. A fizika csakis olyan tüneményeket ismertet, amelyek a test lényegét nem változtatják meg. Ezek a fizikai tünemények.”

Említésre méltó a szilárd és cseppfolyós halmazállapotok megkülönböztetése: „*szilárd testeknél* a nehézségi erő nem képes legyőzni a kohéziót”, a folyékony testeknél pedig „a nehézségi erő fölülmulja a kohéziót”. . . . „*Légnemű testeknél* a kohézió helyett olyan erő (expánzió) működik a rezecskék között, mely azokat egymástól eltaszítani iparkodik.”

A szabadesés tárgyalásakor a szerző a légüres csőben leejtett pénzérme és papírdarab példájára támaszkodik.

A „Kör alakú középponti mozgás.” c. paragrafusban így ír: „A körbe forgó testet az ellentétes irányú, de egyenlő nagyságú centripetál és centrifugál erők tartják meg pályájában. Amint megszűnik a görbepályán maradás kényszere, a centrifugál erő eltűnik és megszűnik a körmozgás is. Ez történik pl. a zsinog elszakadásánál, amikor az ólomdarab a körpályához húzott érintő irányában tovaröpül. Látni ebből, hogy a centrifugálerő nem állandó, hanem a centripetálerőnek egyszerű ellenhatása és a testek ama törekvésének a következménye, hogy egyenesvonalú mozgásaikat megtartsák.” – Ebben a megfogalmazásban látszik, hogy a szerző nem úgy tekint a centrifugális erőre, mintha azt egy a körmozgást végző testre ható valódi erő okozná. Viszont helytelen az a beállítás, hogy két egyenlő nagyságú, de ellentétes irányú erő tartja meg a testet a körpályán, mert ugyanarra a testre ható két erőről beszél, melyeknek összege ily módon nulla lenne, eszerint viszont a test csak egyenesvonalú mozgást végezhetne. A centripetális és centrifugális erőt helytelenül erő-ellenelő párnak állítja be.

A 15. §-ban szó esik Foucault ingakísérletéről olyan értelemben, hogy ezzel igazolta a Föld tengely körüli forgását.

A 19. §-ban („A folyadék nehézségéből származó nyomás”) megemlíti a fenéknymást, az oldalnyomást és a fölfelé ható nyomást is. A 20. §-ban a közlekedőedények tárgyalásakor arra támaszkodik, hogy az összekötőcsőben mindkét irányból azonosak a nyomások.

Mai fogalmaink szerint zavaró a nyomás és az erő azonosítása, mert pl. ilyen megfogalmazáshoz vezet: „a nyomás egyenlő vízmagasság mellett csak a nyomott felület nagyságától függ. Ebből következik, hogy e kísérletnél a nyomás két akkora lesz, ha a cső kétszer oly tágas, s minthogy kétszer oly tágas csőben kétannyi folyadék is fér, világos, hogy a higanynak most is oly magasságra kell emelkednie, mint előbb, hogy súlyával egyensúlyozza a fölfelé tartó nyomást.”

d) Dr. Lévay Ede: Fizikai repetitórium I. Mechanika. Stampfel-féle Könyvkiadóhivatal (Révai Testvérek Irodalmi Intézet R.-T.), Budapest, 1928 [45] – A szerző a 6. §-ban („Az erő és annak hatásai”) így fogalmaz: „A mozgás oka az *erő*, mely vagy mint *mozgató erő*, vagy mint ellentállás jelentkezik. A mozgató erőkhöz számíthatjuk a nehézségi erőt, az általános tömegvonzást, a víz- és szélnyomást, a gázok és gőzök feszítő-erejét stb. Ellenállások: a surlódás és közeg ellenállása, a testek szilárdsága és tehetetlensége stb. E kétféle erő közt szigorú határt vonni nem lehet, mert a mozgató erők néha ellenállásokul, ezek pedig mozgató erőkül hatnak. . . .Az erő hatása a következőkben nyilvánul: a nyugvó testet mozgásba hozza;

a mozgó test mozgásirányát megváltoztatja; annak az időegység alatt megtett útját (sebességét) növeli vagy csökkenti; a mozgó testet nyugalomba téríti. Az elmondottak szerint *mechanikai értelemben az erő nem más, mint a sebesség-változások oka.*”

A 7. §-ban ezt olvashatjuk: „Az egyenletesen gyorsuló mozgásnál a mozgó testre *állandó* mozgató-erő hat. Az egyenletesen gyorsuló mozgás szép példája a *szabad esés* légüres térben. Ennek természetéről a 16. század végéig Arisztotelész nyomán azt hitték, hogy sebessége az úttal arányosan növekszik. Galilei (1589.) mutatta ki, hogy a sebesség az idővel nő arányosan, azaz hogy ez egyenletesen gyorsuló mozgás.”

A szerző a 8. §-ban („Az erő, tömeg és gyorsulás viszonya”) a dinamika alaptörvényét tárgyalja olyan jelölésmódban, ahol az erő jele p („ $a = p : m$, $p = m \cdot a$ és $m = p : a$ ”). Elmondja, hogy „ A $q = m \cdot g$ egyenletből közvetlenül következik, hogy légüres térben a Föld középpontjától egyenlő távolba hozott testek egyenlő gyorsulással esnek, mert ha ez az egyenlet egy testre érvényes, érvényes az n -szer nehezebb testre is és feltéve, hogy $n \cdot q = n \cdot m \cdot g$, akkor:

$$g' = \frac{n \cdot q}{n \cdot m} = g .”$$

Annak kijelentése, hogy „A mozgás oka az erő”, Arisztotelészi jellegű, de a további tárgyalásból az derül ki, hogy erről nincs szó, a közölt ismeretek megfelelnek a Newton-féle fizika szellemének. A mű a tehetetlenség törvényét nem mondja ki, bár világos, hogy nem is mond neki ellent. Fontos, hogy a szerző a szabadesés gyorsulásának a test tömegétől való függetlenségét nemcsak kimondja, hanem képletre utalva elemzi is.

A könyvben a folyékony testek mechanikája a 16. §-ban kezdődik. Itt is megfigyelhető, hogy az adott korban a „nyomás” még *erőt* jelentett, mint [41] 1890-ben. Az 59. oldalon Pascal törvényével kapcsolatban pl. olvashatjuk, hogy „A nyomás, melyet a minden oldalról zárt folyadék-tömeg felületére gyakorolunk, a részecskék szabad mozgása folytán minden irányban egyenletesen terjed tova. Ennek következtében az egyenlő területekre gyakorolt nyomások egyenlők, a különböző nagyságú területekre ható nyomások a területekkel arányosak.”

Érdekes lenne megtalálni azt a fordulópontot, amikor a fizikusok a „nyomás” szót erő/terület értelemben kezdték el használni.

A 17. §-ban („A folyadék nehézségéből származó nyomás”) ezt olvashatjuk: „Edényekbe öntött folyadékok nehézségükénél fogva és részecskéik gördülékenységénél fogva minden irányú úgynevezett *hidrosztatikai nyomást* gyakorolnak és pedig: *fenéknyomást* a vízszintes felületekre felülről lefelé; *oldalnyomást* az edény oldalfalaira; *felfeléható nyomást*, vagy *felhajtást*, vízszintes felületekre alulról fölfelé. A hidrosztatikai nyomás nagysága – P – függ: 1) a nyomott felület nagyságától – a – 2) a nyomott felület súlypontjának a folyadék-tükörtől

mért távolságától – m – amit *nyomás-magasságnak* is nevezünk és 3) a folyadék fajsúlyától – f –. A hidrosztatikai nyomás nagyságát tehát a $P = a \cdot m \cdot f$ képlet fejezi ki.”

Megállapíthatjuk, hogy a mű segítséget nyújt az olyan tévképzetekkel szemben, amelyekkel a tesztben az „L” alakú edényben és a közlekedőedényekben találkoztunk. A teszt kitöltői nyilvánvalóan nem tudták, hogy a nyomás oldalirányba is hat.

A 62. oldalon a közlekedőedényekkel kapcsolatban a szerző így ír: „Közlekedő edényeknek azokat nevezzük, melyeknek ágait közös cső köti össze. Ezekben a folyadék csakis akkor lehet egyensúlyban, ha a közös csőben bármely folyadék-rétegre mindkét oldalról egyenlő nyomás hat. Ha tehát a két-ágú közlekedő cső ágaiban ugyanazon folyadék van, akkor egyensúly csak akkor lehetséges, ha az egyes ágakban egyenlő a folyadék-oszlopok magassága.” Megemlíti tehát a nyomás kulcsfontosságú szerepét!

9. 2 Közelmúltban írott fizikakönyvek

a) Az Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet (OFI) 9. évfolyamos fizikakönyve („A” változat) – (Csajági Sándor – Dégen Csaba – Elblinger Ferenc – Dr. Fülöp Ferenc – Póda László – Simon Péter) [46] a 27. oldalon így ír: „Ha egy testre csak a Föld vonzóereje hat (az egyéb mozgást akadályozó hatások elhanyagolhatók), akkor a test mozgását szabadesésnek nevezzük.”

Nézetem szerint középiskolában nem célszerű a szabadesést úgy definiálni, hogy pl. a Föld körül körpályán keringő testek esetére (vagy akár a parabolikus pályán repülő repülőgépek belsejében elhelyezkedő emberek esetére) is vonatkozzon, mert *az adott korosztályban* ez csak nehezíti a megértést. Más könyvek, köztük sokkal korábbiak is, a hajítások esetét a szabadeséstől helyesen külön is választják. Megjegyzendő viszont, hogy az ejtőzsinóros kísérlet beiktatása a tanulmányi szövegbe jó ötlet. Az is jó, hogy az idézett tankönyv vizsgálja a szabadesést a Holdon is, és felveti a kérdést, „Milyen körülmények befolyásolják egy tárgy zuhanását?”. Az viszont hiba, hogy a legfontosabbat, hogy mi nem befolyásolja (t. i. a testek tömege), **nem is említi!**

Az egyenletes körmozgás esetében a könyv csak belekezd a gyorsulás magyarázatába, de a v^2/r képletet nem is közli. Az *inerciarendszer* fogalmát bevezeti, bár a fogalom elég bonyolult és nem való olyan könyvekbe, ahol az egyszerűsítések foka a kritizálható mértéket is eléri. Hibás stratégiának minősíthető az is, hogy az idézett könyv a tehetetlenség törvényének tárgyalásakor nem tér ki a *súrlódás és a tehetetlenség törvénye* összefüggésére, holott elemzi a golyó gördülése közben fellépő fékezőerőt. A könyv a tárgyalás igényessége szempontjából

nem képvisel egységes megközelítést, túlzottan egyszerű és a feleslegesen bonyolult szintek keverednek egymással.

Newton II. törvényének (a dinamika alaptörvényének) tárgyalása a 42. oldalon kezdődik, de nézetem szerint a cím („A mozgás oka. Az erő fogalma, Newton II. törvénye”) nem szerencsés. Ugyanis ha valamelyik tanuló úgy gondolja, hogy a mozgás fenntartásához mindig erő kell, ezt a cím alapján is helyesnek hiheti. Igaz, a kifejtésben megtalálható az utalás arra, hogy a testek mozgásának fenntartásához nem kell erő (a tehetetlenség törvényére vonatkozó korábbi fejezetben is szerepel ez), de a címnek nem szabad ennek ellenkezőjét sugallni. Helyesebb lett volna a „mozgás oka” helyett azt írni, hogy a *sebességváltozás* oka.

Megfelelő módon tárgyalja a szabadesést ifj. Zátonyi Sándor: Fizika 9, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2008 [47]: „Ha a közegellenállás elhanyagolható, akkor a kezdősebesség nélkül leeső test mozgását szabadesésnek nevezzük.” Ez a tankönyv felhívja a figyelmet a tömegtől való függetlenségre is! Körmozgás esetén levezeti a centripetális gyorsulás képletét. A sűrűlódást jól kapcsolja a tehetetlenség törvényéhez (teljes ismereteket nyújt!). A szabadesés témakörét jól vezeti át a hajítások témakörébe, ugyanis a 63. oldalon „A függőleges és vízszintes hajítás” c. fejezetben így ír: „Az olyan mozgást, amelynél a leeső testnek van kezdősebessége, hajításnak nevezzük.”

b) Dégen Csaba – Fülöp Ferenc – Póda László – Simon Péter – Urbán János: Fizika 10. Víz, levegő, elektromosság. OFI ([48], középiskolás tankönyv). A 37. oldalon azt írja, hogy a „csőben nyugalmi helyzetben lévő p_0 nyomás áramlás esetén két nyomásra válik szét: az egyik az áramlás irányába ható **torlónyomás**, a másik az oldalfalakra ható **sztatikus nyomás**.” Bernoulli törvényét így fogalmazza meg: „Vízszintesen áramló folyadék bármely keresztmetszetén a sztatikus nyomás és a torlónyomás összege állandó.”

Nem célszerű a nyomást két összetevőre, sztatikus nyomásra és torlónyomásra bontani. Azért sem, mert nem látható, hogyan beszélhetünk sztatikus nyomásról a folyadékok áramlása esetén, illetve a nyomásviszonyok szempontjából nem kell a közegnek áramolnia, elég, ha a test mozog hozzá képest. Még fontosabb viszont, hogy nyomás a folyadék minden pontjában csak egyféle van, mely *skaláris* mennyiség, így nem értelmezhető az, hogy a nyomás torlónyomásnak nevezett része az „áramlás irányába” hat. Jobb a Bernoulli-féle törvényt a nyomási potenciális energia és a mozgási energia tárgyalására visszavezetni a megszokott módon, ekkor megmaradunk a skaláris mennyiségek körében.

A könyv kevesebb, mint négy A4-es oldalon tárgyalja a folyadékok mechanikáját, de legalább ezt megteszi! Érződik viszont, hogy az ismeretek átadása nem teljesen átgondolt, a

túlzott tömörség kényszere kissé furcsa nyelvezethez vezet. Pascal törvényénél pl. nem domborítja ki, hogy a külső erő által okozott nyomás mindenütt *hozzáadódik* a hidrosztatikai nyomáshoz. A hidraulikus emelőnél helyesen emeli ki, hogy a nyomás mindkét hengerben ugyanakkora. Bár nem ad levezetést a hidrosztatikai nyomás képletére, megemlíti, hogy a nyomás minden irányba kifejti hatását (a kísérletet ábrázoló rajz ezt mutatja is). Furcsa viszont, hogy ha olyan összetettebb törvényt, mint Bernoulli törvénye, szóba hoz, akkor miért nem reméli, hogy a tanulók megértenék a hidrosztatikai nyomás képletének levezetését.

A közlekedőedényeknél a szerző *hirtelen megállapítja*, hogy „nyugvó folyadékban az azonos nyomású pontok vízszintes síkban vannak.” Ez úgy hat, mintha a közlekedőedények elvéből következne az azonos nyomású pontok egy síkban való elhelyezkedése, és nem a nyomások egyenlősége vezetne az azonos folyadékszintekhez. De fölösleges is a folyadék nyugvását kikötni az olyan szövegben, amelyben ez a kiindulási feltevésekbe beleértendő, és nem is esik arról szó, milyen helyzet lenne az, amikor áramlik a folyadék. Az adott körülmények közt az áramlással kapcsolatos kitétel zavaró.

c) Dégen Csaba – Elblinger Ferenc – Simon Péter (OFI): Fizika 11. Fény, atom, világegyetem. Kiadja az Eszterházy Károly Egyetem ([49], középiskolás tankönyv): A tankönyvben az atomfizikát érintő fejezetek nincsenek megfelelően strukturálva és rendezve. Az „Elektronfelhő – A kvantummechanikai atommodell” c. fejezetben a szerző új alapismereteket közöl a Bohr-modellről, holott ez éppen az előző fejezet tárgya volt. Helytelen állításokat tartalmaz a következő kifejtés: „Heisenberg és Schrödinger modellje tisztán **matematikai modell**. A kvantummechanikai atommodell szerint le kell mondani arról a szemléletes képről, hogy az elektronok a mag körül szigorúan megszabott pályán keringenek. Csak azt tudjuk megállapítani, hogy az elektron mekkora valószínűséggel tartózkodik az atommag körüli adott térfogatrészben.” A „tartózkodik” szó használata félrevezető, azt sugallja, hogy az elektron minden pillanatban teljes egészében jelen van az atommag körüli tér valamely kis térfogatrészében, ami nem felel meg a valóságnak és a kvantummechanikai hullámok fogalmának helytelen értelmezése felé vezeti az olvasót. Ezzel a helyes értelmezés előtt vágja el az utat, és újra időszerűvé válik az idézet a Természettudományi lexikonból fentebb már idézett mondat: „Az egyik kép alkalmazásában addig a határig szabad elmenni, hogy a másik kép alkalmazhatósága ne váljék eleve lehetetlenné, és megfordítva.”

Az elektron minden pillanatban teljesen körülveszi az atommagot. Az atommaggal való állandó elektrosztatikus kölcsönhatás nem eredményezi azt, hogy az elektronnak minden pillanatban a hullámfüggvény által kijelölt tér valamely pontjába (pici térfogatelemébe) kellene

összpontosulnia. Ha ugyanolyan elektronállapotokba avatkozunk be egy mérésel többször, akkor csak azért lesz bizonyos helyeken nagyobb az elektron megtalálási gyakorisága, mert bizonyos helyeken nagyobb a hullám amplitúdója, nem azért, mert ott az elektron gyakrabban tartózkodik. Mindezt nem matematikai, hanem egy valóban létező hullám okozza, melynek ilyen célú leírására elegendő egy egyszerű matematikai függvény.

Lényegesen mást jelent és nem sugallja a klasszikus részecskeelképzelés bizonyos vonásait az a definíció, amelyet a Landau-féle elméleti fizikai tankönyvsorozat IV. részéből [50] idézhetünk: „A $\psi(q)$ hullámfüggvény fizikai tartalma ugyanis az, hogy abszolút értékének négyzete meghatározza, mekkora valószínűséggel veszik fel ezt vagy azt az értéket az elektron koordinátái egy adott időpillanatban elvégzett mérés eredményeként.”

Ami a szemléletességről való lemondás szükségességét jelenti, csak a *rossz* szemléletességről kell lemondanunk, ti. a pálya fogalmáról. Közismerten létezik helyette egy *helyes* szemléletesség, lásd pl. [51]. Ezzel a kérdéskörrel foglalkozom *A kvantumszámok szemléletes jelentése az atomburokban* c. korábban már idézett írásomban [S3], ahol kifejtem, hogy az atomi elektron különböző állapotairól szemléletes képet lehet kialakítani az őt jellemző hullámfüggvény térbeli viszonyai alapján.

A szerkesztés átgondolatlanságát mutatja, hogy az elemzett középiskolai tankönyvben csak a kvantummechanikai atommodell tárgyaló fejezetet követően található a kétréses kísérlet bemutatása, pedig ez mindig jó szolgálatot tesz a kvantummechanikai viselkedést bemutató bevezető részekben. Az elemzett könyvben az ismeretek átadásának sorrendje nem átgondolt.

Hibás az, ahogy „A kvantummechanikai atommodell lényege” c. pontban a szerző az elektronról ír: „ – Az atomba zárt elektron csak meghatározott alakú és térbeli kiterjedésű állóhullámszerű pályákat alkothat. Ezeket az **állóhullámszerű pályákat a kvantumszámok határozzák meg.**”

Zavaros az a szókapcsolat, hogy „állóhullámszerű pályák”, a pályafogalom és a hullámok ugyanis egymást kizárják. A kvantumszámok egyébként nem „meghatározzák” az elektron viselkedését, hanem visszatükrözik az elektron állapotát.

Elvi kérdés az, hogy az állóhullámokat ábrázoló képekről ezt olvassuk: „A fekete helyeken a megtalálási valószínűség 0.” Pozitívum, hogy a szerző nem „tartózkodási” valószínűséget említ, de a valószínűség számszerű értékéről nem lehet kijelenteni, hogy az 0, ugyanis ekkor léteznie kellene olyan helynek, ahol a megtalálási valószínűség éppen nulla lett. Ez csak végtelen mély potenciálgödör szélénél lenne lehetséges, de az atommag körüli elektrosztatikus tér (és semmilyen más tér) nem ilyen jellegű. Az elektronburkot alkotó elektron matematikai leírásában exponenciális függvény szerepel, amely sehol sem veszi fel a nulla értéket.

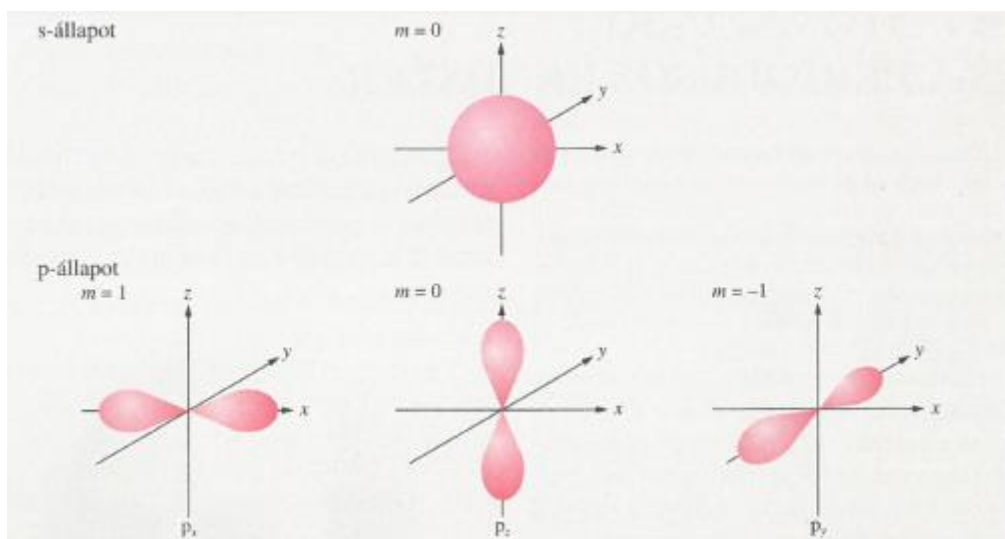
Leszögezhetjük, hogy az elemzett tananyag részletben sok a felszínes megfogalmazás, és az információk közlésének sorrendje sem átgondolt.

