

TEHETSÉGGONDOZÁS A FIZIKÁBAN:

Segédanyagok középiskolai tanárok számára

KÖZÉPISKOLAI FIZIKATANÁROK SZAKTÁRGYI TOVÁBBKÉPZÉSE

Összeállította: Juhász András

Időpont: 2019. október 18. péntek, 10⁰⁰ – 14³⁰ óra

Helyszín: PPKE Információs Technológiai és Bionikai Kar
1083 Budapest, Práter u. 50/a

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

TEHETSÉGGONDOZÁS A FIZIKÁBAN:

Segédanyag középiskolai tanárok számára

KÖZÉPISKOLAI FIZIKATANÁROK SZAKTÁRGYI TOVÁBBKÉPZÉSE, 2019

TARTALOMJEGYZÉK:

Bevezetés: Mit értünk modern fizikán?	1. oldal
A modern fizika, mint a természeti jelenségeknek új megközelítési módja	4. oldal
A klasszikus és a modern fizika kapcsolódása	7. oldal
A modern fizika tanításának speciális problémái	8. oldal
A modern fizika tantervi beillesztése	10. oldal
Függelék	20. oldal

A modern fizika középiskolai tanításának feladatai és nehézségei

Juhász András

(ny. egyetemi docens, ELTE, Fizikai Intézet)

Bevezetés

A fizikatanítás legnehezebb és ezért talán a legizgalmasabb tanári feladata a középiskolában a modern fizika tanítása. A fizikatanárok többsége egyetért, abban, hogy a tanítási nehézségek ellenére a modern fizikával a középiskolában mindenképpen foglalkozni kell. A vélemények abban mutatnak eltérést, hogy a klasszikus fizikához viszonyítva milyen arányban, milyen időtartamban és milyen megközelítésben érdemes tárgyalni a modern fizikai témáit. Hasonlóan fontos kérdés az is, hogy a melyek a modern fizika legfontosabb, szemléletformáló területei és gyakorlati vonatkozásai, amivel legalább alapszinten minden érettségire készülő fiatalnak meg kell, illetve meg kellene ismerkedni. Ehhez kapcsolódó fontos szakdidaktikai dilemma, hogy figyelembe véve a rendelkezésre álló szűk időkereteket, milyen módszerek alkalmazása lehet leginkább hatékony az alapok tanításában. A modern fizika tanítása során a fizika többi területéhez képest talán még fontosabb kérdés, hogy a tanított tartalmak és az alkalmazott módszerek vonatkozásában, hogyan érdemes differenciálni aszerint, hogy a tanuló műszaki-természettudományos érdeklődésű vagy humán beállítottságú. A differenciálás problémájára a megoldást úgy találhatjuk meg legkönnyebben, ha átgondoljuk melyek azok a modern fizika ismeretek amelyekről az átlagos műveltségű érettségizett polgárnak a 21. században tudnia illik. Ezek tekinthetők a modern fizika mindenki által tanulandó alapszintű tananyagának. A továbbiakban ennek az alapszintű tananyagának javasolt tárgyalásmenetét követjük. Az érdeklődő, műszaki természettudományos irányba továbbtanulni szándékozó diákok számára az alapszintű ismereteket kiegészíteni, bővíteni kell. Itt a megválaszolendő kérdés az, hogy a kiegészítés, hogy csatlakozhat az alapszintű tárgyaláshoz, milyen témákat dolgozzon fel és milyen módszerek tehetik igazán hatékonyvá a tartalombővítést.

A kérdésekre adható válaszok megtalálásához, érdemes a modern fizika fogalmának, tárgykörének tisztázásával kezdeni.

Mit értünk modern fizikán?

A kérdés klasszifikációs jellegű, és mint az osztályba sorolási kérdésekre általában, erre is többféle válasz adható. (Gondoljunk csak a hasonló kérdésekre a fizika és a kémia tárgyra vonatkozóan.) Mégis érdemes átgondolni a szokásos válaszokat, mert a modern fizika iránt igen nagy a társadalmi érdeklődés és nemcsak a kérdés szakértői adnak válaszokat, hanem újságírók, diákok, mérnökök stb. Emiatt a besorolás gyakran erősen érzelmi töltésű, nem tárgyyszerű, és gyakran erőteljes véleményt illetve értékítéletet is kifejez. Érdemes tehát néhány tipikus választ és a mögötte rejlő tartalmat a fizikatanítás szempontjából átgondolni.