Ami az állóhullám-ábrázolásokat illeti, helytelen, hogy a szerző csak csomógömbökről és csomósíkokról ír. Bizonyos esetekben (pl. az $n = 3$, $l = 2$, $m = 0$ kvantumszámokkal jellemzett állapotban) szükség van csomókúpokra is. Az atomi elektronok állapotáról és a vele összefüggő kvantumszámokról középiskolai szintű ismereteket használva is kialakíthatunk olyan képet, amely megfelel a fizikai valóságnak. [S3]-ban többek közt ennek bemutatására törekedtem.

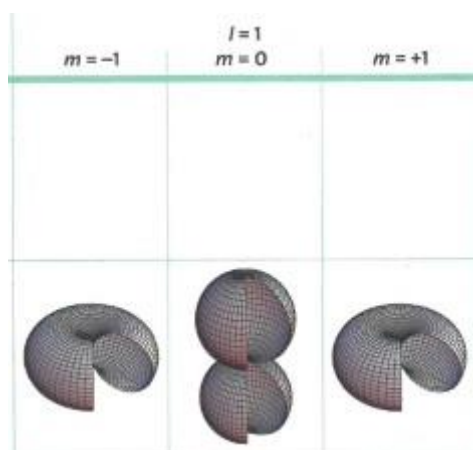
Azokat a kvantumállapotokat, amelyek csak a mágneses kvantumszám abszolút értékében különböznek egymástól, nem ábrázolhatjuk úgy, mintha a nekik megfelelő elektronállapotok csak térbeli orientációban különböznének egymástól. Bennük ugyanis eltérő a csomósíkok és csomókúpok száma, ezért térbeli forma szempontjából nem azonosak, nem egymás elforgatottjai. Térbeli forma szempontjából azonosak, de fizikai szempontból nem azonosak még azok az állapotok sem, amelyek csak a mágneses kvantumszám előjelében különböznek egymástól, ezek hullámfüggvénye ugyanis komplex konjugálással kapható egymásból. Ez vezet ahhoz, hogy a mágneses tér az előjelben különböző mágneses kvantumszámmal jellemzett állapotokat ellenkező irányba tereli (lásd a kvantummechanikai tankönyveket).

A helytelen ábrázolás, valamint hibás állapotleírás előfordul középiskolai kémiakönyvekben is, pl. [52]-ben. Az idézett könyvben azt olvashatjuk, hogy „A mágneses kvantumszám a mellékkvantumszám által meghatározott alakú atompálya térbeli irányát adja meg.” A könyvben közölt ábra nem felel meg a valóságnak (10. ábra), a p_x , p_y és p_z állapotokat azonosként mutatja be.

Helyesen ábrázol ezzel szemben [53], lásd a 432. oldalon szereplő kép $n = 2$ főkvantumszámú sorából vett részletet (11. ábra). Világos, hogy a vizsgált kvantumállapotok nem csak abban különböznek, hogy milyen irányba fordultak, illetve hogy milyen orientációjú koordináta-rendszerben írjuk le őket.



10. ábra: elektronállapotok a 9. évfolyam kémiakönyvében



11. ábra: az elektron $n = 2$, $l = 1$ kvantumszámú állapotainak szemléltetése

A vitatott ábrázolásmód és a hozzá fűzött értelmezés évtizedek óta jelen van számos forrásban és a felületes szemlélődő számára esetleg fel sem tűnik. A tanulónak viszont feltűnhet, hogy amit kap, az érthetetlen, minimum nem teljes. Természetesen nem a kémia feladata az ilyen jellegű ismeretek kiépítése és indoklása, de az elvárható, hogy a megfelelő fizikai képet tükrözze. A hiányosan megalapozott tárgyalásmód zavarkeltő és ártalmas, mert a tanuló elhiheti, hogy a kapott ismeretfoszlányokat meg kellett volna értenie. Tóth Eszter fizikakönyve már az 1980-as években megpróbálta ezt orvosolni.

d) Dr. Tóth Eszter: Fizika, Gimnázium IV. osztály (kísérleti tankönyv). Tankönyvkiadó, Budapest, 1981 [54]:

A tankönyvben olyan kezdeményezést üdvözölhettünk, amely azt a célt tűzte ki maga elé, hogy a modern fizika fontos alapismereteit hozzáférhetővé tegye a tanulók számára. Az átnyújtandó ismeretek közt fontos helyet foglal el az atomburok elektronjainak állapotát szemléletesen tárgyaló rész. A könyv nagy segítséget jelentett azoknak a tanároknak, akik ilyen ismeretek átadását is célul tűzték ki, mert a könyvben felvázolt megközelítés hiányában az elektron állapotára vonatkozó ismeretek csak ismeretfoszlányok, melyek logikus rendszerbe nem foglalhatók, nem tükröznek érthető fizikai képet.

A kísérleti fizikakönyv gondolatmenete egy ponton teljesebbé és egyszerűbbé tehető. Az elektronhullám térbeli „mintáinak” tárgyalásához csak csomósíkokat és csomógömböket használ (lásd a könyv 127. oldalán), de a tárgyalásmódba szükséges a csomókúpok fogalmának bevezetése is, mert az elektronállapotokat leíró hullámfüggvények matematikai alakja ezt indokolja. Csomókúpok hiányában bizonyos elektronállapotok jellemzésénél a szerző kénytelen a szuperpozíció elvére támaszkodni, ami az adott állapot más állapotok szuperpozíciójaként való előállítását jelenti. Ez a megközelítés már nehezen érthető, de sajnos az 1984-es Fizika IV. tankönyvben is megmaradt.

e) A Dégen Csaba – Elblinger Ferenc – Simon Péter: Fizika 11 Emelt szintű képzéshez c. könyv [55] levezeti a Bohr-féle sugarat és az energia képletét a hidrogénatomban, de csak ismétli a nem emelt szinten nyújtott anyagot, pl. hogy a Heisenberg és Schrödinger modell **tisztán matematikai modell**, stb. Továbbra is csak *tartózkodási* helyről ír és **„állóhullámszerű pályák”-ról**. Ezen a szóhasználaton az emelt szinten már túl kellett volna lépni. Megjegyzendő, hogy a „tartózkodási hely” vagy „előfordulási hely” használatával külföldi könyvben is találkozunk, pl. [56]-ban: „Továbbá feltételezzük, hogy a hullámfüggvény abszolút értékének négyzete a részecske előfordulásának valószínűség-sűrűségét adja meg az r helyen a t időpontban” (cseh nyelvből fordítottam).

9.3 Megjegyzés a tehetetlenségi erőkhöz

A centripetális és centrifugális erőkkel kapcsolatban széles körben fordulnak elő helytelen állítások és rossz megfogalmazások, ezért érdemes a figyelmünket a velük kapcsolatos kérdésekre ráirányítani.

Nem hivatkozhatunk centripetális és centrifugális erőre anélkül, hogy leszögeznénk, milyen vonatkoztatási rendszerben tesszük a megállapítást. Inerciarendszerben bevezethető a

centripetális erő fogalma, de annak a centrifugális erő *nem ellenereje* (a centrifugális erőt ugyanis a körmozgást végző testre ható erőként szokás bevezetni, erő-ellenerő párról pedig nem egy, hanem két, egymással kölcsönható test esetében beszélünk). A centrifugális erő egy fiktív (tehetetlenségi) erő [57], mely a körmozgást végző testre hat, ha azt *forgó vonatkoztatási rendszerben* szemléljük. Centrifugális erő az inerciarendszerben nincs, hiszen nincs olyan test, amely a körmozgást végző testre hatna úgy, hogy őt a középpontból kifelé húzza. Az inerciarendszerben a test egyenesvonalú mozgást végezne, ennek fenntartásához pedig nem szükséges erő.

Az inerciarendszerben a testet körpályán tartó erő (esetleg eredő erő) elnevezése a centripetális erő, melyet alkalmas eszközökkel egyszerűen megmérhetünk [40]. Ennek ellenereje nem a körmozgást végző testre hat, hanem pl. a fonálra. A forgó vonatkoztatási rendszerben ahhoz kell a fonálerő, hogy a test nyugalomban maradjon, egyébként a centrifugális erő hatására elmozdulna. Ha nem szakad el a fonál, a test a forgó vonatkoztatási rendszerben nyugalomban marad, körmozgást nem végez, a fonál elszakadásakor pedig nem egyenesvonalú mozgást végez.

Mindkét vonatkoztatási rendszernek lehetnek előnyei és hátrányai. A teljes áttekintés persze nem egyszerű a középiskolában. A kérdést mindkét vonatkoztatási rendszer szemszögéből részletesen tárgyalja [40], konkrét példákkal összekapcsolva.

Az OFI 2013-ban kiadott egy „B” változatú fizikakönyvet is a 9. évfolyam számára [58], ahol szerzőként Csajági Sándor, Fülöp Ferenc, Medgyes Sándorné és az Eszterházy Károly Egyetem (Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó Zrt.) van feltüntetve, tehát részben ugyanazok a szerzők, mint az „A” változatnál (a lektorálást végző személyeknél is találunk átfedést). Ez a könyv a centripetális erőt csak később, a 110. oldalon vezeti be. Hangsúlyozza, hogy „Newton II. törvénye szerint gyorsulást csak valamely erő hozhat létre, ezért az egyenletes körmozgás fenntartásához erőre van szükség. A dinamika alapegyenlete szerint a körmozgás fenntartásához szükséges eredő erő a test tömegének és centripetális gyorsulásának szorzata.” A következő bekezdésben leszögezi, hogy „A körmozgás létrejöttének dinamikai feltétele, hogy a testre ható erők eredője a kör középpontja felé mutasson, nagysága pedig állandó legyen. Ezt az eredő erőt centripetális erőnek nevezzük. Jele: \vec{F}_{cp} . $\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp}$ ”.

A tankönyvben ezt konkrét példák követik: amikor a centripetális erőt a tapadási súrlódási erő szolgáltatja, és amikor a centripetális erő a megdöntött úttesten az úttest nyomóerejének és a nehézségi erőnek az eredője. A megfogalmazások egyértelműek, és a könyvben nem találkozunk olyan *kirívóan félrevezető* fejezetcímmel sem, mint „A mozgás oka. Az erő fogalma, Newton II. törvénye” (lásd az előző pontban).

Az adott évben részben azonos szerzők kezéből került ki két, igencsak eltérő minőségű könyv. A különbség okát a munkájuk keretét megszabó elvek kettősségében kereshetjük. Az „A” változatot előíró keret, bár nem a műszaki pályák felé orientálódó tanulók haladását hivatott szabályozni, a természettudományos műveltségre nézve kedvezőtlen hatású is lehet, ha félrevezető megfogalmazásokra vezet. A Nemzeti Alaptanterv (NAT) kérdésünkkel összefüggő értékelését lásd [59]-ben.

A körmozgással kapcsolatos dinamikai problémák tárgyalásakor a középiskolai tankönyvekben, és főleg a felsőoktatásban használatos tankönyvekben is, szerepet kaphat a vonatkoztatási rendszer többféle megválasztása. A vízszintes síkban pörgetett, fonálra kötött test mozgásának leírása lehetséges inerciarendszerben és forgó vonatkoztatási rendszerben is [40]. Lényeges, hogy a tárgyalás egyértelmű legyen és megfeleljen a választott vonatkoztatási rendszer jellegének.

A tehetetlenségi erőknek az árapályjelenségek magyarázatában is szerepe van. Ehhez célszerű olyan vonatkoztatási rendszerből kiindulni, amelynek a kezdőpontja egybeesik a Föld középpontjával, de nem forog az állócsillagokhoz képest [60]. Ez egy translációs körmozgást végző (*nem inerciális*) vonatkoztatási rendszer. A körmozgás pályájának sugara a Nap árapálykeltő hatásának figyelembevételkor a Föld-Nap távolság, a Hold árapálykeltő hatásának figyelembevételkor pedig a Föld középpontjának a Föld-Hold rendszer tömegközéppontjától mért távolsága. Ha a Nap által keltett árapályerőt akarjuk leírni, akkor az adott pontban érvényesülő, Naptól származó (*távolságfüggő*) gravitációs erőt és a Föld keringéséből adódó (egyébként a Föld *minden pontján ugyanakkora*) tehetetlenségi erőt kell vektoriálisan összeadni [60]. A tehetetlenségi erő kiszámításakor a Nap körüli translációs körmozgás centripetális gyorsulását vesszük figyelembe. Mindez a Hold hatását tekintve is érvényes, csak a Holdtól származó (*távolságfüggő*) gravitációs erőt és azt a centripetális gyorsulást kell figyelembe venni, amely a Földnek a Föld-Hold rendszer közös tömegközéppontja körül való keringésével kapcsolatos [60].

A Földön tapasztalható árapályjelenség leírása *inerciarendszerben* is lehetséges. A Naptól származó árapályerőt a Föld egy pontján ekkor úgy tekinthetjük, mint az ott elhelyezett testre ható, Naptól származó gravitációs erőnek és annak az erőnek a különbségét, amellyel a Nap ugyanezt a testet a Föld középpontja helyén vonzaná [60]. Az inerciarendszerben végzett számítás ugyanolyan eredményre vezet, mint a translációs körmozgást végző vonatkoztatási rendszerben végzett számítás. Látjuk, hogy az inerciarendszerben és a translációs körmozgást végző vonatkoztatási rendszerben történő leírásban is szerepe van a Föld tömegközéppontja helyzetének, amely az a pont, ahol a Föld keringése során a tehetetlenségi erő és a gravitációs

erő egymást éppen kiegyenlíti [60]. Ha innen az égitestek (pl. Föld és Nap, vagy Föld és Hold) által kijelölt egyenesen elmozdulunk, a tehetetlenségi erő és a gravitációs erő már nem lesz egyenlő nagyságú, együttes hatásuk pedig árapályerőt eredményez.

A centripetális és centrifugális erők használata felveti azt a kérdést, hogy a körmozgást végző test esetében milyen erőket, mikor és hová szabad berajzolnunk. Viennot [17] megjegyzi, hogy ha úgy rajzoljuk le a körmozgást, *ahogy az egy inerciarendszerből látszik*, akkor helytelen az ábrába olyan erőt berajzolni, amely a körmozgást végző testre hat kifelé.

A fent elmondottakon túlmutat az olyan mérlegelés, amikor a centrifugális erőt, és általában a tehetetlenségi erőket is, a világűrben megtalálható összes anyag jelenlétével hozzuk kapcsolatba. Ebbe az irányba már Newton is végzett megfontolásokat (a forgó vödörben lévő vízzel kapcsolatban), de nem fogadta el azt a lehetőséget, hogy a tehetetlenség magyarázatához szükségünk van a környező anyag jelenlétére. Ernst Mach ezzel szemben éppen a környező anyaggal hozta összefüggésbe a tehetetlenségi erőket. Az ilyen megfontolásokról [61]-ben olvashatunk. Mach gondolatából kiindulva a tehetetlenségi erők már nem fiktív erők, mert vannak testek, amelyek a hatást kifejtik.

9. 4 Külföldi fizikakönyvek

a) Gert Braune: Physik für jedermann. Compact Verlag GmbH München, 2010 [62] – A szabadesés tárgyalását annak a kísérletnek a leírásával kezdi, amikor egy csőben esni hagyunk egy könnyebb és egy nehezebb tárgyat először levegőben, majd a levegő kiszivattyúzása után. A szabadesést így definiálja (az idézetek saját fordításaim németből): „A vákuumban elejtett tárgyak mozgását szabadesésnek nevezzük.” Ezután következik a szabadesés út-idő és sebesség-idő törvényszerűségeinek a vizsgálata grafikusán és az alapképletekkel ($v = g \cdot t$ és $s = 1/2 \cdot g \cdot t^2$).

Az ezt megelőző fejezetben a könyv csak az egyenletes mozgást, valamint annak út-idő grafikonját magyarázza, tehát a szabadesés az első példa egyenletesen gyorsuló mozgásra. Ezután további gyorsuló mozgásokat érint röviden – a hegyről leguruló jármű esetét és a nyílvessző gyorsulását. Ez utóbbi nem egyenletesen gyorsuló mozgás, mivel az íj a visszacsapódás folyamatában veszít a feszültségéből. Szóba hozza a pillanatnyi gyorsulást.

A következő fejezet a hajításokkal foglalkozik. A tárgyalást az ágyúgolyó pályájára vonatkozó téves elképzelések megemlítésével kezdi és előrebocsátja, hogy a tárgyalásban ennek tisztázására sor fog kerülni. A félreértések eshetőségével tehát számol, igyekszik azokat megelőzni. Ezután a vízszintes hajítást, a ferde hajítást és a függőleges hajítást tárgyalja.

A további részek az egyenletes körmozgás kinematikáját érintik. A centripetális gyorsulás képletét a könyv nem vezeti le, de közli ($a = \omega^2 \cdot r = v^2 / r$). Használja a kerületi sebesség és szögsebesség fogalmát. A dinamika tárgyalása ezután következik. A tehetetlenség elvét arra vonatkozó kérdéssel vezeti fel, hogy miképpen mozoghat még mindig az 1977-ben felbocsátott Voyager 1 űrszonda mindennemű meghajtás nélkül, miért nem állt már meg. Kitér Galilei és Arisztotelész nézeteire, majd megfogalmazza a Galilei-féle tehetetlenségi elvet: „Egy magára hagyott test külső ráhatás nélkül egyenesvonalú egyenletes mozgást végez vagy nyugalomban marad.” Foglalkozik az inerciarendszer fogalmával is, amit úgy definiál, hogy „Inerciarendszer az olyan vonatkoztatási rendszer, amelyben érvényes a tehetetlenség elve.” Ezután a tömeg és az erő fogalmának bevezetése következik. A tömeget úgy vezeti be, mint a testek tehetetlenségének mértékét. Az erőt a gyorsulás és a tömeg szorzataként definiálja. Szól arról, hogy az erő és a gyorsulás vektormennyiség. Kiszámítja a pingponglabda gyorsulását adott erő hatására. További példákkal is illusztrálja az erő fogalmát, pl. rugóerő, súly, centripetális erő (képlettel is). Megemlíti, hogy a kalapácsvető által kifejtett centripetális erőt a zsinór közvetíti, a bolygó esetében pedig a gravitáció.

A reakcióerő fogalmát az úszás közben fordulót végző úszó példájával szemlélteti. A 45. oldalon a kalapácsvető példáján keresztül mutatja be, hogy a folyamat leírása *nem forgó vonatkoztatási rendszerben egyszerű, hanem inerciarendszerben.*

A folyadékok mechanikájában a nyomás fogalmát a hidraulikus emelő bemutatásával vezeti be. A nyomás képletének felírása után rögtön leszögezi, hogy a nyomás skaláris fizikai mennyiség. Ez jó szolgálatot tesz az ezzel összefüggő tévképzetek meggátolása szempontjából (lásd az 5. fejezetben a 7. kérdéséről mondottakat). Bevezeti a hidrosztatikai nyomás fogalmát és képletét, majd a közlekedőedényekkel foglalkozik. Felhívja a figyelmet arra, hogy a közlekedőedény száraiban a folyadékszint nem a szár alakjától és a benne lévő folyadékmennyiségtől függ (mint láttuk, ez tipikus tévképzet szokott lenni). Az okot a nyomásban kell látnunk és abban, hogy a nyomás adott folyadéksűrűség és gravitációs gyorsulás mellett csak a folyadékoszlop magasságtól függ.

A folyadékok áramlására érvényes Bernoulli-törvényt azon keresztül magyarázza el, hogy a szűkületben gyorsabban áramló folyadékot egy olyan erőnek kell felgyorsítani, ami a szűkületben lévő és szűkület előtt lévő nyomások különbségéből adódik.

b) J. Gomoletz, J. Grehn, J. Krause, G. Peters, Dr. H. K. Schmidt, Dr. H. Schwarze., Metzler Physik. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlag, 2014 [53]

A könyv a fizika fejezeteinek rendszerezetten felépített, de tömör tárgyalása. Magába foglalja a mechanika, termodinamika, elektromágnesesség, hullámoptika, relativitáselmélet, kvantumelmélet, atomfizika, szilárd testek fizikája, magfizika, részecskefizika és asztrofizika legfontosabb ismereteit, beleértve a gravitáció és általános relativitáselmélet, valamint a kaotikus folyamatok fizikája fontosabb ismereteit is.

A mechanikában a szabadesés tárgyalása során mindvégig hangsúlyt kap az, hogy a szabadesés gyorsulása nem függ a szabadon eső test tömegétől. A kinematikai ismeretek után a szerző a dinamikát a tehetetlenségi elv bemutatásával kezdi, majd a tehetetlen tömeg és a lendület fogalmát mutatja be kis ellenállás mellett mozgó (légpárnás) eszközök szétlökődése kapcsán. Teljesül az

$$\frac{m_1}{m_2} = -\frac{v_1}{v_2}$$

összefüggés, vagyis két test tömegének és sebességének szorzata egyenlő (és ellenkező előjelű). Leírja az azonos tömegű testek rugalmas ütközésekor bekövetkező lendületátadást, valamint azt, hogy rugalmatlan ütközés során a létrejött test továbbviszi az eredeti testek lendületeinek összegét. Nem közli, hogy a keletkező test sebessége tulajdonképpen a két test közös tömegközéppontjának a sebessége. Ezután az

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

egyenlettel kifejezhető lendületmegmaradással foglalkozik, testek rugalmas ütközése kapcsán. A lendület-megmaradás törvényét vektoriális formában is bemutatja nem centrálisan ütköző golyók rugalmas ütközése példáján. Az ütközések vektordiagramja alapján felhívja a figyelmet arra, hogy két egymással ütköző golyó *közös* tömegközéppontja az ütközés után ugyanazt az egyenesvonalú egyenletes mozgást végzi, mint az ütközés előtt.

A dinamika két törvényének, a tehetetlenség törvényének és a dinamika alaptörvényének tárgyalása (Newton-féle axiómák néven) „Az erő definíciója” című fejezetben történik, ami aláhúzza azt, hogy a tárgyalt törvények közösen járulnak hozzá az erő fogalmának a kialakításához. A súrlódás szerepe a tehetetlenség törvényének tárgyalásával kapcsolatban nem kerül szóba.

A szerző felhívja a figyelmet arra, hogy a centripetális erőnek a centrifugális erő nem ellenereje, hanem olyan fiktív erő, mely csak a körmozgást végző testtel *együtt mozgó* rendszerben (tehát nem inerciarendszerben) figyelhető meg. A fiktív erőkről külön fejezet szól, itt kerül sor az inerciarendszer fogalmának a bevezetésére is.

A könyv a hidrosztatika ismereteit nem tárgyalja, a folyadékok és gázok áramlásával viszont foglalkozik és Bernoulli törvényének levezetésekor a sebességkülönbségek felléptét a nyomáskülönbségek gyorsító hatásával indokolja.

Hasznosnak tartom a könyvben a testek közös tömegközéppontjának figyelemmel követését, mert ez szorosan összefügg a lendületmegmaradás törvényével és jól előkészíti a lendület fogalmának bevezetését.

9. 5 A források elemzéséhez fűzhető gondolatok

Megállapíthatjuk, hogy a 19. század végén és a 20. század elején íródott könyvek általában gondosan szerkesztettek voltak és a tévképzetekkel szemben is segítséget nyújtottak, bár nem biztos, hogy az adott korban a tévképzetek tételes vizsgálat tárgyát képezték volna. A tapasztalatok bizonyára indokolták a magyarázatok tévképzetekre irányuló kiterjesztését. Megtaláljuk köztük viszont azokat a forrásokat is, amelyek nem egyértelműek (lásd fentebb a [45]-re vonatkozó értékelést), vagy egyenesen tévképzetet sugallanak.

A közelmúltban írott forrásokkal kapcsolatban elmondhatjuk, hogy találunk köztük igényesen megszerkesztett és a tévképzetek eshetőségét figyelembe vevő művet, de rosszul rendezett, vagy a lényegét nem kiemelő művet is. Joggal állíthatjuk, hogy a megvizsgált források a tévképzetek kérdésköre szempontjából eltérő minőségűek.

Az átgondoltan szerkesztett művekben kimutathatók azok a szerkezeti vonások, amelyekre a munkám során is nagyobb hangsúlyt helyeztem. A jó szerkesztés kiindulópontja, hogy minden információ a megfelelő időben és sorrendben rendelkezésre álljon, és a fontos tények közti összefüggések is kellő mértékben meg legyenek világítva. Az ismeretközlés hatékonyságát nagymértékben befolyásolja az, hogy milyen mértékben érvényesülnek benne az ismeretek szerkezetéből következő elvárások.

Felmerül a kérdés, hogy milyen részletes legyen egy tankönyv, melynek célja új ismeretek közlése (és nem tömör összefoglalása, ami egyébként hasznos, és új gondolatokat is ébreszthet). Bizonyára nem lehet egy téma feldolgozását a tömörségre törekedve a végletekig egyszerűsíteni, mert bizonyos ponton túl érthetlenné és formálissá válik az információátadás. Ennek elkerülése érdekében jobb a részleteket is elmondani, mert azok áttanulmányozása kevésbé időigényes, mint a bizonytalanságból eredő hibák javíthatása. Az átgondolatlan tananyagcsökkentés nem működik mindig egyszerűsítő elvként, a legtöbb esetben célszerűbb az egészhet alkotó ismeretek átadása, mint a részletek kiragadása, az érthetőség kockáztatásával. Meg kell találni az optimális arányt, de a kulcsfontosságú témaköröknél biztosra kell menni.

Az is az átgondolatlan tananyagcsökkentés ellen szól, hogy mélyül a szakadék a tanulók középiskolából hozott tudása és az egyetemek elvárásai közt [34].

Ezen a jelenségen és a fizika oktatására rendelkezésre álló időkeret csökkenésén túl azonban sajnos egyéb negatív tendenciák is körvonalazódnak, pl. a természettudományos tantárgyak (fizika, kémia, biológia) egy tantárgyba való összerosásának eshetősége. Az egyes tudományágak kifejlődése az ember szellemi erőfeszítésének *pozitív* eredménye, mely tükrözi a tudományágak természetes struktúráját és belső logikáját. Bizonyára ez az oka annak is, hogy a tudományágak önálló tantárgyak útján történő oktatása bevált, nem indokolt ezért ezt megváltoztatni. A kérdésről lásd [59] is.

9. 6 A szemléletesség és szóhasználat jelentősége

A hullámfüggvény valószínűségi értelmezése kapcsán a szerzők néha az elektron **befogásának, néha pedig megtalálásának, tartózkodásának vagy előfordulásának** valószínűségéről írnak (lásd a 9. 2. pontban is). A szóhasználatból kiderül, hogy a szerző *mindenkor* kisméretű objektumnak hisz-e egy elektront, vagy elfogadja a hullámjellegét. A szerzők egy része feltehetően úgy hiszi, hogy a mikroobjektumok ténylegesen kis részecskék, és *nem azért* kell a leírásukhoz a hullámfogalmakat használni, mert ők valójában hullámok.

Az olvasó a különböző megfogalmazások közti árnyalatnyi különbségeket nem kell, hogy tudatosítsa, főleg az elmélettel való első ismerkedés alkalmával. Amikor viszont felfedezi, hogy az egyes megfogalmazások közt nemcsak stílus béli, hanem tartalmi különbségek is vannak, elgondolkodik, hogy milyen szemléletes képet alakítson ki magában a fizikai valóságról.

Jó, ha az elektron vagy más mikroobjektum viselkedésével kapcsolatban „megtalálási” valószínűséget mondunk, feltéve, ha abba nem értjük bele azt a tartalmat, hogy az elektron minden pillanatban kis térrészre korlátozódik. A „megtalálás” szó ugyanis feltételezi a mérési tevékenységet, és a kvantummechanikai mérések jellegét ismerve a „megtalálás” szóba beleérthetjük azt, hogy a mérés hozza létre azt az állapotot, amikor az elektront lényegében véve kis térbeli tartományban találjuk. A „tartózkodás” szó használata azonban nem tesz lehetővé ilyen kibúvót, a használata a mindenkor véges méretű (kis) elektron képzetét kelti. Az „előfordulás” szó szintén megengedi az elektron koordinátájának a realitását anélkül is, hogy mérést hajtottunk volna végre.

A kölcsönhatás alapvető szerepet játszik a hullámfüggvény értelmezésében. Ezt támasztja alá a Landau-féle elméleti fizikai tankönyvsorozat IV. részéből már fentebb idézett mondat is: „A $\psi(q)$ hullámfüggvény fizikai tartalma ugyanis az, hogy abszolút értékének négyzete meghatározza, mekkora valószínűséggel veszik fel ezt vagy azt az értéket az elektron

koordinátái egy adott időpillanatban elvégzett mérés eredményeként.” Az idézetben nem elhanyagolható az a tény, hogy a koordinátamérés eredménye *mérés* következtében áll elő.

Lényeges, hogy *befejezett* kölcsönhatásra gondoljunk, mert ez az, amiből egy elektron esetében a felfogóernyőn csak egy lesz. A „megtalálás” szó, mely szintén valamilyen tevékenység végső kimenetelét jelenti, a Feynman-sorozat 3. részében [63] a 38.1. pontban így szerepel: „A részecske megtalálási valószínűsége ekkor arányos az amplitúdó abszolút értékének négyzetével.”

A kétréses kísérletre vonatkozó írások általában érintik a tévképzetek irányába mutató lehetőségeket is. Említésre kerül, hogy ha olyan kísérlettel ötvözzük az alapkísérletet, amelyből kiderül, hogy a kvantum (nevezhetjük őt megszokásból továbbra is részecskének) melyik résen ment keresztül (lásd „Heisenberg-mikroszkóp”), akkor a felfogóernyőn a „becsapódások” nem rajzolnak ki interferenciát. Tévképzet és *kísérletekkel alá nem támasztott* (zsákutcába vezető) feltételezés az, hogy a mikroobjektum minden körülmények közt átmegy valamilyik (és csak az egyik) résen, olyankor is, amikor nem detektáljuk valamilyik rész közelében.

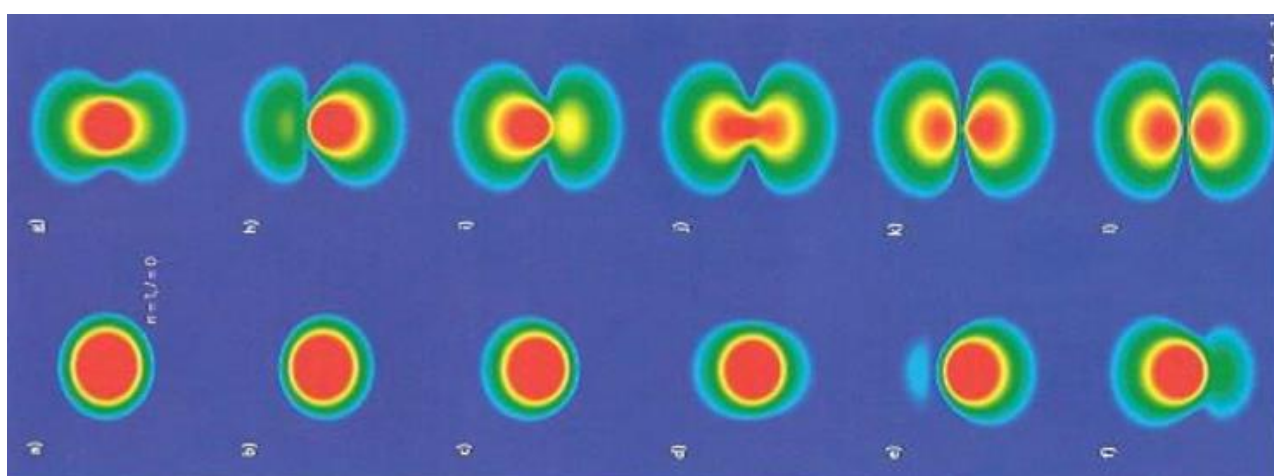
Ha valamilyik résnél bekövetkezik a detektálás, az elektron nem tud egyszerre mindkét réstől a felfogóernyő felé indulni és interferálni. Az ilyen kölcsönhatás után az elektron úgy terjed tovább, mintha csak a kölcsönhatási helyről terjedne (ezért olvasunk néha redukcióról vagy kollapszusról). A kvantummechanikai méréseknek alaptulajdonsága, hogy a mért objektumot megváltoztatják, az eredmény pedig a mérés folyamatában alakul ki [64]. Ezt nem szabad úgy értelmezni, hogy a részecskének eredetileg is megvoltak a mérhető tulajdonságai (pl. a koordinátája valamilyik rész közelében), és azt a mérés csak megzavarja. A 15 kvantumelméleti tévképzetet bemutató cikk [26] a mérés befolyásoló hatásával kapcsolatban ezt a tévképzetet is említi (a felsorolt tévképzetek közül nyolcadikként).

A hullámfüggvény amplitúdójának értelmezésével kapcsolatban megfontolandó az a lehetőség, hogy a hullámfüggvény amplitúdóját a mikroobjektum *kölcsönhatási* valószínűségével kapcsolatos mennyiségnek tekintsük (lásd [29] is). Mondhatjuk, hogy a hullámfüggvény amplitúdója (annak négyzete) megadja, hogy **mekkora valószínűséggel esik át az adott hullám egy adott helyen befejezett kölcsönhatáson**. Ezzel a megközelítéssel majdnem egyet jelent a befogási vagy megtalálási valószínűség, de egyáltalán nem jelent egyet a tartózkodási vagy előfordulási valószínűség, mert az klasszikus részecskeszemléletet tükröz. A mérések egyébként nem mindig korlátozódnak koordinátamérésre.

Amíg a *részecske* és *hullám* szavakat a klasszikus fizikában tapasztalható jelenségek mintájára töltjük meg tartalommal, nyilvánvalóan nem lehet a hullámjelleg és a részecskejelleget összebékíteni. Egyáltalán nem helyes, ha egy mikroobjektum méreteiről olyan

értelemben beszélünk, mint a makroszkopikus tárgyak méretéről. Lásd erre nézve a Fizikai Szemle pontszerűség kérdésével foglalkozó 2015-ös cikkét is [25], mely kitér arra, hogy milyen értelemben vallanak a kísérletek egy részecske pontszerűségére.

Az atomi elektronok állapotváltozásainak folyamatát érdemes térben és időben szemléletesen elképzelni. Erről szól a munkám 9. 4. pontjában már megemlített [53] egyik ábrája is a 441. oldalon (lásd 12. ábra). Az ábra egy atomi elektron állapotváltozásának folyamatát illusztrálja az egyik stacionárius állapotból ($n = 1, l = 0$) egy másikba ($n = 2, l = 1$) való átmenet közben úgy, ahogyan azt a kvantummechanikai számítások sugallják. Az elforgatott képet a bal alsó sarokban lévő, csaknem gömbszimmetrikus ábrától kezdve kell olvasni.



12. ábra: atomi elektron állapotváltozásának a folyamata [53]-ban

Az ábra azt szemlélteti, hogy az elektronállapotok közti átmenet nem ugrásszerű, hanem térben és időben zajló hullámfolyamat. A sok szempontból jó irányba mutató koppenhágai interpretációból kiindulva ilyen ábrázolásmód megengedhetetlen, hiszen az átmenetet nem tudjuk az egymást követő pillanatokban kísérleti úton végigkövetni.

Olyan mérés természetesen nincs, amely egy adott pillanatban a hullám realitását a teljes térben kézzelfoghatóvá tenné, de ez nem annak a következménye, hogy a valóságban semmilyen hullám nincs, hanem annak, hogy a hullámok adagos jelleggel rendelkeznek (szigorúan csak abban az értelemben, hogy egy kvantum egy adott helyen mindig mint egész hat kölcsön). Ezen a ponton követ el hibát a koppenhágai interpretáció, ugyanis reálisan létező hullámokkal nem számol. Lásd erre nézve [65] is.

A mikroobjektumok viselkedésének megértése szempontjából kulcsfontosságúak azok az elemi hullámfolyamatok, amelyekkel kapcsolatban a fázissebességet és Huygens elvét használjuk. Tudatosítani kell ezzel összefüggésben annak jelentőségét is, hogy a de Broglie hullámok fázissebessége nagyobb, mint a fénysebesség. Ilyen úton juthatunk el az elemi

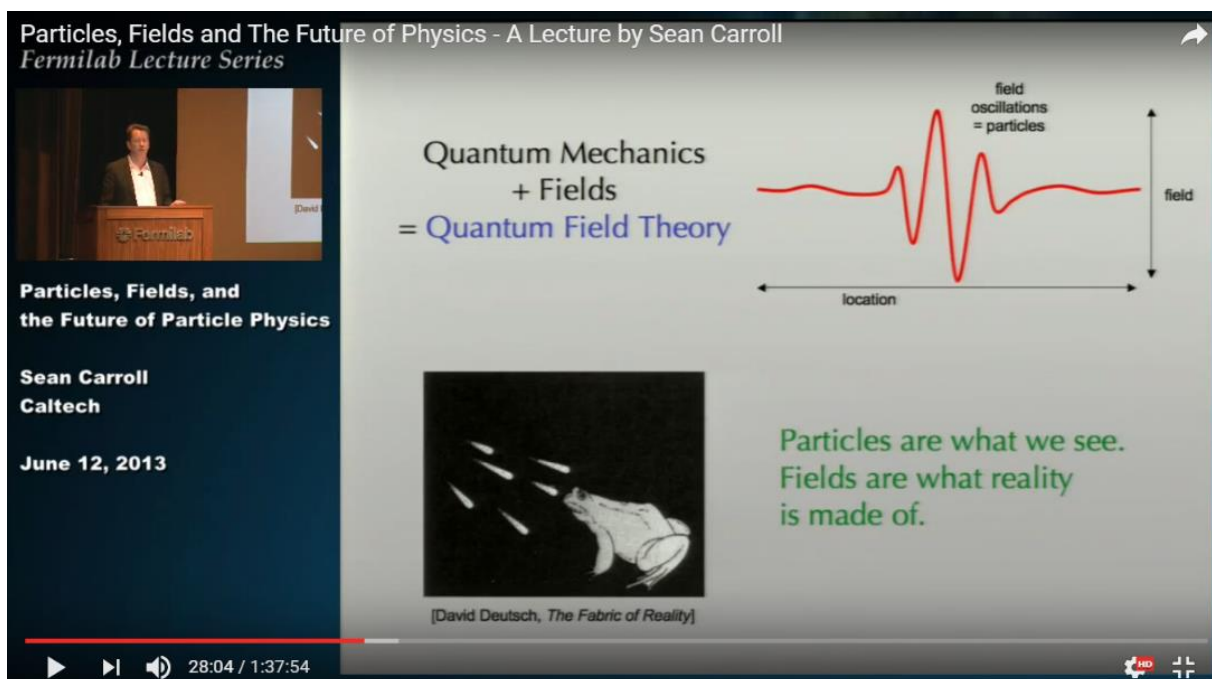
kvantumok adagosságának megértéséhez (beleértve a „redukció” vagy „kollapszus” kérdését), de annak megértéséhez is, hogy mit jelent az összefonódás jelensége. E kérdések tisztázása világosan mutathatja, hogy a kvantumelmélet és a relativitáselmélet közt nincs ellentmondás (ez fel szokott merülni tévképzetként, lásd [S1]). A de Broglie hullámok egyik szemléletes bevezetése a fázissebességre vonatkozó $v_f \cdot v_g = c^2$ összefüggéssel együtt (v_f a fázissebesség, v_g pedig a csoportsebesség) [S8]-ban található.

Azt, hogy a mikrovilág megértésében alapvető szerepet játszanak a hullámok, [29] is jelzi. Az idézett cikk a kvantumtérelmélet irányadó ismereteire támaszkodik. Hasonló megközelítést válaszol fel Sean Carroll előadása [66] is, amelyből egy pillanatfelvételt a 13. ábra mutat. Az előadás címe Particles, Fields and The Future of Particle Physics.

A kvantumelmélet néhány interpretációs lehetőségéről [67]-ben kapunk áttekintést. A kérdéskör azon vonatkozásait, amelyek a „dekoherencia” fogalmával jellemezhetők, [68] elemzi. Ez utóbbi írás 20 kvantummechanikai tévképzetről is beszámol.

A valóságot el nem torzító szemléletességnek kiemelkedő szerepe van az olyan elvont területeken, mint a kvantumelmélet, de láttuk, hogy a tévképzetek egyéb, egyszerűbb területeken is úgy keletkeznek, hogy az egyént félrevezeti valamilyen látszólagos szemléletesség. Ne becsljük le a szemléletesség jelentőségét, és idézzünk [27]-ből is:

„Mármost ha Bohr és Heisenberg hónapokat töltött azzal, hogy a Schrödinger-egyenlethez „fizikai értelmet” rendeljen – azaz azt ontológiailag is interpretálja -, akkor ez csupán azért volt lehetséges, mert egyrészt meg voltak győződve arról, hogy a sikeres matematikai



13. ábra: Sean Carroll (CalTech) előadásának egy képe

fizika nem csupán eszköz, hanem benne valamiképpen a fizikai világ ontológiája jeleni meg, másrészt a fizikának mint tudománynak célját, értelmét nem csupán a sikeres előrejelzéseket adó rendszerben, illetve a mérhető mennyisége közötti összefüggések megállapításában, hanem a fizikai világ ontológiai összefüggéseinek feltárásában-megismerésében látták.”

10. Összefoglalás

Dolgozatomban bemutattam azokat az eredményeket, amelyek a tévképzetek témakörében végzett kutató és elemző munkám során születtek. Célom a tévképzetek lényeges vonásainak megragadása, majd ellenük bevethető stratégiák megfogalmazása volt. A témakör nagy területet ölel fel, és a fizika bármely fejezetében időszerű. Tanulóktól származó kutatási adatokat tesztek segítségével nyertem a mechanika és hidrosztatika területén. A hidrosztatikában sokatmondók voltak a válaszok indoklásából megismerhető tanulói gondolatmenetek. Az adatok feldolgozása során számos statisztikai szempontot vettem figyelembe, korrelációs összefüggéseket vizsgáltam.

A szakirodalom tanulmányozásával a fizika más területein is felmértem a tévképzetek előfordulását, keletkezésük okát és hatásukat. A modern fizika területén olyan ismereteket követtem figyelemmel, amelyek nézetem szerint magukban rejtik a tévképzetek megjelenésének lehetőségét. A kvantumelmülethez köthető tévképzeteknek terjedelmes irodalma van, a témában könnyen bukkanhatunk vitákat kiváltó kérdésekre is. A megvizsgált tévképzetek kulcsfontosságúak, ugyanis meghatározzák a tanulók további gondolkodását, gátolják a helyes irányba való fejlődést. A modern fizika területén észlelhető tévképzetek a tisztán elméleti úton keletkező tévképzetek jellegzetes példái. Munkám részeként javaslatot tettem a tévképzetek olyan kibővített definíciójára, mely nevesíti az elméleti megfontolások útján létrejövő tévképzeteket.