- *A modern fizika azon ismeretek, elméletek együttese, amelyek 1905 után születtek.*

A válasz semleges, és a tanításhoz lényegében semmilyen segítséget sem nyújt. Indoklása az, hogy a fizikatörténet modern fizika megszületését az 1905, esztendőől számítja. Ebben az évben jelent meg a szakfolyóiratokban Einstein négy alapvető cikke, amelyek újszerű gondolatai szinte forradalmasították a fizikát (a Brown-mozgás magyarázata, a fényelektromos jelenség értelmezése és a speciális relativitáselmélet)

- *A modern fizika az, amit az átlagember nem ért.*

Az első olvasatban kicsit cinikus, és erősen érzelmekre ható, polarizáló válasz igazságtartalma a tanárok számára elgondolkoztató. Felhívja a figyelmet a modern fizika tanításának alapkérdésére. A modern fizika ugyanis számos olyan megállapítást tesz, ami alapvetően ellentmond a hétköznapi tapasztalatokból származó szemléletnek. A modern fizika igazságait a legnagyobb fizikusok sem a szemlélet alapján közelítették meg, sokkal inkább a kísérleti tapasztalatok matematikai értelmezésén keresztül. Megfelelő szintű matematikai ismeretek nélkül igazi megértésről nem beszélhetünk. Ez a modern fizika középiskolai tanításának alapproblémája. Természetesen a mély megértés hiánya nem jelenti azt, hogy a modern fizika értelmezését a természeti jelenségek szűkebb-tágabb körére vonatkozóan felesleges lenne megismerni. Világosan kell azonban látnunk, hogy a modern fizika állításait a fizika többi ágához képes sokkal erőteljesebben kell tekintélyelvi alapon elfogadnunk, mert a közvetlen tapasztalatszerzés szinte lehetetlen. A modern fizika állításainak elfogadtatásához tehát tekintélyt kell szerezni a fizikának. Ezt a tekintélyt a fizikának (illetve a fizikatanár személyének) a fizika órákon tárgyalt számos klasszikus jelenség jól érthető magyarázatával, a megértés örömeinek tapasztalásával, valamint a tudományos ismeretekre épülő technikai alkalmazások megismertetésével szerezhetjük meg.)

- *A modern fizika az, aminek meglepő eredményeiről az írott és elektronikus média szenzációként beszámol.*

A válasz az előzőhöz hasonlóan komolytalannak és cinikusnak tűnik, a fizikatanár számára azonban ebben is van átgondolásra érdemes tartalom. A fizika órákon igyekszünk szemléletformáló rendszerezett ismerteket adni diákjainknak. Ezekon túl azonban számos információt szereznek az iskolától függetlenül is. Ilyen ismeretforrás a média is. Segíti a tanári munkát, azzal, ha felhívja a figyelmet a fizika új eredményeire, egyúttal azonban feladatokat is ad a szaktanárnak. Ilyen fontos feladat, hogy a tanárnak is tájékozódnia kell a fizika médiában megjelenő új eredményeiről, továbbá segítenie kell az érdeklődő diákokat abban, hogy a médiából szerzett információkat (szükség szerint pontosítva, ill. korrigálva) integrálni tudják az iskolában szerzett, rendszerezett ismereteik közé.

- *A modern fizika az, amire a korszerű technika alapul.*

Ez a technokraták válasza, akik az ismeretek fontosságát a közvetlen alkalmazhatóság szempontjából ítélik meg. A fizikatanítás számára megszívlelendő tartalma, hogy felhívja figyelmet a gyakorlati alkalmazások, az életközeli tartalom fontosságára. A modern fizika tanításában ennek különösen nagy jelentősége van, mert a témakörben tárgyalt jelenségek jó részét csak kvalitatív szinten, matematikai leírás és az hozzá kapcsolódó mélyebb megértetés nélkül tudjuk tárgyalni. A kvalitatív szintű tárgyalás tartalmi megerősítése szempontjából sokat jelenthet, ha az alapjelenséghez kapcsolódó konkrét gyakorlati alkalmazás ismertetésére is kitérünk. Például a radioaktív izotópok

exponenciális bomlástörvényének tanítása – kísérlet hiányában - tankönyvi ismeretanyagként könnyen törlődik a diákok fejéből. Konkrét jelentést és rögzült emléket jelenthet azonban, ha alkalmazásként például, konkrét esetet alapul véve, bemutatjuk a radioaktív régészeti kormeghatározás szénizotópos módszerét, vagy esetleg a kőzetek korának meghatározásában használatos eljárást.