A tévképzetek ellen bevethető, általam javasolt eszközök jellegét leginkább a tanítandó ismeretrendszer szerkezete határozza meg. Ebből a megközelítésből indultam ki a tévképzetek okainak meghatározásakor is. Eredményeim támpontokat nyújtanak a tévképzetek megelőzéséhez és a meglévő tévképzetek felszámolásához, belőlük tévképzetek ellen ható tanári stratégia elemei vezethetők le. Hasonló stratégiának kell érvényesülnie az írott ismeretforrások szerkesztése során.

Elemző munkám külföldi és belföldi, régebbi és újabb tankönyvek és szakkönyvek megítélésére is kiterjedt. Megvizsgáltam, hogyan járulnak hozzá a tévképzetek megelőzéséhez, cáfolatához, vagy éppen hiányos, ellentmondásos gondolatmenetükkel hogyan adnak esélyt bizonyos tévképzeteknek. A kiválasztott források példát szolgáltatnak jó és rossz gyakorlatokra egyaránt. Külön tézist szenteltem a szemléletesség és a szavak megválasztása kérdésének, mely a fizika egyik területén sem elhanyagolható jelentőségű.

A fizikai ismeretek átadásának és elsajátításának hatékony támogató eszköze a kísérletezés. Elemző munkámmal párhuzamosan olyan informatikai segédleteket hoztam létre, amelyek

alkalmat adnak a kísérletezésére, egy jelenség sokoldalú, a kísérletező által tervezhető vizsgálatára. A mechanikai és hidrosztatikai segédletekben tekintettel voltam a tesztekben tapasztalt tanulói hibákra, ezzel párhuzamosan pedig érvényesítettem az ismeretek átadására vonatkozó, téziseimből levezethető követelményeket. Olyan összefüggések vizsgálatára helyeztem a hangsúlyt, amelyek felismerése segíti a tévképzetek megelőzését, cáfolatát vagy kiküszöbölését.

A tévképzetek elleni harcot általános stratégiák is segítik, mint pl. a tévképzetek korai megelőzése vagy a kritikus gondolkodás hosszútávú fejlesztése. Ezeket a stratégiákat valódi iskolai tapasztalataimból kiindulva mutattam be. Eredményeimet folyamatosan publikáltam hazai és külföldi folyóiratokban és konferencia-kötetekben.

11. Mellékletek

11.1 Az elektronikus mechanikateszt

MECHANIKATESZT

1. Két azonos méretű fémgolyó közül az egyik kétszer akkora súlyú, mint a másik. A golyókat egy épület első emeletéről ugyanabban a pillanatban leejtjük. Az esési időre vonatkozóan melyik állítás helyes?

X Nem tudom a választ.

A A nehezebb golyó kb. feleannyi ideig esik, mint a másik.

B A könnyebb golyó kb. feleannyi ideig esik, mint a másik.

C Az esési idők nagyjából egyenlők.

D A nehezebb golyó sokkal rövidebb ideig esik, mint a másik, de az idő nem biztos, hogy feleakkora.

E A könnyebb golyó sokkal rövidebb ideig esik, mint a másik, de az idő nem biztos, hogy feleakkora.

2. Képzeljük el, hogy egy nagy teherautó és egy személyautó frontálisan összeütközik! Melyik állítás igaz? Az utkozás során

X Nem tudom a választ.

A a tehergépkocsi nagyobb erőt gyakorol a személyautóra, mint a személyautó a teherautóra.

B a személyautó nagyobb erőt gyakorol a teherre, mint a teherautó a személygépkocsira.

C egyik sem hat erővel a másikra, a személyautó pusztán azért törik össze, mert a teherautó útjában van.

D a teherautó erőt fejt ki a személyautóra, de a személyautó nem hat erővel a teherautóra.

E a teherautó pontosan akkora erőt fejt ki a személyautóra, mint a személyautó a tehergépkocsira.

3. Két acélgolyó, amelyek egyike kétszer akkora súlyú, mint a másik, egyenlő sebességgel legurul egy vízszintes asztalról. Ekkor:

X Nem tudom a választ.

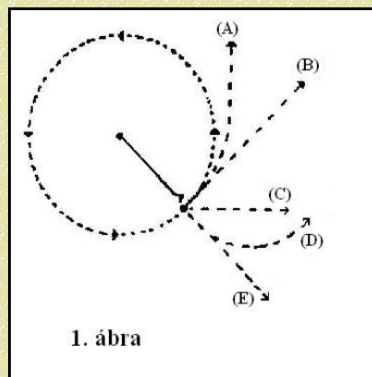
A mindkét golyó kb. egyenlő távolságban csapódik a talajra az asztal lábától

B a nehezebb golyó kb. feleakkora távolságban csapódik be az asztal lábától, mint a könnyebb

C a könnyebb golyó kb. feleakkora távolságban csapódik be a talajra az asztal lábától, mint a nehezebb

D a nehezebb golyó sokkal közelebb csapódik be, mint a könnyebb, de a távolság nem biztos, hogy éppen feleakkora

E a könnyebb golyó sokkal közelebb csapódik be, mint a nehezebb, de a távolság nem biztos, hogy éppen feleakkora



4. Egy fonal végén az ábrán látható módon nehéz labdát porgetünk vízszintes síkban. Az ábrán jelölt pontban a fonal hirtelen elszakad. Jelöljük be, hogy felülről nézve melyik pályán mozogna a labda a fonal elszakadása után! (1. ábra)

X Nem tudom a választ.

A

B

C

D

E

5. Egy fiú függőlegesen feldobott egy labdát. Tekintsünk el a légellenállástól! Milyen erők hatnak a labdára, míg visszaér a földre?

X Nem tudom a választ.

A A súlyerő függőlegesen lefelé, és egy folyamatosan csökkenő felfelé mutató erő.

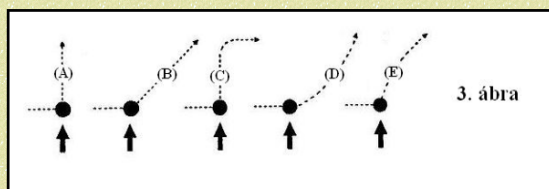
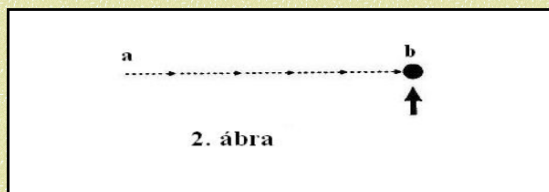
B Egy folyamatosan csökkenő felfelé mutató erő attól a pillanattól kezdve, hogy a labda elhagyja a fiú kezét, egészen addig, míg pályájának csúcára ér. Innen, amint a labda a földhez közeledik, fokozatosan lefelé növekvő gravitációs erő hat.

C Az állandó és lefelé mutató gravitációs erő mellett a tetőpont eléréséig egy fokozatosan csökkenő felfelé mutató erő is hat. A tetőpont elérése után csak a lefelé mutató és állandó gravitációs erő hat.

D Csak az állandó és lefelé mutató gravitációs erő hat.

E A fentiek egyike sem igaz, a labda azért esik vissza a földre, mert ez a természetes mozgása.

A következő 4 kérdés megválaszolásához nézzük meg figyelmesen az ábrát! Az ábra egy hokikorongot mutat, amely az A pontból a B pontig súrlódásmentes, vízszintes talajon állandó sebességgel csúszik. Amint a korong a B pontba ér, pillanatszerűen, vízszintes irányból meglökjük a nyílal jelzett irányban. (2. ábra)



6. Az ábrán jelzettek közül melyik irányban mozog a korong? (3. ábra)

X Nem tudom a választ.

A

B

C

D

E

7. Mekkora lesz a korong sebessége közvetlenül a lökés után?

X Nem tudom a választ.

A A korong sebessége megegyezik a lökés előtti v_0 sebességgel.

B A korong sebessége a v_0 sebességtől függetlenül a lökés során szerzett v sebességgel egyezik meg.

C A korong sebessége a kezdeti v_0 és a lökés során szerzett v sebesség algebrai összege.

D A korong sebessége mind v_0 -nál, mind v -nél kisebb lesz.

E A korong sebessége nagyobb lesz v_0 -nál és v -nél is, de kisebb lesz, mint a két sebesség algebrai összege.

8. Ha a 6. feladat eredményeként kiválasztott pályán a korong súrlódás nélkül mozog, akkor hogyan változik a sebesség?

X Nem tudom a választ.

A nem változik

B folyamatosan nő

C folyamatosan csökken

D rövid ideig nő, majd csökken

E rövid ideig állandó, azután csökken

9. Melyek a korongra ható fontosabb erők a lökés után, amikor a korong már a 6. feladat szerint kiválasztott pályán mozog?

X Nem tudom a választ.

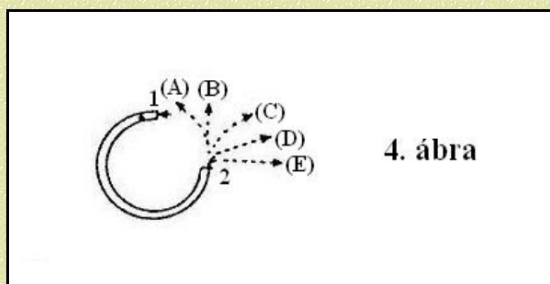
A A lefelé mutató gravitációs erő és a légellenállás.

B A lefelé mutató gravitációs erő és a mozgás irányába mutató impulzusból származó vízszintes erő.

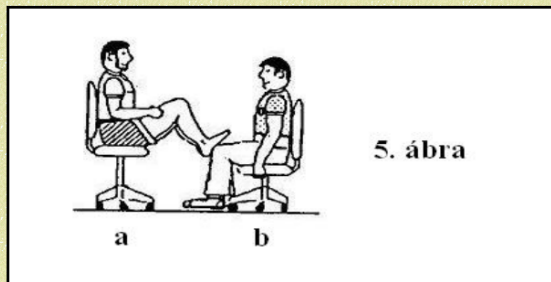
C A lefelé mutató gravitációs erő, az asztal által kifejtett felfelé mutató erő és egy a korongra ható, vízszintes irányú, a mozgás irányába mutató erő.

D A lefelé mutató gravitációs erő és az asztal által kifejtett felfelé mutató erő.

E Semmilyen erő nem hat a korongra.

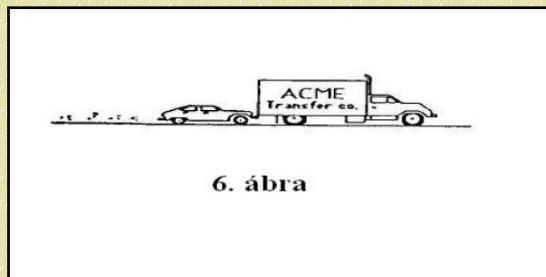


10.	Az ábrán egy vízszintes síkú, körív formájú csatorna látható. Az 1-es pontban egy labda begurul a csatornába és a 2-esben kilép. A jelzett irányok közül melyik felel meg legjobban a labda pályájának, miután a csatornából kigurult? (4. ábra)
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/>
B	<input type="radio"/>
C	<input type="radio"/>
D	<input type="radio"/>
E	<input type="radio"/>



11.	Két diák, a 95 kg-os A és a 77 kg-os B, két teljesen egyforma kerekes irodai széken ül (5. ábra). Az A diák harisnyás lábát az ábrán látható módon a B diák térdére teszi, majd hirtelen előreloki. A lökés hatására mindkét szék mozogni kezd. Melyik állítás igaz?
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> Egyik tanuló sem fejt ki erőt a másikra.
B	<input type="radio"/> Az A diák erőt fejt ki B-re, de B nem hat A-ra.
C	<input type="radio"/> Mindkét diák hat a másikra, de B fejt ki a nagyobb erőt.
D	<input type="radio"/> Mindkét diák hat a másikra, de A fejt ki a nagyobb erőt.
E	<input type="radio"/> Mindkét diák pontosan ugyanakkora erővel hat a másikra.

12.	Egy könyv nyugalmi helyzetben fekszik az asztalon. Milyen erő (erők) hatnak a könyvre? <ul style="list-style-type: none"> • 1. A lefelé mutató gravitációs erő. • 2. Az asztal által kifejtett felfelé mutató erő. • 3. A légellenállás miatt egy lefelé mutató erő. • 4. A légellenállás miatt egy felfelé mutató erő.
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> csak 1
B	<input type="radio"/> 1 és 2
C	<input type="radio"/> 1, 2 és 3
D	<input type="radio"/> 1, 2 és 4
E	<input type="radio"/> Ezek egyike sem, a könyv azért van nyugodtan, mert nem hat rá erő.

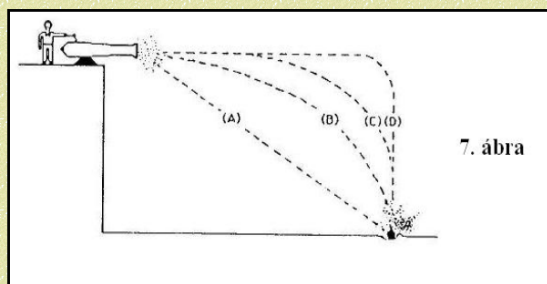


A következő két kérdés a mellékelt ábrára vonatkozik (6. ábra).
Egy hatalmas teherautó lelassít, és egy személyautó hátulról beleszalad.

13.	Melyik állítás helyes arra az időtartamra vonatkozóan, míg a személyautó megloki a tehergépkocsit és a sebessége változik?
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> A személyautó által a teherautóra kifejtett erő egyenlő a teherautó által a személyautóra kifejtett erővel.
B	<input type="radio"/> A személyautó által a teherautóra kifejtett erő kisebb, mint a teherautó által a személygépkocsira kifejtett erő.
C	<input type="radio"/> A személygépkocsi által kifejtett erő nagyobb, mint a teherautó által rá kifejtett erő.
D	<input type="radio"/> A személyautó járó motorral rohan bele a teherautóba, ezért erőt fejt ki rá, a teherautó motorja már leállt, ezért nem fejt ki erőt a személyautóra. A teherautó egyszerűen azért lökődik előre, mert a személyautó útjában van.
E	<input type="radio"/> Sem a személyautó, sem a teherautó nem gyakorol erőt a másikra, a teherautó egyszerűen azért lökődik előre, mert a személyautó útjában áll.

14.	Miután a lökés következtében a személyautóban ülő személy már állandó sebességgel mozog, melyik állítás igaz a következők közül?
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> A személyautó által a teherautóra gyakorolt erő egyenlő a teherautó által a személyautóra gyakorolt erővel.
B	<input type="radio"/> A személyautó által a teherautóra gyakorolt erő kisebb, mint a teherautó által a személyre gyakorolt erő.
C	<input type="radio"/> A személyautó által a teherautóra gyakorolt erő nagyobb, mint a teherautó által a személyre gyakorolt erő.
D	<input type="radio"/> A személyautó motorja jár, így folyamatosan erőt gyakorol a teherautóra, a teherautó motorja már leállt, ezért nem löki vissza a személyautót. A teherautó egyszerűen azért megy előre, mert a személyautó útjában van.
E	<input type="radio"/> Sem a személyautó, sem a teherautó nem hat erővel a másikra, a teherautó egyszerűen azért megy előre, mert a személyautó útjában áll.

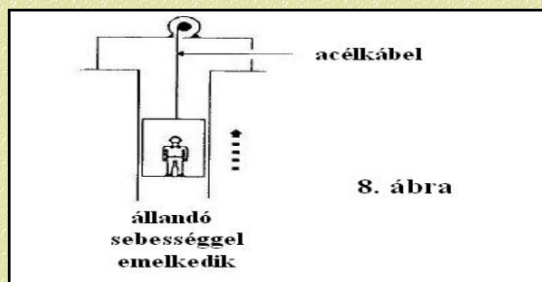
15.	Ha egy gumilabdát leejtünk a földre, akkor mozgásának iránya az ütközéskor azért változik meg, mert
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> a labda energiája megmarad.
B	<input type="radio"/> a labda impulzusa (lendülete) megmarad.
C	<input type="radio"/> a talaj erőt fejt ki a labdára, megállítja, majd visszalöki.
D	<input type="radio"/> a talaj útjában van a labdának, és a labda mozgásban akar maradni.
E	<input type="radio"/> a fentiek egyike sem igaz.



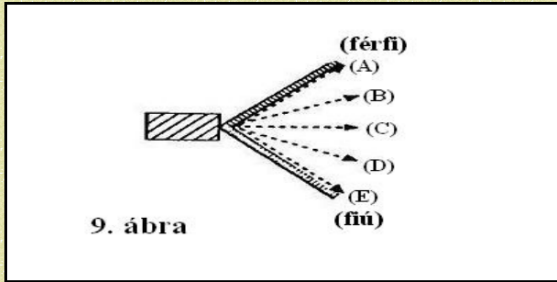
16.	Az ábrán látható pályák közül melyik mutatja legpontosabban az ágyúgolyó pályáját? (7. ábra)
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/>
B	<input type="radio"/>
C	<input type="radio"/>
D	<input type="radio"/>
E	<input type="radio"/> Az egyik sem.

17.	Egy kő a földszintes ház tetejéről a földre esik. Melyik állítás érvényes?
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> A leesés után a kő hamarosan eléri maximális sebességét, majd állandó sebességgel mozog.
B	<input type="radio"/> A kő esése során végig gyorsul, elsősorban azért, mert egyre közelebb kerül a földhöz, s így a gravitációs vonzás egyre nagyobb.
C	<input type="radio"/> A kő a rá ható állandó gravitációs erő miatt gyorsul.
D	<input type="radio"/> A kő azért esik le, mert a testek elválaszthatatlan tulajdonsága, hogy a föld felé esnek.
E	<input type="radio"/> A követ a gravitációs erő és a légnyomás eredője löki lefelé.

A következő kérdésre válaszolva fel kell tételni, hogy mind a sűrűlódás, mind pedig a légellenállás elhanyagolhatóan kicsiny.



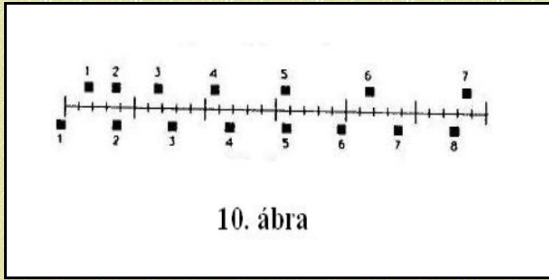
18.	Egy liftszekrényt az ábrán látható módon egy motortengelyre csavarodó drótkötéllel húzunk felfelé. Melyik állítás igaz, ha a kótél egyenletesen húzza a liftet? (8. ábra)
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> A kótél nagyobb erővel hat felfelé, mint amekkora a liftszekrényre ható gravitációs erő.
B	<input type="radio"/> A felfelé mutató kótélerő egyenlő a liftszekrényre ható gravitációs erővel.
C	<input type="radio"/> A felfelé mutató kótélerő kisebb, mint a liftszekrényre ható gravitációs erő.
D	<input type="radio"/> A lift azért megy felfelé, mert a kótél rövidül, s nem azért, mert a kábel erőt fejt ki rá.
E	<input type="radio"/> A kábel nagyobb felfelé mutató erőt fejt ki a liftre, mint a gravitációból és a légnyomásból származó erők együttesének lefelé mutató hatása.



9. ábra

19.	Két ember, egy testes férfi és egy fiú, egy ládához erősített köteleket húz olyan erősen, ahogyan csak bírja (9. ábra). Az A, B, C, D, E nyílakkal jelölt irányok közül melyik felel meg leginkább a láda elmozdulási irányának?
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/>
B	<input type="radio"/>
C	<input type="radio"/>
D	<input type="radio"/>
E	<input type="radio"/>

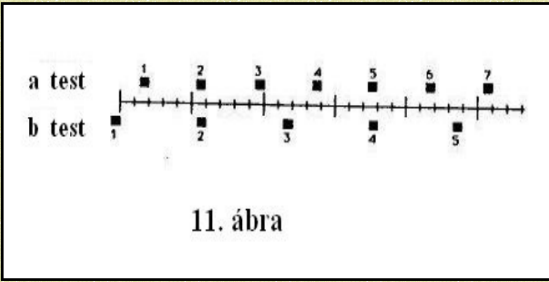
A következő ábrán a négyzetek sorozata két test pillanatnyi helyzetéről egymást követő 0,2 s-os időközönként készített fotósorozatot mutat. A testek balról jobbra mozognak (10. ábra)



10. ábra

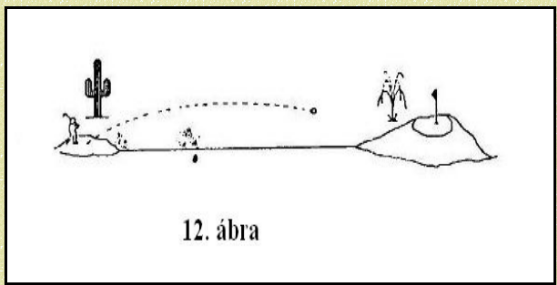
20.	Van olyan időtartam, amelyben a testek sebessége egyenlő?
X	<input checked="" type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> Nincs.
B	<input type="radio"/> Igen, a másodiktól a harmadik felvételig.
C	<input type="radio"/> Igen, a harmadiktól a negyedik felvételig.
D	<input type="radio"/> Igen, a másodiktól a harmadik és a harmadiktól a negyedik felvételig.
E	<input type="radio"/> Igen, a harmadiktól a negyedik felvételig tartó időtartam rövid szakaszán.

A következő ábrán a négyzetek egyenlő időközönként jelölik egy-egy test helyzetét. A testek balról jobbra mozognak. (11. ábra)

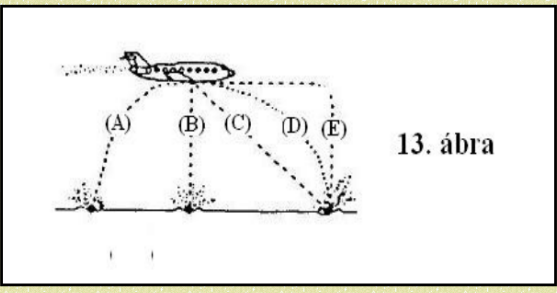


11. ábra

21.	Melyik állítás igaz a testek gyorsulására vonatkozóan?
X	<input type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> Az "a" test gyorsulása nagyobb, mint a "b" -é.
B	<input type="radio"/> A két test gyorsulása egyenlő és 0-nál nagyobb.
C	<input type="radio"/> A "b" test gyorsulása nagyobb, mint "a" -é.
D	<input type="radio"/> Mindkét test gyorsulása zérus.
E	<input type="radio"/> A kérdés megválaszolásához nincs elég információnk.

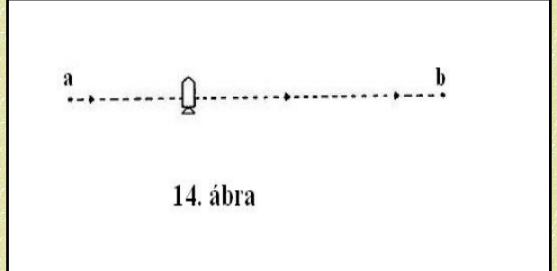


22.	Az ábra egy golfabda röppályáját mutatja. A következő erők közül melyek hatnak a labdára a teljes repülés során? (12. ábra)
	<ul style="list-style-type: none"> • 1. A gravitációs erő • 2. Az ütés ereje • 3. A légellenállás
X	<input type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/> csak (1)
B	<input type="radio"/> (1) és (2)
C	<input type="radio"/> (1), (2) és (3)
D	<input type="radio"/> (1) és (3)
E	<input type="radio"/> (2) és (3)

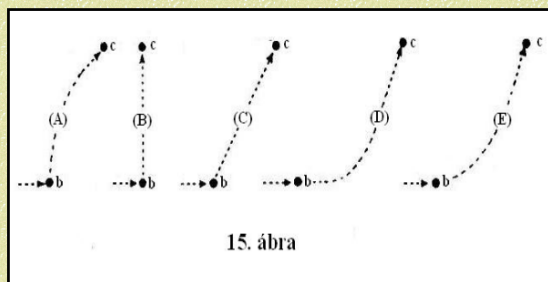


23.	Egy vízszintesen repülő repülőgépből golyó esik ki. A földről nézve az ábrán berajzolt pályák közül melyik felel meg legjobban a golyó pályájának? (13. ábra)
X	<input type="radio"/> Nem tudom a választ.
A	<input type="radio"/>
B	<input type="radio"/>
C	<input type="radio"/>
D	<input type="radio"/>
E	<input type="radio"/>

A következő négy kérdés az alábbi ábrára vonatkozik.



Az ábra egy rakétát mutat, amely az űrben az "a" pontból a "b" -be csúszik át. A rakétára külső erő nem hat. A "b" pontban bekapcsolják a rakéta motorjait, amelyek az eddigi pályára merőleges állandó tolerőt fejtenek ki, míg a rakéta egy "c" pontba kerül. Ekkor kikapcsolják a motorokat. (14. ábra)



15. ábra

24. Az ábrán látható pályák közül melyik felel meg legjobban a rakéta "b" és "c" közötti pályájának? (15. ábra)

X Nem tudom a választ.

A

B

C

D

E

25. Melyik állítás igaz a rakéta sebességére vonatkozóan, míg "b" és "c" között mozog? A sebesség:

X Nem tudom a választ.

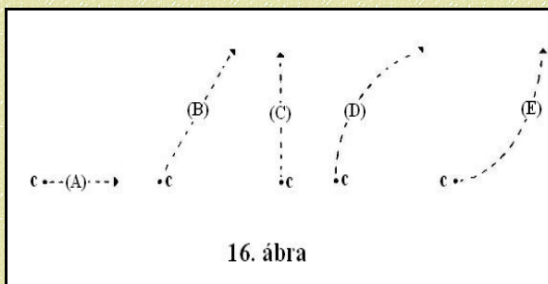
A állandó

B folyamatosan nő

C folyamatosan csökken

D kis ideig nő, majd állandóvá válik

E kis ideig állandó, majd csökken



16. ábra

26. "c"-ben a rakéta motorját kikapcsolták. Az ábrázolt pályák közül melyik pályán mozog tovább? (16. ábra)

X Nem tudom a választ.

A

B

C

D

E

27. Melyik állítás igaz a rakéta sebességére vonatkozóan a "c" pont elérése után? A sebesség:

X Nem tudom a választ.

A állandó

B folyamatosan nő

C folyamatosan csökken

D rövid ideig nő, majd állandóvá válik

E rövid ideig állandó, majd csökken

28. Egy nagy dobozt 4 m/s állandó sebességgel húznak a padlón. Milyen következtetés vonható le a dobozra ható erőkre vonatkozóan?

X Nem tudom a választ.

A Ha a húzóerőt megkétszerezük, akkor a doboz sebessége 8 m/s-ra nő.

B Ahhoz, hogy a dobozt állandó sebességgel húzzuk, súlyánál nagyobb erőt kell kifejtenünk.

C A húzóerőnek a dobozra ható súrlódási erővel kell megegyeznie.

D Ahhoz, hogy a doboz állandó sebességgel mozogjon, a súrlódási erőnél nagyobb erőt kell kifejteni.

E Egyetlen erő hat a dobozra, a húzóerő, az olyan külső erők, mint a súrlódás, nem "igazi" erők, mert csak a mozgás akadályozására képesek.

29. Mi történik a dobozzal, ha az előző feladatban leírt mozgás során a húzóerő hirtelen megszűnik?

X Nem tudom a választ.

A Azonnal megáll.

B Rövid ideig még állandó sebességgel mozog, majd lassan megáll.

C Azonnal lassulni kezd és megáll.

D Állandó sebességgel mozog tovább.

E Rövid ideig nő a sebessége, majd lassan megáll.

Elküldés előtt ird be a neved, vagy egy álnevet:

Figyelem! A 'Küldés' gombra kattintás után már nem tudsz változtatni a válaszaidon!

Kész vagyok:

11. 2 A tanulók eredményeinek csoportonkénti összesítése a mechanikatesztben

A 7. a) – 7. e) táblázatok azt tartalmazzák, hogy egy-egy kérdésre hány tanuló adta az „a” választ, hány tanuló adta a „b” választ stb. az egyes csoportokban. Az 1. csoportban pl. 25 tanuló volt, és közülük az 1. kérdésre 2 tanuló adta az „a” választ, 2 tanuló adta a „b” választ, 18 tanuló adta az egyébként helyes „c” választ stb. Piros mezőben a helyes választ megadóak száma található.

kérdés	a	b	c	d	e	x	1. csoport
1	2	2	18	3	0	0	25
2	10	1	0	0	12	2	25
3	4	2	3	13	2	1	25
4	3	17	2	0	3	0	25
5	2	6	14	2	0	1	25
6	1	18	0	3	2	1	25
7	1	6	7	1	9	1	25
8	9	0	4	7	3	2	25
9	3	11	6	4	1	0	25
10	6	17	1	1	0	0	25
11	0	1	2	7	15	0	25
12	2	19	1	1	2	0	25
13	15	0	7	2	0	1	25
14	13	3	6	0	1	2	25
15	6	7	8	2	1	1	25
16	0	13	8	2	1	1	25
17	0	3	20	0	1	1	25
18	12	3	1	0	8	1	25
19	0	22	2	0	0	1	25
20	8	4	6	3	2	2	25
21	1	1	14	4	2	3	25
22	0	4	16	3	0	2	25
23	11	6	0	7	0	1	25
24	0	4	10	5	4	2	25
25	3	8	1	10	1	2	25
26	4	2	10	6	1	2	25
27	9	0	9	1	4	2	25
28	9	6	0	7	1	2	25
29	7	4	12	0	0	2	25

7. a) táblázat: az 1. csoport eredményeinek összesítése

kérdés	a	b	c	d	e	x	2. csoport
1	2	0	17	3	0	0	22
2	16	0	0	1	5	0	22
3	6	3	7	5	1	0	22
4	1	12	3	2	4	0	22
5	0	5	15	2	0	0	22
6	6	12	0	1	3	0	22
7	1	7	4	0	10	0	22
8	7	2	4	4	5	0	22
9	1	2	12	6	0	1	22
10	5	14	3	0	0	0	22
11	0	0	2	11	9	0	22
12	3	18	0	1	0	0	22
13	9	4	8	1	0	0	22
14	11	5	2	3	0	1	22
15	1	6	10	1	4	0	22
16	0	15	6	0	1	0	22
17	0	7	11	1	3	0	22
18	8	3	0	1	10	0	22
19	0	19	2	1	0	0	22
20	3	7	8	2	2	0	22
21	6	1	7	7	1	0	22
22	0	1	18	2	1	0	22
23	15	2	1	4	0	0	22
24	3	4	5	3	7	0	22
25	5	4	1	11	1	0	22
26	3	4	9	4	1	1	22
27	10	0	10	1	1	0	22
28	6	5	6	5	0	0	22
29	7	2	11	1	1	0	22

7. b) táblázat: a 2. csoport eredményeinek összesítése

kérdés	a	b	c	d	e	x	3. csoport
1	2	2	5	5	1	0	15
2	5	0	0	1	9	0	15
3	5	5	0	4	1	0	15
4	4	9	0	0	1	1	15
5	0	6	7	1	1	0	15
6	5	6	0	1	3	0	15
7	1	6	2	1	5	0	15
8	3	3	1	4	3	1	15
9	3	1	7	2	1	1	15
10	3	9	2	0	1	0	15
11	0	0	0	4	11	0	15
12	2	8	1	1	3	0	15
13	5	4	5	1	0	0	15
14	7	3	2	3	0	0	15
15	0	3	8	4	0	0	15
16	1	12	1	0	1	0	15
17	0	6	7	0	2	0	15
18	8	3	0	1	3	0	15
19	3	8	3	1	0	0	15
20	3	3	4	0	4	1	15
21	2	1	6	1	5	0	15
22	0	3	12	0	0	0	15
23	8	2	1	4	0	0	15
24	0	4	6	2	3	0	15
25	3	3	0	6	3	0	15
26	4	3	3	3	2	0	15
27	8	0	2	2	3	0	15
28	3	1	3	4	3	1	15
29	3	2	10	0	0	0	15

7. c) táblázat: a 3. csoport eredményeinek összesítése

kérdés	a	b	c	d	e	x	4. csoport
1	3	2	11	5	0	0	21
2	13	3	1	2	2	0	21
3	5	7	1	4	4	0	21
4	4	9	2	3	3	0	21
5	1	4	9	6	0	1	21
6	9	3	2	5	1	1	21
7	1	11	1	1	6	1	21
8	4	5	2	3	4	3	21
9	2	2	8	5	1	3	21
10	3	8	5	3	2	0	21
11	1	1	5	11	3	0	21
12	6	5	4	2	4	0	21
13	3	6	3	8	1	0	21
14	4	5	8	2	1	1	21
15	2	4	9	3	3	0	21
16	2	11	6	1	1	0	21
17	2	5	6	3	4	1	21
18	4	4	4	5	4	0	21
19	3	8	6	3	1	0	21
20	5	8	4	2	2	0	21
21	4	3	7	4	1	2	21
22	1	3	8	7	1	1	21
23	7	4	4	4	1	1	21
24	4	4	1	6	4	2	21
25	3	5	2	8	0	3	21
26	1	7	4	6	2	1	21
27	6	1	5	2	2	5	21
28	6	4	6	2	2	1	21
29	6	5	3	3	3	1	21

7. d) táblázat: a 4. csoport eredményeinek összesítése

kérdés	a	b	c	d	e	x	5. csoport
1	3	0	4	8	0	0	15
2	9	0	0	0	6	0	15
3	2	3	3	7	0	0	15
4	4	7	2	2	0	0	15
5	0	4	7	3	0	1	15
6	6	6	0	0	3	0	15
7	0	6	4	1	4	0	15
8	0	2	2	9	2	0	15
9	6	2	3	3	1	0	15
10	6	8	0	0	0	1	15
11	0	2	4	8	1	0	15
12	5	3	6	0	1	0	15
13	2	2	7	3	0	1	15
14	3	2	6	1	1	2	15
15	5	0	3	4	2	1	15
16	0	6	7	1	0	1	15
17	0	7	4	2	1	1	15
18	4	0	0	1	8	2	15
19	1	8	2	1	0	3	15
20	3	0	5	2	4	1	15
21	2	1	4	3	3	2	15
22	0	2	10	1	1	1	15
23	11	1	1	1	0	1	15
24	0	1	3	2	8	1	15
25	3	4	0	6	0	2	15
26	1	4	2	3	2	3	15
27	2	1	7	1	3	1	15
28	1	3	1	6	3	1	15
29	4	3	6	0	1	1	15

7. e) táblázat: az 5. csoport eredményeinek összesítése

kérdés	a	b	c	d	e	x	6. csoport
1	1	3	9	3	0	0	16
2	8	4	1	0	3	0	16
3	1	5	3	5	2	0	16
4	3	6	5	0	1	1	16
5	3	4	5	2	1	1	16
6	2	8	2	2	1	1	16
7	1	6	5	2	1	1	16
8	3	6	3	1	2	1	16
9	0	6	5	2	1	2	16
10	2	6	6	1	1	0	16
11	0	6	3	6	1	0	16
12	3	6	5	1	0	1	16
13	0	8	6	2	0	0	16
14	0	5	5	4	1	1	16
15	0	5	7	4	0	0	16
16	0	8	6	2	0	0	16
17	0	5	6	3	1	1	16
18	4	6	3	2	0	1	16
19	1	5	8	2	0	0	16
20	1	10	2	2	1	0	16
21	3	5	5	2	1	0	16
22	1	5	8	2	0	0	16
23	6	6	2	2	0	0	16
24	1	4	8	1	2	0	16
25	1	2	4	5	3	1	16
26	2	3	5	5	1	0	16
27	1	1	8	4	2	0	16
28	2	4	6	2	2	0	16
29	1	9	4	2	0	0	16

7. f) táblázat: a 6. csoport eredményeinek összesítése

11.3 A mechanika területén végzett kutatás statisztikája

Azt, hogy egy csoporton belül valamelyik kérdésre mennyire szórt válaszok születtek, olyan kódolás alapján lehet számolni, amelyben a betű jellegű válaszokat számokkal helyettesítjük, pl. így:

a→1 b→2 c→3 d→4 e→5 x→6.

A szórások értéke szempontjából lényegtelen, hogy megemeljük-e a számokat, ugyanis a

a→3 b→4 c→5 d→6 e→7 x→8

kódolással ugyanaz a szórás adódik. Tízszer nagyobb szórást kapunk viszont, ha tízszeresére húzzuk szét a skálát, tehát a betűkhöz hozzárendelt számokat megtízszerezzük. Ebből látszik, hogy a szórás számértéke csak arra jó, hogy az így kapott szórásértékeket egymással összehasonlítsuk. Az egyes kérdések szórásáról a legegyszerűbb, a→1 stb. helyettesítések használata mellett a 8. táblázatból kapunk áttekintést (ez minden kérdésnél annyi darab 1-től 6-ig terjedő szám szórása, ahány tagja van az illető csoportnak).

A legnagyobb szórást a 2, 8. és 18. kérdések válaszai mutatják. A 2. kérdés a hatás-ellenhatás törvényére, a 8. és 18. pedig arra a tévhitre vonatkozott, hogy a mozgáshoz erő kell.

Megemlítenő, hogy a három erősebb csoport és a három gyengébb csoport közti tudáskülönbség az átlagos sikeresség alapján az erősebb javára nem mutatkozott meg az 5, 9, 18, 22, 24, 26, 28 kérdésekben. Ezek a kérdések rosszul differenciáltak a mi mintánkon. Az 5, 9. és 22. kérdések az impetussal függenek össze, ezekre született a legkevesebb helyes válasz. A 18, 24, 26 és 28 kérdések azok közé tartoztak, ahol viszonylag kicsi volt a korreláció a csoportok közt – lásd alább a 10. 5. pontban – és itt volt viszonylag nagy a válaszok szórása is.

A szórás egyszerű értékei helyett a **relatív szórás** értékeit is használhatjuk. Ez a szórás és az átlag arányát fejezi ki, de mivel önkényes az, hogy a betűk 1-től 6-g terjedő számokká való átkódolásában melyik betű melyik számot kapja, illetve milyen számot kap a helyes válasz, a relatív szórások számítása irreleváns. Ez abból is látható, hogy az adott kérdésnél kapható számszerű átlag attól függ, hogy mely válaszok kapták az egyes számszerű kódokat.

A válaszok szórása kérdésenként és csoportonként*							
kérdés	1. csop.	2. csop.	3. csop.	4. csop.	5. csop.	6. csop.	súlyos átlag
1	0,71	0,71	1,12	0,94	1,15	0,78	0,87
2	2,04	1,72	1,85	1,38	1,96	1,49	1,74
3	1,33	1,23	1,36	1,48	1,10	1,17	1,29
4	1,09	1,23	1,38	1,33	0,96	1,32	1,21
5	0,98	0,55	0,83	1,04	1,02	1,38	0,95
6	1,23	1,28	1,50	1,56	1,47	1,36	1,39
7	1,39	1,44	1,42	1,52	1,22	1,25	1,39
8	1,71	1,56	1,61	1,75	0,85	1,48	1,53
9	1,02	0,95	1,37	1,40	1,36	1,35	1,21
10	0,65	0,60	0,96	1,17	1,20	1,00	0,90
11	0,80	0,63	0,44	0,94	0,81	0,99	0,78
12	0,96	0,56	1,35	1,46	1,12	1,22	1,09
13	1,36	0,98	0,96	1,19	1,21	0,70	1,09
14	1,54	1,36	1,18	1,28	1,57	1,15	1,36
15	1,27	1,11	0,68	1,13	1,65	0,75	1,11
16	1,03	0,72	0,83	0,90	1,02	0,70	0,87
17	0,80	0,95	0,96	1,38	1,21	1,13	1,06
18	1,89	1,86	1,60	1,40	1,86	1,32	1,67
19	0,81	0,49	0,81	1,05	1,63	0,77	0,89
20	1,59	1,10	1,63	1,22	1,54	1,00	1,34
21	1,20	1,27	1,36	1,46	1,53	1,12	1,31
22	0,98	0,55	0,40	1,08	1,00	0,77	0,81
23	1,46	1,17	1,29	1,47	1,44	1,00	1,32
24	1,17	1,43	1,06	1,65	1,07	1,03	1,26
25	1,43	1,33	1,47	1,55	1,63	1,27	1,44
26	1,35	1,22	1,39	1,26	1,62	1,12	1,32
27	1,68	1,20	1,67	1,91	1,40	0,98	1,49
28	1,65	1,12	1,54	1,46	1,35	1,17	1,39
29	1,33	1,11	0,81	1,57	1,40	0,79	1,20
Átlag	1,26	1,08	1,20	1,34	1,32	1,09	

* A számértékek csak az egymással való összehasonlításokra jók.

8. táblázat: a válaszok szórása kérdésenként és csoportonként

11. 4 A tanulók válaszadásának következetessége a mechanikatesztben

A teszt egyes kérdései közti korrelációs összefüggések, illetve az egyes csoportok válaszadási elképzelései közti korrelációk azokból a számokból számíthatók, amelyek egy adott kérdésnél az egyes válaszok részarányát jelentik. Ezzel kiküszöbölhető az a gond, hogy az

egyes csoportok létszáma különböző. A részarányokat tartalmazó táblázatok az **elektronikus mellékletben** található, a bennük lévő értékek közvetlenül következnek a 11.2. melléklet számaiból.

Vegyük először a kérdések közti korrelációt! A 4. és 10. kérdések a körmozgással kapcsolatban hasonló kérdést feszegetnek és nagyon hasonló válaszokat kínálnak. Ilyenkor feltételezhető, hogy ha valamelyik tanuló az egyik kérdésben adott választ ad, akkor a másik kérdés esetében is az annak megfelelő választ adja. Ezt számszerűen is ki lehet fejezni, de figyelembe kell venni, hogy az összevethető válaszok nem azonos betűjel alatt jelenjenek meg. Ilyen összevetéseket főleg az egész csoport eredményeire támaszkodva érdemes megtenni, mert így bizonyos véletlenszerű hibák is kiküszöbölődnek. A számításoknak alapjául az elektronikus mellékletben található, részarányokat tartalmazó táblázatok adatai szolgálnak.

Vizsgáljuk meg néhány kérdéspárnál számszerűen (korrelációs együtthatóval) a tanulók effajta „következetességét”. Ez két okból is tájékoztatást jelent: egyrészt magasabb korrelációk várhatók a jobb tudású és következetesebb munkát végző tanulók esetében, másrészt *éppen az ilyen korrelációk szintje mutatja azt, hogy az egyes válaszadások mögött tényleges vélemény (nem pedig véletlenszerű döntés) húzódik-e meg.*

A rendelkezésre álló, részarányokat kifejező adatok alapján az egyes csoportokban a kiválasztott kérdéspárok közti korrelációkat a 9. táblázat mutatja. A 4. és 10. kérdés körmozgásra vonatkozik, az 1. és 3. kérdés homogén gravitációs térben való mozgásra, a 2. és 11., valamint 13. kérdés pedig a hatás-ellenhatás törvényére. A táblázat értékeit arra való tekintettel határoztam meg, hogy pl. a 11. kérdésben az A, B, C, D, E válaszoknak a 13. kérdésben a válaszok tartalma alapján az E, D, B, C, A sorrend felel meg.