A modern fizika lényegét vizsgáló kérdésre a „szakértői” (fizikusi) választ a klasszikus fizikával kapcsolatos kontextusban adhatjuk meg legegyszerűbben. Először körvonalazzuk tehát a klasszikus fizika fogalmát és megismerési módszertanát. Ami ettől alapvetően különböző, témájában, gondolati megközelítésének, illetve kutatási módszereinek vonatkozásában, azt tekinthetjük modern fizikának. Ez az út azért is célszerűnek tűnik, mert a modern fizika nem független a klasszikus fizikától. A 17- 19. századot a klasszikus fizika sikertörténeteként szokás emlegetni, - joggal. Newton mozgásegyenlete és a gravitációs erőtvény egységbe foglalta a földi és égi mozgásokat. Megszületett a mozgások tárgyalásához szükséges matematikai eszközrendszer is. Ez lehetővé tette, hogy a mozgásegyenlet és a test adott állapotában érvényes mozgásjellemzők (kezdeti feltételek) ismeretében bármely további pillanatban meghatározzuk a test sebességét és helyét. A mechanikai jelenségek egységesítő leírását követően alakult ki a Maxwell-féle törvényrendszer, ami egységbe vonta az elektromosságtan, mágnesség és az optika jelenségkörét. Az elmélet sikerének csúcsát jelentette, hogy a Maxwell-féle egyenletek alapján megjósolható volt az elektromágneses hullámok létezése, amit nem sokkal később Hertz kísérletileg is bebizonyított. A klasszikus fizika harmadik nagy területe a fenomenologikus termodinamika, amelynek alapvető törvényeit három főtétele foglalata össze. A főtételek megalapozták a rendszerek széles körének energetikai leírását. A klasszikus fizika a XIX. század végén a tudomány befejezett sikertörténetének tűnt. A fizikatörténeti anekdota szerint Lord Kelvin a kor meghatározó fizikusa elégedetten fogalmazta meg: *„A fizika sikeresen feltárta a természet alapvető törvényeit, megoldatlanul csak néhány aprócska kérdés maradt, amik, mint apró felhőcskék zavarják még a fizika ragyogó kék egét”*.

A klasszikus fizika nagy eredményei indokolták teszik, hogy a klasszikus fizikai gondolkodás sarokpontjait összefoglaljuk. Az összefoglalásban kiemelten hangsúlyozzuk azokat a jellemzőket, amelyek a modern fizika szemléletben alapvetően megváltoznak.

A klasszikus fizika alapvető szemléletmódja, a természeti törvényinek sikeres megismerési stratégiája

1. Az univerzum hatalmas gépezet az abszolút tér és idő keretei közt. Bonyolult működése elvileg megérthető (lenne), ha a gépezet belső részeinek egyszerű mozgásait összegezzük. Belső összetevőkön nem csupán az önmagukban is megfigyelhető elemeket kell érteni, hanem azokat is amelyek esetleg még ismeretlenek, láthatatlanok számunkra.
2. A természet működését leíró fizikai törvények elfogadásának alapkritériuma az egyezés a kísérleti tapasztalatokkal.

3. Bármely anyagi rendszer bármely fizikai tulajdonsága tetszőleges pontossággal mérhető, akár csak a hőmérséklet vagy a sebesség. A klasszikus fizikában ez alól az atomi rendszereket sem kivételnek.
4. A newtoni szintézis alapja, hogy minden mozgásnak oka van, ha egy test mozgása megváltozik, annak oka van. Ez az ok és okozat összefüggése, amit reálisan senki nem kérdőjelezhet meg.
5. Ha a test mozgás-állapota adott pontban ismert, valamint ismerjük a test és a környezet kölcsönhatását akkor bizonytalanság nélkül következtethetünk a test mozgásállapotára minden pontban és minden múlt és jövőbeli időpillanatban. (Ez a determinitás elve)
6. A fény tulajdonságai mind leírhatók a Maxwell-i elektromágneses hullámelmélettel, ami kísérletileg igazolható a T. Young-féle kétréses interferencia-kísérlettel.
7. Az energiaterjedés létrejöhet részecske mozgáshoz kötötten és a hullámszerűen, ami az óceán hullámaihoz hasonló. Ezek egymást kölcsönösen kizárják, vagy egyikről vagy másik valósul meg.