Kérdések	1. csoport	2. csoport	3. csoport	4. csoport	5. csoport	6. csoport	Súlyos átlag
4 és 10	0,95	0,86	0,95	0,86	0,90	0,94	0,91
1 és 3	0,11	0,54	0,73	0,35	0,85	-0,02	0,40
2 és 11	0,93	0,88	0,98	0,96	0,66	0,47	0,83
2 és 13	0,53	0,23	0,63	0,51	-0,15	0,84	0,44
11 és 13	0,98	0,95	0,69	0,12	0,92	0,60	0,72

9. táblázat: kérdések közti korrelációk az egyes csoportokban és azok átlaga

A kiszámított korrelációk mutatják, hogy a kiválasztott kérdések közt a pozitív korreláció fennáll, két negatív érték a viszonylag gyengébb csoportokban fordul elő. Az 1. csoportnál az 1. és 3. kérdésnél inkább a válaszok függetlensége látható (az átlagos korreláció 0,4), amit alátámaszt az is, hogy az első kérdést 64, a harmadikat pedig csak 23 tanuló oldotta meg helyesen (3. táblázat). Feltehetjük, hogy ha az egymással összefüggő kérdésekre adott válaszok

közi korreláció alacsony, akkor a tanulók a két kérdést nem ugyanazon gondolati mechanizmus alapján bírálták el.

A 4. és 10. kérdések közt magas volt a korreláció (átlagosan 0,91) és ezek a kérdések tartoztak a legsikeresebben megoldottak közé (a sikeresek aránya 79% a 10. kérdésnél és 53% a 4. kérdésnél). Ha valaki a 4. kérdést rosszul válaszolta meg, akkor 53% volt a valószínűsége annak, hogy a 10. kérdést is rosszul válaszolja meg. Fordítva, ha valaki nem oldotta meg jól a 10. kérdést, akkor a begyűjtött adatok alapján 56% volt az esélye annak, hogy a 4. kérdést sem. Ha jól oldotta meg valaki a 4. kérdést, akkor 62% volt az esélye annak, hogy a 10. kérdést is jól oldotta meg. Ha viszont a 10. kérdést oldotta meg jól, akkor 60% volt az esélye annak, hogy a 4. kérdést is helyesen oldotta meg.

A 2. és 13. kérdésnél fellépő viszonylag alacsonyabb korreláció arra vall, hogy a kérdést a tanulók nagyon sokféleképpen oldották meg (az átlagos szórás a 2. kérdésnél a legnagyobb: 1,74 – lásd a 8. táblázatot fentebb), az alacsony elért pontszámokból (37 és 34) pedig az következik, hogy a hatás-ellenhatás törvényének alkalmazásához az adott körülmények közt nem ragaszkodtak. A törvény ismerete tehát csak igen kis mértékben jelent meg mint rendezőelv, a tanulók nagyrészt észre sem vették, hogy ezt kellett volna alkalmazniuk.

Vizsgáljuk meg feltételes valószínűségekkal, hogy ha valaki a 11. kérdésre a helyes E választ adta, akkor a 13. és 14. kérdésre is a helyes A választ adta-e. A teljes (114 tanulóra vonatkozó) adatbázis feldolgozásával azt kapjuk, hogy ha valaki a 11. kérdésre rosszul válaszolt, akkor 96% a valószínűsége annak, hogy a másik kettőben is legalább egyszer hibázott valahol, illetve 75% a valószínűsége annak, hogy a másik kettőben kétszer hibázott. Ha valaki a 11. kérdésre jól válaszolt, akkor annak a valószínűsége, hogy a 13. kérdésre is jól válaszolt, 63%. Annak a valószínűsége, hogy ha a 11. kérdésre jól válaszolt, akkor a 14. kérdésre is jól válaszolt, 58%.

Nem túl következetesen bukkan elő a válaszokban az a jelenség, hogy a tanulók a levegőnek lefelé irányuló nyomóerőt tulajdonítanak. Ilyen tartalma van a 12 kérdésben a C válasznak, a 17. kérdésben az E válasznak és a 18. kérdésben az E válasznak. Csak az esetek 29%-ában fordul elő az, hogy ha valaki a 12. kérdésben a helytelen C-t választotta, akkor a 18. kérdésben a helytelen E-t. Összességében viszont 33-szor előfordul a 18. kérdésben az E válasz, ami a 114 tanuló 29%-a. A 12. kérdés C válasza összesen 17-szer fordul elő, a 17. kérdés E válasza pedig 12-szer.

Komoly jelzés az impetus-szerű gondolkodásra, valamint a dinamika alaptörvényével kapcsolatos hibára az a jelenség, hogy egyes tanulók úgy gondolják, a test mozgásának fenntartásához nagyobb erőre van szükség, mint ami a test mozgását fékező erők összege. Ez a

gondolkodásmód a 28. kérdés D válasza és a 18. kérdés A, E válaszai figyelembevételével követhető. Annak a valószínűsége, hogy ha valaki a 28. kérdésre a D választ adta, akkor a 18. kérdésre vagy az A, vagy az E választ, 69%.

Az előbbi probléma lényege, vagyis hogy egyes tanulók szerint a mozgáshoz erő kell, a 29. kérdés A válasza és 25. kérdés A, D válaszai megszámlálásával mutatható ki. Eszerint ha valamely tanuló a 29. kérdésre az A választ adta, akkor 57% a valószínűsége annak, hogy a 25. kérdésre vagy az A, vagy a D választ adta.

11. 5 Csoportok közti korrelációk

A teszt megbízhatóságát annak alapján ítélni lehet meg, hogy megvizsgáljuk, a különböző csoportok hasonló tendenciával válaszolnak-e a feltett kérdésekre. Ebben a tekintetben a válaszok részarányait tükröző táblázatokra támaszkodhatunk (lásd az elektronikus mellékletben), aminek alapján megvizsgálhatjuk a csoportok válaszai közt fellépő kölcsönös korrelációkat (10. táblázat).

Két csoport válasza akkor korrelálnak nagymértékben, ha az egyes kérdésekre adott válaszaik hasonló részarányokat tükröznek. Konkrétabban: Legyen pl. valamelyik kérdésnél az egyik csoportban a válaszok negyede A, harmada B, ötöde C stb. Egy másik csoportban ugyanennél a kérdésnél szintén kb. negyed, harmad, ötöd stb. legyen a részarány az adott válaszokra. Ekkor az adott kérdésnél a két csoport válaszadási nagymértékben korrelálnak.

Az összes (29) kérdésen végigfutva a két kiválasztott csoport kérdésenkénti korrelációinak átlagát is kiszámíthatjuk, ezzel pedig jellemezhetjük annak mértékét, hogy a két csoport hasonló tendenciával töltötte-e ki a tesztet. 6 csoport esetében 15 párt képezhetünk és 15 korrelációs adatsort készíthetünk 29 adattal, valamint az átlagokkal. Mindez gyorsan kiszámítható az EXCEL segítségével. Az így kapott korrelációkat a 10. táblázat mutatja. Belőle kiolvashatjuk, hogy pl. az 1. és 2. csoport első kérdésre adott válaszainak korrelációja kb. 0,99, a második kérdésre adott válaszaik korrelációja kb. 0,75 stb., de a két csoport összes kérdésre vonatkozó korrelációinak átlaga kb. 0,81. Ugyanígy kiolvasható, hogy az első kérdésre a 15 csoport-pár korrelációinak átlaga kb. 0,77, a második kérdésre ugyanez az átlag 0,76 stb. Az átlagok átlaga kb. 0,59.

A csoportok közti átlagos korreláció a 16. kérdésnél volt a legmagasabb (0,89). A kérdés az ágyúgolyó pályájának megítélésére vonatkozott, a helyes válaszok száma összességében itt volt a második legtöbb (de így is csak 57%). Ez azt mutatja, hogy a kérdés nem tartozott a legnehezebbek közé, de a hibákat a tanulók viszonylag hasonló módon követték el.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	1-2 csop.	1-3 csop.	1-4 csop.	1-5 csop.	1-6 csop.	2-3 csop.	2-4 csop.	2-5 csop.	2-6 csop.	3-4 csop.	3-5 csop.	3-6 csop.	4-5 csop.	4-6 csop.	5-6 csop.	Átlag
1	0,99	0,71	0,95	0,36	0,96	0,71	0,95	0,40	0,94	0,87	0,86	0,80	0,61	0,96	0,42	0,77
2	0,75	0,95	0,54	0,93	0,64	0,60	0,95	0,94	0,86	0,37	0,83	0,47	0,81	0,91	0,82	0,76
3	0,42	0,40	0,17	0,90	0,55	0,32	0,14	0,61	0,36	0,87	0,49	0,48	0,28	0,56	0,79	0,49
4	0,96	0,94	0,93	0,85	0,74	0,81	0,91	0,75	0,68	0,90	0,89	0,66	0,91	0,63	0,74	0,82
5	0,99	0,89	0,84	0,93	0,90	0,89	0,87	0,94	0,84	0,73	0,89	0,86	0,95	0,73	0,80	0,87
6	0,87	0,67	-0,06	0,57	0,97	0,94	0,29	0,90	0,87	0,46	0,98	0,67	0,49	0,05	0,59	0,62
7	0,93	0,79	0,56	0,85	0,43	0,92	0,75	0,83	0,31	0,93	0,90	0,51	0,81	0,53	0,78	0,72
8	0,76	0,37	-0,26	0,26	-0,41	0,47	0,08	0,07	0,01	0,54	0,61	0,09	-0,20	0,61	-0,29	0,18
9	0,32	0,18	0,18	0,21	0,83	0,87	0,98	0,19	0,51	0,84	0,43	0,29	0,13	0,43	-0,25	0,41
10	0,98	0,98	0,81	0,92	0,61	0,99	0,87	0,89	0,73	0,87	0,87	0,73	0,60	0,91	0,42	0,81
11	0,84	0,99	0,38	0,20	0,03	0,79	0,79	0,65	0,32	0,27	0,08	-0,08	0,96	0,59	0,76	0,50
12	0,99	0,96	0,42	0,13	0,67	0,94	0,43	0,15	0,69	0,56	0,15	0,57	0,73	0,53	0,73	0,58
13	0,85	0,69	-0,06	0,33	-0,20	0,96	0,10	0,61	0,33	0,26	0,63	0,56	0,29	0,49	0,56	0,43
14	0,84	0,80	0,46	0,52	-0,35	0,97	0,28	0,13	-0,24	0,35	0,19	-0,10	0,88	0,62	0,33	0,38
15	0,69	0,60	0,70	0,08	0,66	0,76	0,93	-0,22	0,77	0,90	0,08	0,95	0,09	0,84	-0,10	0,52
16	0,97	0,84	0,97	0,91	0,98	0,94	0,98	0,81	0,92	0,89	0,56	0,76	0,85	0,94	0,94	0,89
17	0,87	0,78	0,72	0,40	0,74	0,98	0,94	0,75	0,90	0,92	0,83	0,87	0,72	0,84	0,86	0,81
18	0,90	0,92	0,20	0,70	0,06	0,75	0,32	0,87	-0,14	0,32	0,42	0,37	0,02	0,32	-0,60	0,36
19	1,00	0,90	0,76	0,95	0,42	0,91	0,79	0,94	0,45	0,91	0,84	0,60	0,68	0,85	0,41	0,76
20	0,49	0,38	0,55	0,33	0,03	0,58	0,77	0,20	0,63	0,45	0,55	0,17	-0,21	0,83	-0,55	0,35
21	0,53	0,64	0,81	0,79	0,42	0,30	0,81	0,57	0,42	0,38	0,75	0,32	0,51	0,70	0,00	0,53
22	0,97	0,98	0,78	0,99	0,91	0,97	0,75	0,99	0,83	0,68	0,99	0,92	0,71	0,74	0,87	0,87
23	0,87	0,94	0,83	0,76	0,80	0,97	0,86	0,97	0,68	0,91	0,89	0,71	0,79	0,84	0,63	0,83
24	0,44	0,90	-0,39	0,32	0,85	0,66	0,10	0,77	0,50	-0,31	0,37	0,93	0,02	-0,54	0,14	0,32
25	0,85	0,77	0,93	0,94	0,36	0,89	0,86	0,88	0,49	0,63	0,74	0,43	0,95	0,36	0,16	0,68
26	0,91	0,41	0,24	-0,25	0,81	0,49	0,45	-0,06	0,83	0,36	-0,35	0,63	0,70	0,71	0,09	0,40
27	0,95	0,71	0,77	0,72	0,45	0,69	0,72	0,68	0,51	0,51	0,10	-0,05	0,35	0,10	0,84	0,54
28	0,52	0,16	0,21	0,32	-0,23	0,34	0,80	0,07	0,65	0,19	0,45	0,16	-0,44	0,71	-0,10	0,28
29	0,96	0,95	0,30	0,98	0,30	0,94	0,36	0,93	0,16	0,16	0,92	0,31	0,43	0,43	0,39	0,57
Átlag	0,81	0,73	0,49	0,58	0,48	0,77	0,65	0,59	0,55	0,58	0,58	0,50	0,50	0,59	0,39	0,59

10. táblázat: a csoportok közti korrelációk kérdésenként és az átlaguk, a részarányokból kiindulva

A következő két magas korreláció a csoportok közt az 5. és 22. kérdésnél mutatkozott (0,87), ugyanakkor ezekre a kérdésekre született összességében a legkevesebb helyes válasz (16 és 15, lásd a 3. táblázatot). Ez mutatja, hogy egy háttérben meghúzó körülmény igen erősen hatott minden csoportnál abba az irányba, hogy ne szülessenek jó válaszok. Ezek a kérdések az *impetus* fogalmához kötődnek, mint ahogy a 9. kérdés is, de ott a csoportok közti átlagos korreláció viszonylag kisebb volt.

Megfigyelhető, hogy a három erősebb csoport válaszadásai közt erősebb a korreláció, mint a három gyengébb csoport válaszadásai közt. Számszerűen ezt a 11. táblázatból olvashatjuk ki, amiből az *utolsó sor* átlagos korrelációi közül kiragadjuk az ide vágókat:

1-2 csop.	1-3 csop.	2-3 csop.	4-5 csop.	4-6 csop.	5-6 csop.
0,81	0,73	0,77	0,50	0,59	0,39

11. táblázat: az erősebb és gyengébb csoportok egymás közti átlagos korrelációi

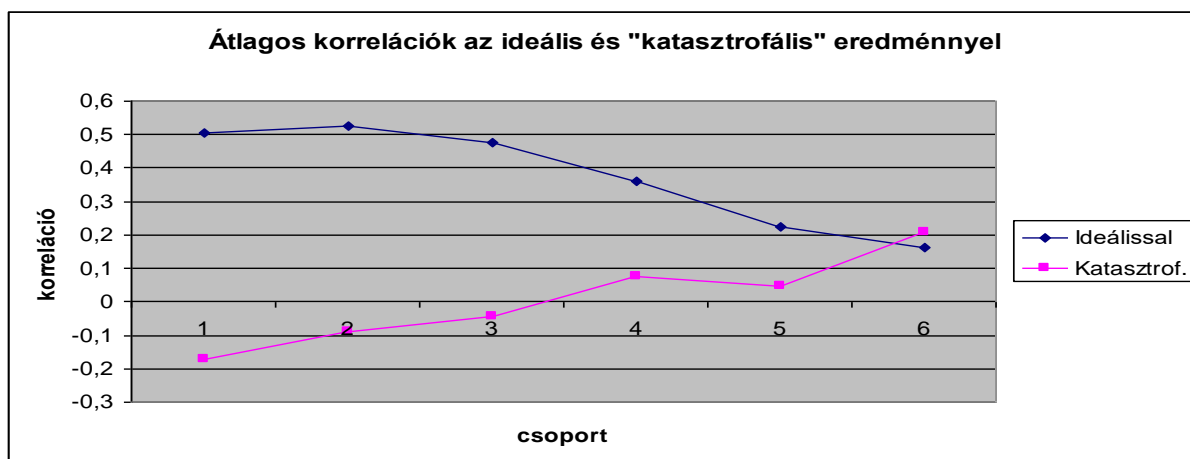
A táblázatban található adatok arra engednek következtetni, hogy minél gyengébb csoportokról van szó, annál kisebb a csoportok közti korreláció. Ennek éppen a fordítottja az, hogy az erősebb csoportok közti magas korrelációk nem biztos, hogy azért jelennek meg, mert a tanultak alapján a tanulók döntő hányada a helyes választ jelöli be. Itt látható világosan az, hogy a tanulók a *tanultak ellenére* nagymértékben rossz választ adnak, ami a háttérben meghúzódó esetleges tévképzetnek tudható be. Ez jelent meg pl. az 5. és 22. kérdéseknél.

Arra a körülményre, hogy a jobb tanulók eredményei közt erősebb a korreláció, mint a gyengébb tanuló eredményei közt, pl. úgy is lehet következtetni, hogy egyazon csoportot osztunk két részre és vizsgáljuk a részek közti átlagos korrelációt. Így kimutatható, hogy a 2. csoport két fele közti korrelációk átlaga 0,73, a 6. csoport két fele közti korrelációk átlaga pedig 0,54.

Kiegészítésképpen megvizsgálhatjuk, hogy az egyes csoportok eredményei milyen erősen korrelálnak egy képzeletbeli „ideális” csoporttal (ahol mindenki hiba nélkül töltötte volna ki a tesztet), illetve a képzeletbeli „katasztrofális” csoporttal, ahol mindenki teljesen rossz válaszokat adott volna. Ezt fejezi ki a következő 12. táblázat és szemléletesen a 14. ábra:

Korrelációk az ideális és "katasztrofális" csoporttal						
Csoport	1	2	3	4	5	6
Ideálissal	0,51	0,53	0,48	0,36	0,22	0,16
Katasztrof.	-0,17	-0,09	-0,04	0,07	0,05	0,21

12. Táblázat: az egyes csoportok korrelációja az „ideális” és „katasztrofális” csoporttal



14. ábra: az egyes csoportok korrelációja az ideális és „katasztrofális” csoporttal

A táblázatból és a grafikonból látható, hogy minél kisebb átlagpontszámú csoportot veszünk, az eredménye annál gyengébben korrelál az „ideálissal” és annál erősebben korrelál a „katasztrofálissal”.

Az átlagos korrelációk értékét (10. táblázat) arra is ki lehet használni, hogy eldöntsük, mely kérdések kihagyása esetén növekedne a teszt megbízhatósága. Ez a módszer ismert az irodalomból [33]. Ilyen kérdés pl. a 8. kérdés lehetne (lásd a 10. táblázatot), de igény szerint további kérdések is, amelyeknél a táblázatban a korrelációk átlagát az utolsó oszlopban zölddel megjelöltem (pl. 8, 14, 18 stb.). Ez viszont csak mint módszer érdekes, esetünkben nem is tartom az adatok mennyiségét erre nézve elegendőnek, és nem is lehet ez a célunk egy ilyen teszt esetében. Figyelemreméltó viszont, hogy *ha azt nézzük, mely kérdéseknél nem volt nagyobb a jobb csoportok sikeressége, mint a gyengébb csoportoké, akkor sok esetben ugyanezeket a kérdéseket kapjuk.* Ezt mutatja a 13. táblázat, ahol megjelöltem az alacsonyabb százalékértékeket. A 8. és 9. kérdés esetében pl. fokozhatta a véletlenszerűséget, hogy ezek a kérdések egy kérdéscsoport végén vannak, ahol a válaszadók figyelme lankadt.

A 20. kérdésben a csoportok közti alacsony korreláció megjelenésében szerepe lehet annak, hogy a helyes válasz (A – nincs olyan időtartam) megtalálásában túl nagy szerepe van az „időtartam” szónak. A *pillanatnyi* sebességek egyenlősége a kérdéses ábrán ugyanis megvalósul (időtartamra, tehát időintervallumra vonatkozó sebességegyenlőség nem valósul meg, ha az első mozgást egyenletesen gyorsulónak, a másodikat pedig egyenletesnek tekintjük). A kérdésben tehát szerepe lehetett abban, hogy a tanulók magát a kérdést hogy értelmezték. Ha nem tételezzük fel, hogy a tanulók eleve az egyenletesen gyorsuló és egyenletes mozgásokra gondolnak, akkor a kérdés eldöntését az ábra nem alapozza meg egyértelműen. Ilyen feltételezésekben egy tesztben nem célszerű bízni.

Megoldási valószínűségek kérdésenként és csoportonként

Kérdés	Csoport						Súlyos átlagok	
	1	2	3	4	5	6	1-3 átlag	4-6 átlag
Q1	72%	77%	33%	52%	27%	56%	65%	46%
Q2	48%	23%	60%	10%	40%	19%	42%	21%
Q3	16%	27%	33%	24%	13%	6%	24%	15%
Q4	68%	55%	60%	43%	47%	38%	61%	42%
Q5	8%	9%	7%	29%	20%	13%	8%	21%
Q6	72%	55%	40%	14%	40%	50%	58%	33%
Q7	36%	45%	33%	29%	27%	6%	39%	21%
Q8	36%	32%	20%	19%	0%	19%	31%	13%
Q9	16%	27%	13%	24%	20%	13%	19%	19%
Q10	68%	64%	60%	38%	53%	38%	65%	42%
Q11	60%	41%	73%	14%	7%	6%	56%	10%
Q12	76%	82%	53%	24%	20%	38%	73%	27%
Q13	60%	41%	33%	14%	13%	0%	47%	10%
Q14	52%	50%	47%	19%	20%	0%	50%	13%
Q15	32%	45%	53%	43%	20%	44%	42%	37%
Q16	52%	68%	80%	52%	40%	50%	65%	48%
Q17	80%	50%	47%	29%	27%	38%	61%	31%
Q18	12%	14%	20%	19%	0%	38%	15%	19%
Q19	88%	86%	53%	38%	53%	31%	79%	40%
Q20	32%	14%	20%	24%	20%	6%	23%	17%
Q21	16%	32%	7%	19%	20%	13%	19%	17%
Q22	12%	9%	0%	33%	7%	13%	8%	19%
Q23	28%	18%	27%	19%	7%	13%	24%	13%
Q24	16%	32%	20%	19%	53%	13%	23%	27%
Q25	32%	18%	20%	24%	27%	13%	24%	21%
Q26	8%	18%	20%	33%	27%	19%	15%	27%
Q27	36%	45%	53%	29%	13%	6%	44%	17%
Q28	0%	27%	20%	29%	7%	38%	15%	25%
Q29	48%	50%	67%	14%	40%	25%	53%	25%

13. táblázat: megoldási valószínűségek kérdésenként és csoportonként

Más a helyzet, ha a tanuló a kérdést úgy érti, hogy van-e olyan időtartam, amelyben legalább a *pillanatnyi* sebességek egyenlősége megvalósul. Ekkor biztosan van ilyen időtartam a 3. és 4. felvétel közt, de az lehet bármelyik, ha a járművek tetszőleges mozgását megengedjük. A kérdés tehát nem szerencsés, mélyebb gondolkodás esetén más eredményre vezet, mint felszínes gondolkodás esetén.

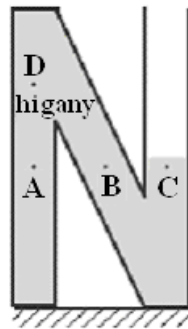
Ugyancsak bizonytalan az, hogy a tanuló a 17. kérdésben felméri-e, milyen nagy szerepe van annak, hogy *kő* esik le és *földszintes* ház tetejéről. Nagy magasságból való esés közben ugyanis általában bekövetkezik az az állapot, amikor a test a levegő ellenállása miatt tovább már nem gyorsul. Emiatt vitatható az „A” válasz kiválasztása. Más-más testek esetében más-más magasság bizonyul elegendően nagynak. A feladatban tehát egy kombinált feltételt kellett figyelembe venni.

A 20. és 17. kérdésben felmerülő gondok a teszt figyelmes megszövegezésekor kiküszöbölhetőek, de fő céloom nem a teszt tökéletesítése volt, hanem a felhasználása a tévképzetek elemzése céljából.

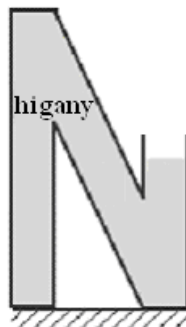
11. 6 A hidrosztatika teszt

A nyomás

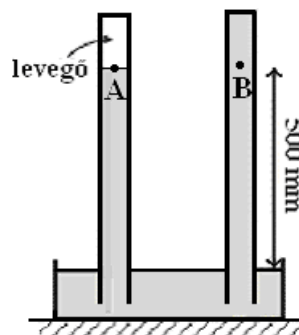
1. Az „N” alakú edényben higany van, mely az egyik száron keresztül kapcsolatban van a külső légnyomással. Hasonlítsd össze a megjelölt pontokban a nyomásokat! (pl. az $A < B < C = D$ felírás jelentse azt, hogy az A pontban kisebb a nyomás, mint a B pontban, a B pontban kisebb, mint a C pontban és a D pontban ugyanakkora, mint a C pontban). Állításaidat röviden indokold meg!



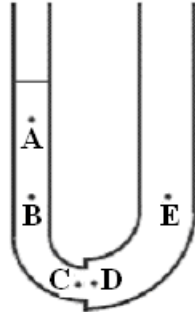
2. Döntsd el, kifolyik-e a higany a levágott szárból, ha az edényt egy nagyobb tartályba helyezzük és a tartályban a levegő nyomását nullára csökkentjük! Állításodat indokold!



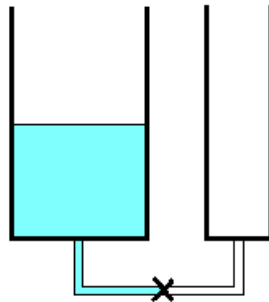
3. A higanyba felülről zárt üvegcsövek érnek bele, a higany az egyiket teljesen megtölti, a másik felső végében levegő van. Hasonlítsd össze a nyomásokat a megjelölt pontokban! Használd az első kérdésben megbeszélt jelölésmódot! Mekkora a levegő nyomása a bal oldali csőben a p_0 külső légnyomáshoz képest? Állításaidat indokold!



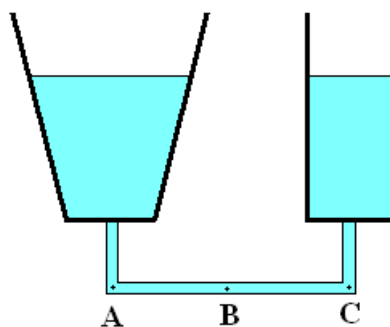
4. Az ábrázolt edénybe úgy akarunk higanyt önteni, hogy a bal oldali részben a megjelölt szintig érjen. Jelöld be, meddig fog a higany érni a jobb oldali részben! (Ott alacsonyabb szinten fog végződni, magasabb szinten vagy ugyanolyan magasságban?) Ezután hasonlítsd össze a bejelölt pontokban a nyomásokat! Állításaidat indokold!



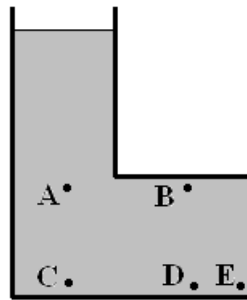
5. A szívószálat függőlegesen félig a vízbe merítjük, majd ujjunkkal befogjuk a felső végét és fokozatosan kiemeljük. Mi történik kiemelés közben a szívószálban lévő vízzinttel és miért? Mi történik, ha a szívószálat teljesen kiemeljük a vízből? Állításaidat indokold!
6. A képen henger alakú edények vannak egymással alul gumicsővel összekötve. A nagyobb edény átmérője kétszer akkora, mint a kisebb edény átmérője. Mi történik, ha a gumicső szorítását eltávolítjuk? Állításodat röviden indokold meg!



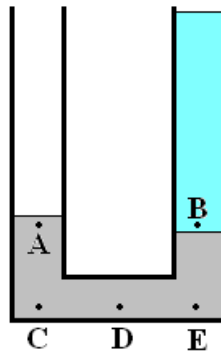
7. Hasonlítsd össze a folyadék nyomásait a megjelölt pontokban az edényeket összekötő csőben (közlekedőedények)! Használd a megszokott jelölésmódot!



8. Hasonlítsd össze a nyomásokat a higanyban a megjelölt pontokban! Használd a megszokott jelölésmódot! Állításodat röviden indokold meg!



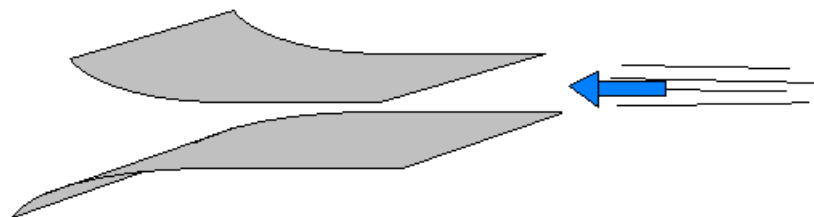
9. A vízszintes síkon elhelyezett „U” alakú csőben higany és víz van. Az A és B pontok egy magasságban vannak, csakúgy, mint a C, D és E pontok. Hasonlítsd össze az A és B pontokban lévő nyomásokat, és állításodat indokold meg! Hasonlítsd össze a C, D és E pontokban is a nyomást!



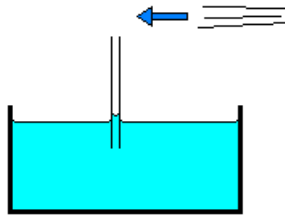
10. A vízvezeték olyan részét vizsgáljuk, ahol szűkület van. Hasonlítsd össze a vízben mérhető nyomást az A és B pontban a víz állandósult áramlása esetén! Állításodat indokold meg!



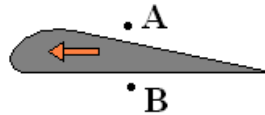
11. Mi történik, ha az ábrának megfelelő módon a papírlapok közé fújunk? Állításodat röviden indokold meg!



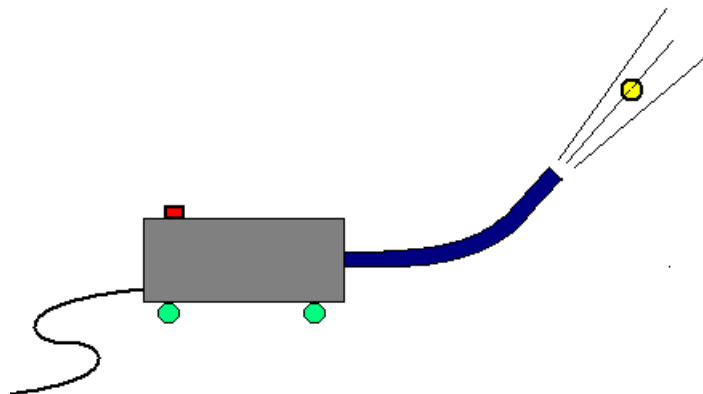
12. Mi történik, ha a vizet tartalmazó edénybe merített vékony cső végére erősen ráfújunk? Állításodat röviden indokold meg!



13. A repülőgép szárnyának keresztmetszete az ábrán látható. A nyíl mutatja a repülés irányát. Hasonlítsd össze a levegő nyomását az A és B pontokban, és állításodat röviden indokold meg! Milyen lenne a két nyomás viszonya, ha szélcsatornában a levegő áramlásának irányát megfordítanánk?



14. A porszívó csővéből kiáramló légáramban elhelyezett pingponglabda az áramlatban marad, ha az ábra szerinti elrendezést hozzuk létre. Miért nem esik le a pingponglabda és miért marad meg, ha ingadozva is, a cső végétől nagyjából ugyanabban a távolságban (vagyis miért nem löki el az áramlat a labdát)?



11. 7 A hidrosztatikatesztben megfigyelt tévképzetek gyakorisága

A 14. a, b, c, d táblázatok arról adnak áttekintést, hogy az egyes tévképzetekre mely válaszokból lehetett következtetni, valamint hogy az adott téves válaszok hányszor következtek be. A könnyebb áttekinthetőség kedvéért az egyes tévképzetek jelölismódját itt is feltüntettem:

- A. annál nagyobb a folyadék nyomása, minél távolabb vagyunk a folyadék és a levegő érintkezési felületétől, függetlenül az edény alakjától
- B. a légnyomás a folyadékban annál inkább emeli a nyomást, minél közelebb vagyunk a folyadék és a levegő érintkezési felületéhez
- C. közlekedőedényekben a folyadékszintek úgy helyezkednek el, hogy az egyes szárazban egyenlő legyen a teljes folyadékmennyiség
- D. két azonos magasságban lévő pont közül ott nagyobb a folyadék nyomása, amelyik felett sűrűbb közeg található, függetlenül az edény alakjától
- E. közlekedőedények esetében a nyomás az edényeket alul összekötő cső közepén a legnagyobb, mert ott a két edényből származó nyomások összeadódnak
- F. a levegő nyomásának nincs szerepe a folyadék viselkedése tekintetében

	"A" tévképzet									
Kérdés	1.				8.					
Téves válasz	$p_A > p_B$	$p_B > p_C$	$p_D > p_B$	$p_D > p_C$	$p_E > p_C$	$p_B > p_A$	$p_E > p_D$	$p_B > p_C$	$p_D > p_C$	
Abszolút gyakoriság	28	75	41	65	17	32	24	16	26	
Relatív gyakoriság	0,15	0,40	0,22	0,35	0,09	0,17	0,13	0,09	0,14	

14. a) táblázat: az „A” tévképzet előfordulási helye és előfordulási mértéke

	"B" tévképzet								
Kérdés	1.			8.					
Téves válasz	$p_D > p_A$	$p_C > p_B$	$p_B > p_A$	$p_A > p_B$	$p_B = p_D$	$p_D > p_E$	$p_C > p_E$	$p_A > p_D$	
Abszolút gyakoriság	25	32	12	41	18	13	19	26	
Relatív gyakoriság	0,13	0,17	0,06	0,22	0,10	0,07	0,10	0,14	

14. b) táblázat: a „B” tévképzet előfordulási helye és előfordulási mértéke

	"C" tévképzet		
Kérdés	3.	4.	6.
Téves válasz	$p_B > p_A$	"vastagban alacsony szint"	"vékonyban magasabb szint"
Abszolút gyakoriság	74	107	61
Relatív gyakoriság	0,40	0,58	0,33

14. c) táblázat: a „C” tévképzet előfordulási helye és előfordulási mértéke

	"C" tévképzet					
Kérdés	7.		8.			9.
Téves válasz	" p_A a legnagyobb"	" p_B a legkisebb"	$p_A > p_B$	$p_C > p_E$	$p_C > p_D$	$p_E > p_D$
Abszolút gyakoriság	35	46	41	19	28	50
Relatív gyakoriság	0,19	0,25	0,22	0,10	0,15	0,27

14. c) táblázat folytatás: a „C” tévképzet előfordulási helye és előfordulási mértéke

	"D" tévképzet		"E" tévképzet			"F" tévképzet	
Kérdés	1.	3.	7.	9.		2.	5.
Téves válasz	$p_B > p_C$	$p_B > p_A$	" p_B a legnagyobb"	$p_D > p_C$	$p_D > p_E$	"nem folyik ki"	"végül kifolyik"
Abszolút gyakoriság	75	74	41	29	15	70	47
Relatív gyakoriság	0,40	0,40	0,22	0,16	0,08	0,38	0,25

14. d) táblázat: a „D”, „E” és „F” tévképzet előfordulási helye és előfordulási mértéke

11. 8 A tanulók válaszadásának következetessége a hidrosztatikatesztben

Viszonylag egyszerűen jellemezhető, milyen helyzetben gondolják a tanulók azt, hogy a közlekedőedényekben az edény két szárában lévő folyadékmennyiség akkor van egyensúlyban, amikor a teljes tömegek vannak egyensúlyban (nem pedig a hidrosztatikai nyomások). A negyedik kérdésben az egyik (vékonyabb) szárban lévő folyadékmagassághoz kellett a másik szár folyadékszintjét hozzárajzolni, a hatodik kérdésben pedig adott mennyiségű folyadéknak kellett egy csap megnyitása után egyensúlyba rendeződnie az edény két szárában. Annak az

esélye, hogy ha valaki a 4. kérdésben a vékonyabb szárban magasabbra jelöli be a folyadékszintet, akkor a 6. kérdésnél is ilyen értelemben gondolkodik, 46%. Fordítva, annak az esélye, hogy ha a 6. kérdésnél a vékonyabb szárban képzelt el magasabb szintet, akkor a 4. kérdésnél is eszerint döntött, 80%. Akik a 4. kérdésnél a tömegek egyensúlyára gondoltak, azoknak 21%-a a 6. kérdésnél mégis jól oldotta meg a feladatot. A 6. kérdés könnyebb volt, mint a 4. kérdés, amit az is alátámaszt, hogy a 6. kérdést 72, míg a 4. kérdést csak 55 tanuló oldotta meg helyesen.

A 2. és az 5. kérdésben is szükség volt a légnyomás szerepének a figyelembevételére. Ilyen tekintetben inkább a jó válaszok korrelálnak egymással, mert ha valaki a 2. kérdésnél jó választ adott, vagyis belátta, hogy légnyomás hatása nélkül a higany az „N” alakú edényből kifolyik, akkor 63% volt az esélye annak, hogy az 5. kérdésre is jó választ adjon (a szívószál teljes kiemelése esetére). A fordított esetben ez 56%.

Közös vonással rendelkezett a 7. és 8. kérdés olyan tekintetben, hogy mindkettőnél tetten érhető a hidrosztatikai nyomás alapösszefüggésének mellőzése, vagyis a tanulók nem a mélységfüggést tekintették meghatározónak, hanem más körülményeket. Ezeknél a kérdéseknél a jó válasz mellett többféle típusú rossz válasz született. Közülük érdemes kitérni arra, amikor a tanuló a nyomás nagyságára nézve kimondottan csak az adott hely „felett” elhelyezkedő folyadékmennyiséget tartotta mérvadónak, tehát nem ismerte a nyomás Pascal törvényével összefüggő tulajdonságait (hogy a nyomás más helyekről is „odavezetődhét”). Erre enged következtetni a „ p_B a legkisebb” választás a 7. kérdésben (ez azt jelentette, hogy a kérdéses pontok közül a B-ben a legkisebb a nyomás), valamint a 8. kérdésben a $p_A > p_B$, $p_C > p_D$ vagy $p_C > p_E$ válaszok. Ha ilyen szempontból dolgozzuk fel a 7. és 8. kérdésre adott válaszokat, akkor azt látjuk, hogy ha valaki a 7. kérdésben a B pontban tartotta a nyomást a legkisebbnek, akkor annak a valószínűsége, hogy a 8. kérdésben is hasonlóan gondolkodik, 54%. Fordítva, ha valaki a 8. kérdésnél a tárgyalt módon hibázott, akkor 49% volt az esélye annak, hogy ugyanígy hibázik a 7. kérdésnél is.

Ha valaki az első kérdésnél elkövette azt a hibát, hogy az N alakú edény nyílásától egyre messzebb kell a nyomásnak egyre nagyobbak lennie (ezek a $p_A > p_B$, $p_B > p_C$, $p_D > p_B$ és $p_C < p_D$ válaszok), akkor 46% volt az esélye annak, hogy ezt a hibát a nyolcadik kérdésnél is elköveti ($p_D > p_C$, $p_E > p_C$, $p_B > p_A$, $p_E > p_D$, $p_B > p_C$ válaszok). Ennek a tévhitnek viszont az ellenkezője is megmutatkozott, mégpedig olyan formában, hogy a nyomás nagysága a folyadékban a külső légnyomás hatására annál kisebb, minél messzebb vagyunk a folyadék és levegő érintkezési felületétől. Erről az első kérdésnél a $p_D > p_A$, $p_C > p_B$ és $p_B > p_A$ válaszok, a nyolcadik kérdésnél pedig a $p_B = p_D$, $p_A > p_D$, $p_D > p_E$ és $p_C > p_E$ válaszok tanúskodnak. Ha valaki

ilyen értelemben tévedett az első kérdésnél, akkor 35% volt az esélye annak, hogy ugyanígy tévedett a nyolcadik kérdésnél is. Ez fordítva is 35%.

Felbukkant a válaszok közt olyan jellegű is, amiből arra lehet következtetni, hogy a tanuló szerint egy adott helyen, pl. egy csőben, a jobbról és balról ható nyomás összeadódik. Ilyenek a 7. kérdés „B a legnagyobb” és a 9. kérdés $p_D > p_C$, $p_D > p_E$ válaszai. Annak a valószínűsége, hogy ha valaki a 7. kérdésnél a tárgyalt hibát választja, akkor a 9. kérdésnél is, 41%. Fordított esetben 49%-ot kapunk.

A megvizsgált összehasonlításokból látható, hogy a tanulók válaszai a hidrosztatika-tesztben közepesen következetesek. Így a teszt alátámasztja, hogy bizonyos tanulói tévképzetek bizonyos helyzetekben könnyebben, más helyzetekben kevésbé nyilvánulnak meg.

Függelék: A mérés reliabilitása és validitása

Egy teszt esetében ismernünk kell a teszt megbízhatóságát, mely azt tükrözi, hogy különböző csoportokkal és különböző időkben megíratott tesztek hasonló felkészültségű személyek esetében hasonló eredményeket szolgáltatnak-e. Elengedhetetlen, hogy a teszt alkalmas legyen az egyes személyek közti különbségek kimutatására. A megbízhatóság (reliabilitás) számszerű kifejezésére többféle mutató létezik, ilyen az ún. Cronbach-alfa is. Értékét az

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^k \text{var}(x_j)}{\text{var}(x_0)} \right)$$

képlettel definiáljuk [33]. Benne k a kérdések száma (esetünkben 29), x_1, \dots, x_k az egyes kérdésekre kapott pontok és $x_0 = \sum_{j=1}^k x_j$ az elért össz-pontszám. A jobb oldalon a zárójelben a számlálóban az adott kérdésre kapott pontok varianciáinak összege van, a nevezőben pedig az egyes válaszadók össz-pontszámainak varianciája. A Cronbach-alfa mint statisztikai mutató hosszabb fejlődési időszak után alakult ki és vált elfogadottá. Kiszámítása lényegében bizonyos korrelációk átlagának a meghatározását jelenti. Fontos vonása, hogy kifejezi, mennyire alkalmas az adott teszt az egyének közti különbségek kimutatására. Az alkalmas mutatók egyes szerzők szerint a 0,8 – 0,9 intervallumba esnek [31], de különböző jellegű méréseknél az elvárható értékek különbözhetnek. A Cronbach-alfa a reliabilitás értékére alsó becslést ad, tehát az elméletileg létező „tényleges” érték valahol a kiszámított érték felett van. Cronbach szerint 0,8 a kívánatos.