A modern fizika, mint a természeti jelenségek megközelítésének új módja

A klasszikus fizikát jellemző fenti összefoglalás, mai szemmel nézve, meglehetősen doktrinálisnak tűnik. A 20. század elején azonban a fizikusok döntő többsége – éppen a klasszikus fizika kétségtelen eredményei miatt – magáénak vallotta ezt a felfogást. Kevesen voltak, akiket - Lord Kelvin fentebb idézett szavaival fogalmazva, zavart és foglalkoztatott az a „pár apró felhőcske a klasszikus fizika ragyogó kék egén”, amit tényként el kellett fogadni, de a klasszikus elméletekkel nem lehetett megmagyarázni. Ők voltak azok, akik a megoldás reményében nem riadtak vissza attól, hogy átlépjék a klasszikus fizika fent összefoglalt fogalmi kereteit. A XX. század első évtizedeiben a klasszikus fizika határainak átlépése alapvető szemléletváltást kívánt, de cserébe hamarosan látványos eredményeket hozott. A XX. század első három évtizedének fizikai szemléletváltása a korábbi korok szemléletváltásaihoz képest, rendkívül gyorsan ment végbe. Három általánosan alkalmazható új diszciplína vált a modern fizika alapjává:

- *A speciális és általános relativitás-elmélet*

A klasszikus fizika abszolútnak és függetlennek tekintette a tér és az idő fogalmát. Ez a szemlélet a fénysebességet megközelítő sebességek tartományában már ellentmondásokra vezet. Einstein ezt felismerve vezette be a jelenségek leírásában az egységes *tér-idő* fogalmát, és dolgozta ki a vákuumbéli fénysebesség abszolút voltára és a tér-időre alapuló „speciális relativitáselméletet”. Einstein általános relativitáselmélete a tér-idő és a gravitáció kapcsolatát mondta ki, ami új megvilágításba helyezte az energia és a tömeg fogalmát és megmutatta a közöttük lévő kapcsolatot. .

- *A kvantum-elmélet (kvantum-mechanika, kvantum-fizika)*

A mikrovilág mérettartományában a klasszikus fizika fogalomrendszere használhatatlannak bizonyul. Hétköznapi szemléletünk alapján érthetetlen módon az anyag egyaránt rendelkezik korpuszkuláris és hullámtulajdonságokkal. A klasszikus fizikában megkérdőjelezhetetlen determinisztikus elvek helyére valószínűségi törvények lépnek. A mikroobjektumok

jellemzésére és kölcsönhatásaiknak értelmezésére kevésbé szemléletes, de annál hatékonyabbnak bizonyuló matematikai módszerek adnak használható eredményeket.

- *Statisztikus fizika*

A statisztikus fizika nagyszámú, egymással és a környezettel kölcsönhatásban lévő elemből felépülő, összetett rendszerekkel foglalkozik. Az sokaságot alkotó elemek nagy száma miatt egy-egy elemre vonatkozóan kevés kijelentés tehető, a sokaság átlagos viselkedése azonban leírható. A sokaság viselkedésében valószínűségi jelleggel érvényesülő statisztikus törvények, ugyanolyan objektív természeti törvénynek tekinthetők, mint a klasszikus fizika determinisztikus törvényei.

A modern fizika tematikus területei

Modern fizika megjelölés a fentebb leírtak értelmében nem annyira a vizsgálódás tárgykörére, mint inkább a jelenségek tárgyalásának szemléletmódjára, módszereire és a velük kapcsolatos alkalmazások széles körére vonatkozik.. Természetesen a legfontosabb alkalmazási területek modern fizikai módszerekkel együtt, a modern fizika jellemző tudományterületeiként kerültek be a köztudatba. Ilyen sokat idézett tudományterületek például:

- Relativitáselmélet (ezen belül pl. relativisztikus elektrodinamika, relativisztikus térelmélet, stb.)
- Kvantumfizika (héj és magfizika, kvantumelektronika, szupravezetés, félvezető fizika, lézerfizika, nano-fizika)
- Statisztikus fizika (összetett rendszerek fizikája)
- Szilárdtestfizika-Anyagtudomány
- Részecskefizika
- Asztrofizika, kozmológia
- Űrfizika

A felsorolás természetesen bővíthető a társ természettudományok (kémia, biológia, orvostudomány, geo-tudományok) fizikához kapcsolódó speciális problémáival, és a fizika határán az utóbbi években kialakult új tudományterületekkel.

A klasszikus és a modern fizika kapcsolódása.