Hestenes 29 kérdéses tesztjének megbízhatóságáról és arról, hogyan állapították azt meg, a [9] [10] írásokban olvashatunk. Vannak szerzők, akik a Cronbach-alfa 0,6 – 0,7 közti értékét tartják elfogadhatónak, lásd pl. [32].

A kilencedik évfolyamos csoportok (szilárd testek mechanikája) teszteredményeinek feldolgozásával kapott Cronbach-alfa mutatókat az 15. táblázat tartalmazza. A táblázatba soroltam egy vizsgált 11. évfolyamos csoport és egy első évfolyamos főiskolai csoport mutatóit is.

A 6. csoport mutatója kilóg a sorból, nem jelez konzisztens válaszadást. Ez a tanulók gyengébb képességeivel és kisebb motivációjával függhet össze (erre nézve kaptam is tanári

főiskolai	11. évf.	1. csop.	2. csop.	3. csop.	4. csop.	5. csop.	6. csop.
0,906	0,68	0,644	0,666	0,691	0,56	0,637	0,163

15. táblázat: a begyűjtött teszteredmények alapján számított megbízhatósági mutatók

visszajelzést). A táblázatból látszik, hogy a Cronbach-alfa értéke ugyanazon teszt esetében a csoport jellemzőitől is függ, tágabb értelemben pedig a kitöltés körülményeitől (lásd populációfüggőség, [69]). Ne feledjük, az említett főiskolai mintában a Cronbach-alfa magas értéke (0,906) mellett csak kb. 60% volt a sikeresség, amiből azt szűrhetjük le, hogy a főiskolai csoport válaszainak nagyobb volt a „belső” következetessége, az ő tévképzeteket illető állapotuk felmérésére a teszt jobban megfelelt. A megbízhatósági mutató alacsonyabb szintjét a többi csoportnál a teszt sajátos jellegével is indokolhatnánk (azzal, hogy *gyakran előforduló téves elképzelések kínálata között* kellett megtalálni a helyes válaszokat), de létezik az irodalomban utalás arra, hogy a megtévesztő válaszok bőséges kínálata nem eredményezi azt, hogy a teszt torzított eredményeket szolgáltatna [70].

A főiskolai csoport válaszainak szórása 0,92, ez a kilencedikes csoportok szórásainál kisebb (lásd alább).

A 16. táblázat az egyes évfolyamokban számított megbízhatósági mutatókat tartalmazza a hidrosztatikatesztben. Mondhatjuk, hogy értékei hasonlóak, mint a jórészt ugyanazon iskolák tanulóival megíratott mechanikateszt esetében voltak Hasonlóan a mechanikateszt esetéhez, az alacsonyabb évfolyamok (kisebb felkészültség) felé haladva itt is egyre alacsonyabb a mutató értéke.

Évfolyam	12	11	10	9	össz
Megbízhatósági	0,76	0,66	0,59	0,52	0,62

16. táblázat: a hidrosztatika-teszt megbízhatósági mutatója évfolyamonként és összességében

A Cronbach-alfa kiszámítása a hidrosztatikatesztnél pusztán annak figyelembevételével történt, hogy valaki jó választ adott vagy nem. A teljes, minden évfolyamot felölelő mintára a megbízhatósági mutató értéke 0,62.

Az fentebb már idézett [35] írásban a teszt validitásáról is olvashatunk.

Irodalomjegyzék

- [1] Keazer, L: Students' Misconceptions In Middle School Mathematics. B.S. Undergraduate Mathematics Exchange, Vol. 2, No. 1, 2004
- [2] Korom Erzsébet: Naiv elméletek és tévképzetek a természettudományos fogalmak tanulásakor. Magyar Pedagógia, 97 (1), 19-40.
- [3] Tóth Zoltán: Kémiai tévképzetek. Természet Világa 140 (1), 2009
- [4] Pazza, R., Penteado, P. R., Kavalco, K. F: Misconceptions About Evolution in Brazilian Freshmen Students. *Evo Edu Outreach* 2010 (3), pp.107–113.
- [5] Dudás Edit – Farsang Andrea – Kádár Anett: Mégis forog a Föld? – Tévképzetek a földrajzban. A földrajz tanítása, 2012 (9), 8-20.
- [6] Shaw, R. S: Student Misconceptions. *American Journal of Physics*, 11, p. 227, 1943.
- [7] Perkins, H. A: Common Misconceptions Among First Year Students in College Physics. *American Journal of Physics* 11 (2), 1943, 101-102.
- [8] Clement, J: Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics* 50 (1), 1982, pp. 66 -71.
- [9] Halloun, I. A., Hestenes, D: The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics* 53 (11), 1985, pp. 1043-1055.
- [10] Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G: Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, Vol. 30, March 1992, pp. 141-158.
- [11] Hake, R. R: Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* 66 (1), 1998, pp. 64-74.
- [12] Halloun, I. A., Hestenes, D: Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics* 53 (11), 1985, pp. 1056-1065.
- [13] Taşlıdere, E: Effect of Conceptual Change Oriented Instruction on Students' Conceptual Understanding and Decreasing Their Misconceptions in DC Electric Circuits. *Creative Education*, Vol. 4, No.4, 2013, pp. 273-282.
- [14] Eryilmaz, A: Effect of Conceptual Assignments and Conceptual Change Discussions on Student's Misconceptions and Achievement Regarding Force and Motion. *Journal of Research of Science Teaching*, Vol. 39, No. 10, 2002, pp. 1001-1015.
- [15] Viennot, L: Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. *International Journal of Science Education*, Vol. 1, No. 2, 1979, pp. 205-221

- [16] Hammer, D: More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics* 64 (10), 1996, pp. 1316-1325
- [17] Viennot, L: Analysing students' reasoning: Tendencies in interpretation. *American Journal of Physics* 53 (5), 1985, pp. 432-436.
- [18] Krebs, R. E: *Scientific Development and Misconceptions Through the Ages: A Reference Guide*. Greenwood press, 1999
- [19] Gomez-Zwiep, S: Elementary Teachers' Understanding of Students' Science Misconceptions: Implications for Practice and Teacher Education. *Journal of Science Teacher Education* 19, 2008, pp. 437-454.
- [20] Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1986
- [21] Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H., Resnick, L. B: Naive Physics Reasoning: A Commitment to Substance-Based Conceptions. *Cognition and Instruction*, 18 (1), pp. 1-34.
- [22] Simonyi Károly, Zombory László: *Elméleti villamosságtan*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2000
- [23] Beaty, W. J: The origin of misconceptions in optics? *American Journal of Physics* 55 (10), 1987, pp. 872-873.
- [24] Haagen-Schützenhöfer, C: Students' conceptions on white light and implications for teaching and learning about colour. *Physics Education*. 52 (2017)
- [25] Horváth Dezső, Oláh Éva, Sükösd Csaba, Varga Dezső, Patkós András lábjegyzeteivel: Beszélgetés az elektron méretéről. *Fizikai Szemle* 65. évf. 5, 2015.
- [26] Styer, D. F: Common misconceptions regarding quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 64 (1), 1996, pp. 31-34.
- [27] Székely László: Interpretációk a fizikában. *Magyar Filozófiai Szemle* 2013/2.
- [28] Erdey-Grúz Tibor (szerk): *Természettudományi lexikon*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1968.
- [29] Hobson, A: There are no particles, there are only fields. *American Journal of Physics* 81 (3), 2013, pp. 211-223.
- [30] Loverude, M. E., Heron, P. R. L., Kautz, C. H: Identifying and addressing student difficulties with hydrostatic pressure. *American Journal of Physics* 78 (1), 2010, pp. 75-85.
- [31] Csapó Benő: *Az iskolai tudás*. Budapest, Osiris kiadó, 2002.

- [32] Dr. Fábián Gergely: Alkalmazott kutatás módszertan. Debreceni Egyetem Egészségügyi Kar, 2014
- [33] <http://www.real-statistics.com/reliability/cronbachs-alpha/>
- [34] Tasnádi Péter: Mit várunk a hallgatóktól? Absztrakció, megértés, alkalmazás. In: A tanulás és a tanítás értékelése. Szerk.: Károly Krisztina és Homonnay Zoltán. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2017, 87-100.
- [35] Hestenes, D., Halloun, I: Interpreting the Force Concept Inventory. The Physics Teacher 33, 1995, pp. 502-506.
- [36] Gönen, S: A Study on Student Teachers' Misconceptions and Scientifically Acceptable Conceptions About Mass and Gravity. Journal of Science Educational and Technology, Issue 17, 2008, pp. 70-81.
- [37] Güémez, J., Fiolhais, F., Fernández, L. A: The principle of relativity and the de Broglie relation. American Journal of Physics 84 (6), 2016, pp. 443-456.
- [38] Korom Erzsébet: Az iskolai tudás és a hétköznapi tapasztalat ellentmondásai: természettudományos tévképzetek In Csapó Benő: Az iskolai tudás. Budapest, Osiris Kiadó, 2002.
- [39] Dr. Kovács Zoltán tanár: Fizika. Athenaeum Irodalmi és Nyomdai R.-társulat kiadása, 1904.
- [40] Juhász András, Tasnádi Péter, Jenei Péter, Illy Judit, Wiener Csilla, Főzy István: A fizika tanítása a középiskolában I. Egyetemi jegyzet. Szerk.: Juhász András és Jenei Péter. ELTE Budapest, 2015.
- [41] Kont Gyula tanár: Elemi fizika. Polgári fiúiskolák számára. Harmadik teljesen átdolgozott kiadás. Budapest, Franklin-Társulat Magyar Irod. Intézet és Könyvnyomda, 1890.
- [42] FIZIKA 7. (tizenharmadik, változatlan kiadás), Szeged, MOZAIK Kiadó, 2016.
- [43] Fizikáról és kémiáról, Wigner Jenő centenáriuma ürügyén. Beszélgetés Tisza Lászlóval. Természet Világa 12, 2002.
- [44] Lévay Ede dr.: FIZIKA a csillagászat és fizikai földrajz elemeivel, a kath. polgári leányiskolák számára (a legújabb tantervnek megfelelően). Szent-István-Társulat kiadása, 1910.
- [45] Dr. Lévay Ede: Fizikai repetitórium I. Mechanika. Stampfel-féle Könyvkiadóhivatal (Révai Testvérek Irodalmi Intézet R.-T.), Budapest, 1928.
- [46] Csajági Sándor, Dégen Csaba, Elblinger Ferenc, Dr. Fülöp Ferenc, Póda László, Simon Péter: Mozgás, energia. 9. évfolyamos fizikakönyv, OFI, 2013.

- [47] ifj. Zátanyi Sándor: Fizika 9, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2008.
- [48] Dégen Csaba, Fülöp Ferenc, Póda László, Simon Péter, Urbán János: Fizika 10. Víz, levegő, elektromosság. OFI.
- [49] Dégen Csaba, Elblinger Ferenc, Simon Péter: Fizika 11. Fény, atom, világegyetem. Kiadja az Eszterházy Károly Egyetem. Középiskolás tankönyv, OFI.
- [50] Beresteckij, V. B., Lifsic, E. M., Pitajevskij, L. P: Relativisztikus kvantumelmélet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979, 1. §.
- [51] Tóth Eszter, Holics László, Marx György: Atomközelen. Gondolat kiadó, Budapest, 1981.
- [52] Dr. Siposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs, Péntek Lászlóné: Kémia 9. Általános és szervetlen kémia. Mozaik Kiadó, Szeged, 2013
- [53] Gomoletz, J., Grehn, J., Krause, J., Peters, G., Dr. Schmidt, H. K., Dr. Schwarze, H: Metzler Physik. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlag, 2014.
- [54] Dr. Tóth Eszter: Fizika, Gimnázium IV. osztály (kísérleti tankönyv). Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
- [55] Dégen Csaba, Elblinger Ferenc, Simon Péter: Fizika 11 Emelt szintű képzéshez
- [56] Skála, L: Úvod do kvantové mechaniky. Univerzita Karlova v Praze, 2011
- [57] Tasnádi Péter, Főzy István, Juhász András: A mozgások leírása gyorsuló koordináta-rendszerben. Fizika fakultatív modul a gimnázium III. osztálya számára. Budapest: Tankönyvkiadó, 1986.
- [58] Csajági Sándor, Fülöp Ferenc, Medgyes Sándorné és az Eszterházy Károly Egyetem (Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó Zrt.): Fizika 9, 2013.
- [59] Tél Tamás: Milyen tudomány a fizika? Amit minden középiskolásnak tudnia kellene. A Természet Világa melléklete, 2012 december.
- [60] Butikov, E. I: A dynamical picture of the ocean tides. American Journal of Physics, 70 (10), 2002, pp. 1001-1011.
- [61] Vybíral, B: Fyzikálne pole z hladiska teórie relativity. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1980.
- [62] Braune, G: Physik für jedermann. Compact Verlag GmbH München, 2010.
- [63] Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M: Mai fizika 3. Optika, anyaghullámok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
- [64] Landau, L. D., Lifsic, E. M: Kvantummechanika. Nemrelativisztikus elmélet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1978. 1. §.

- [65] Müller, R, Wieser, H: Teaching quantum mechanics on an introductory level. American Journal of Physics, 70 (3), 2002, pp. 200-209.
- [66] Carroll, S: Particles, Fields and The Future of Particle Physics. Előadás, lásd: <https://www.youtube.com/watch?v=gEKSpZPByD0>
- [67] Geszti Tamás: Kvantum és klasszikus határán. Fizikai Szemle 6, 2008, 209-214.
- [68] Zeh, H. D: Dekohärenz und andere Quantenmißverständnisse. <http://www.rzuser.uni-heidelberg.de/~as3/KarlsruheText.pdf>
- [69] Rózsa Sándor Nagybányai Nagy Olivér Oláh Attila (szerk.): A pszichológiai mérés alapjai. Elmélet, módszer és gyakorlati alkalmazás. Bölcsész Konzorcium, 2006.
- [70] Rebello, N. S., Zollman, D. A: The effect of distracters on student performance on the force concept inventory. American Journal of Physics 72 (1), 2004, pp. 116-125.

Saját publikációim:

- [S1] Kuczmann Imre: Miből származhatnak tévképzetek a modern fizikában. Konferenciakiadvány, Budapest, ELTE Természettudományi Kar, 2013, 201-206.
- [S2] Kuczmann Imre: Tévképzetek a mechanika és elektromágnesesség határán. Konferenciakiadvány, Komárom, International Research Institute s. r. o. 2014, 172-179.
- [S3] Kuczmann Imre: A kvantumszámok szemléletes jelentése az atomburokban. In: Talata István (szerk.): Matematikát, Fizikát és Informatikát Oktatók 41. Országos Konferenciája, Budapest, Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar, 2017.
- [S4] Kuczmann Imre: Tanulói tévképzetek a mechanikában. Konferenciakiadvány, Budapest, ELTE Természettudományi Kar, 2011, 375-379.
- [S5] Kuczmann Imre: Student's Misconceptions in Mechanics and their Manifestation in a Survey. Physics Competitions, Issue 1-2, 2013, pp. 76-85.
- [S6] Kuczmann Imre: A diákok hidrosztatikai nyomással kapcsolatos tudásszintje és tévképzetei. Fizikai Szemle 7-8, 2014, 267-271.
- [S7] Kuczmann Imre: The Structure of Knowledge and Students' Misconceptions in Physics. AIP Conference Proceedings 1916, American Institute of Physics, 2017.
- [S8] Kuczmann Imre: Coordinate transformation in description of physical phenomena. Budapest, Graduate School for Physics. Faculty of Science, ELTE, 2016.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Tasnádi Péternek, a téma feldolgozása során nyújtott segítségét, mely kiterjedt a dolgozat tartalmi elemeinek, szerkezetének kikristályosodását segítő útmutatásokra, a benne foglalt megállapítások kritikus megvitatására, a megfogalmazások világosabbá tételére és új impulzusok nyújtására is. Köszönöm a kutatómunkám során született publikációk megvitatását, a megírásukat kísérő megjegyzéseket, valamint a velük összefüggő fizikai kérdések sokoldalú és részletes megvitatását. Örömmre szolgál, hogy gazdag tapasztalatokkal rendelkező, ugyanakkor minden új gondolatra is odafigyelő személyiség lehetett a témavezetőm.

Egyúttal köszönöm Dr. Tél Tamásnak, a Fizika Tanítása Doktori Program vezetőjének, munkám figyelemmel követését, a kritikai megjegyzéseit és buzdítását. Köszönöm Dr. Juhász Andrásnak, a doktori program egyik megalapítójának, a munkám tartalmi rendezettségét segítő útmutatását. Köszönöm a doktori program munkájába bekapcsolódó minden előadó azon igyekezetét, hogy a program a lehető legnagyobb mértékben gazdagítsa ismereteinket a fizika speciális területein csakúgy, mint a tanításban felhasználható módszerek terén.

Végül köszönöm a doktori program során, valamint a tanítási gyakorlatom során megismert minden kedves munkatársamnak, a kutatómunkám részét képező tanulói tesztek megíratásában nyújtott segítségét, valamint az idegen nyelvű publikációk megszületésével kapcsolatos támogatásukat.

Summary

In my thesis, I presented the results of my research and analysis in the topic of misconceptions. My aim was to seize the relevant characteristic features of misconceptions and to draw up strategies against them. The topic has a wide scope and it is also relevant in any chapters of physics. The research data I collected from students in the field of mechanics and hydrostatics came from tests. In hydrostatics, the students' trains of thought were suggestive in the justification of answers. While processing the recorded data, I observed several statistical criteria and examined correlations.

While studying technical literature, I also assessed the presence and impact of misconceptions in other fields of physics. In the field of modern physics, I kept track of those areas of knowledge, which are prone to the appearance of misconceptions in my opinion.

The misconceptions in quantum theory have an extended literature, we may easily come across disputed questions. The misconceptions examined in the field of modern physics are key, as they greatly define the further reasoning of the students and may hinder their sound development. These questions make the deeper analysis of these misconceptions possible and justify the recognition of purely theoretically-formed misconceptions as a distinctive category.

The characteristics of the means I recommend to use against misconceptions are determined by the structure of the knowledge system that is to be taught. I also linked the definition of the misconceptions' causes to this approach. My results offer clues for preventing and eliminating misconceptions, thus the elements of the teacher's strategy against misconceptions may also be deduced from them. A similar strategy must prevail in the editing of written sources of knowledge.

I extended my previous analysis to evaluating older and newer, foreign and domestic textbooks and reference-books. I examined how they contribute to either preventing and refuting misconceptions or giving way to some of them with their incomplete or contradictory trains of thought. The chosen sources provide an example for both good and harmful practices. I designated an individual thesis to the significance of expressiveness and the choice of words.

An efficient means of communicating and acquiring knowledge of physics is experimentation. During my analysis, I created such IT teaching aids that provide an opportunity for experimenting and the active analysis of a phenomenon. In aids related to mechanics and hydrostatics, I have special regard to the mistakes students make in tests and at the same time, I validate the requirements deductible from my thesis, related to the transfer of

knowledge. I emphasize the examination of such correlations whose recognition helps prevent, contradict or eliminate misconceptions.

The fight against misconceptions is also supported by such general strategies as the early prevention of misconceptions or the improvement of critical thinking on the long run. I present these strategies starting from my actual university experience.

As part of my work, I made suggestions for an extended definition of misconceptions. The suggested definition specifies those misconceptions that arise through theoretical considerations. My results have been continuously published in domestic and foreign periodicals and conference volumes.

ADATLAP

a doktori értekezés nyilvánosságra hozatalához*

I. A doktori értekezés adatai

A szerző neve:.....

MTMT-azonosító:.....

A doktori értekezés címe és alcíme:.....

DOI-azonosító⁴⁶:.....

A doktori iskola neve:.....

A doktori iskolán belüli doktori program neve:.....

A témavezető neve és tudományos fokozata:.....

A témavezető munkahelye:.....

II. Nyilatkozatok

1. A doktori értekezés szerzőjeként

a) hozzájárulok, hogy a doktori fokozat megszerzését követően a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban. Felhatalmazom a Természettudományi kar Dékáni Hivatal Doktori, Habilitációs és Nemzetközi Ügyek Csoportjának ügyintézőjét, hogy az értekezést és a téziseket feltöltse az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba, és ennek során kitöltse a feltöltéshez szükséges nyilatkozatokat.

b) kérem, hogy a mellékelt kérelemben részletezett szabadalmi, illetőleg oltalmi bejelentés közzétételéig a doktori értekezést ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

c) kérem, hogy a nemzetbiztonsági okból minősített adatot tartalmazó doktori értekezést a minősítés (*dátum*)-ig tartó időtartama alatt ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

d) kérem, hogy a mű kiadására vonatkozó mellékelt kiadó szerződésre tekintettel a doktori értekezést a könyv megjelenéséig ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban, és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban csak a könyv bibliográfiai adatait tegyék közzé. Ha a könyv a fokozatszerzést követően egy évig nem jelenik meg, hozzájárulok, hogy a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban.

2. A doktori értekezés szerzőjeként kijelentem, hogy

a) az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba feltöltendő doktori értekezés és a tézisek saját eredeti, önálló szellemi munkám és legjobb tudomásom szerint nem sértem vele senki szerzői jogait;

b) a doktori értekezés és a tézisek nyomtatott változatai és az elektronikus adathordozón benyújtott tartalmak (szöveg és ábrák) mindenben megegyeznek.

3. A doktori értekezés szerzőjeként hozzájárulok a doktori értekezés és a tézisek szövegének plágiumkereső adatbázisba helyezéséhez és plágiumellenőrző vizsgálatok lefuttatásához.

Kelt:

.....
a doktori értekezés szerzőjének aláírása

*ELTE SZMSZ SZMR 12. sz. melléklet