A közbeszédben es gyakran a médiában is találkozhatunk olyan állítással, miszerint a modern fizika és a klasszikus fizika összeegyeztethetetlen, ellentmondásban van egymással. A modern fizika felülírta, túlhaladottá tette a klasszikus fizika törvényeit, elért eredményeit és tárgyalásmódját. Ez a szemlélet alapvetően hamis. Az igazság annyi, hogy a modern fizika tárgyalásmódja teljesebb képet ad a természet általános működéséről, mint a klasszikus fizika, de nem érvényteleníti a klasszikus fizika törvényeit és alapvető eredményeit. A modern fizika az extrém kis méretek (néhány atomnyi és annál kisebb mérettartomány) és nagy sebességek (a fénysebességet megközelítő) tartományában hozott újat. A klasszikus fizika mérettartományában a modern fizika törvényei szerint is ugyanazokhoz az eredményekhez jutunk, mint a klasszikus fizikáéival.. Ennek fényében tehát azt mondhatjuk, hogy a modern

fizika ismeretében jól körülhatárolható a klasszikus fizika érvényességi köre. Jól bemutatható ez egyszerű példákon. Ha például a speciális relativitáselmélet alkalmazásával kiszámítjuk a legújabb típusú japán szuper expressz hosszváltozását álló helyzetben és 450 km/óra csúcssebesség esetén, az eltérés kisebb egy atommag méreténél. Ez az elméleti eredmény olyan kicsi, hogy kísérletileg ki sem mutatható, nyilvánvaló, hogy a relativisztikus szemlélet a szupervonatok esetén teljesen felesleges, a klasszikus fizika a legújabb igényeknek is tökéletesen megfelel. Ugyanez elmondható lakásunk elektromos hálózata esetén az ohm-törvény alkalmazásáról is. Nincs szükség sem relativitáselméletre, sem kvantummechanikai számításokra, de statisztikus szemléletre sem, ahhoz hogy megbízható eredményeket kapjunk. (Tudjuk ugyan, hogy a dugaljba csatlakoztatott huzalba alagút effektussal jutnak át az elektronok, de erre az ismeretre nincsen szükségünk az áramkörök működésének megértéséhez.) Ha a modern fizika egész fogalom- törvény- és eszköz rendszerét bevetve vizsgálánk az áram és a feszültség viszonyát egy fémes vezető különböző pontjai közt, ugyanarra az eredményre jutnánk, mint a klasszikus fizika. Természetesen a helyzet megváltozik, ha szupravezető áramkörökkel foglalkozunk, ez utóbbi esetben szükségünk lehet a kvantumfizika törvényeinek alkalmazására.

Összefoglalva, a modern fizika tárgykörébe tartozó témákban a következő a klasszikus fizikától erős eltérést mutató jellegzetességek valamelyike biztosan megmutatkozik:

- Amikor mozgó részecskék sebessége megközelíti a fénysebességet (nagyobb mint a fénysebesség kétharmada) akkor a figyelembe kell venni a relativisztikus hatásokat
- A jelenség leírására valószínűségi törvények használhatóak
- A vizsgált objektumok kettős természetűek, hullám, illetve részecske sajátságot is mutatnak
- A részecskék mozgását leíró terjedési törvényekben nem-lokalitás érvényesül.
- Figyelembe kell venni, hogy bizonyos mennyiségek együttes meghatározásakor érvényes a határozatlansági reláció, ilyen esetekben a törvények valószínűségi jellege magától értetődő.

A modern fizika tanításának speciális problémái

A modern fizikai világgép és a korszerű technika megköveteli, hogy a modern fizika alapjait a középiskolákban minden diák számára tanítsuk! Ezzel a közvélemény és a döntéshozók többsége - világviszonylatban is – egyetért, és a fogadókészség a fiatalok részéről is adott. A kérdéskör problémái akkor jelentkeznek, amikor meg kell határozni, hogy a modern fizika tárgykörében *kiknek, mit, mikor és hogyan* kell/lehet célszerűen tanítani. E kérdésekre optimális válaszokat találni nem egyszerű.

Az elsődleges probléma az, hogy a modern fizika megértése, még alapfokon is magas szintű absztrakt gondolkodást és komoly matematikai alapokat igényel, aminek megszerzése komoly erőfeszítést igényel a középiskolás diákoktól.

Károlyházy Frigyes, az ELTE Elméleti Fizika Tanszékének professzora, az 1970-es évektől kezdve sokat foglalkozott a kvantum-fizika és a relativitáselmélet tanításának problémájával, illetve e témakörök tudományos ismeretterjesztésével. A modern fizika tanításának alapvető nehézségét egyik utolsó publikációjában így fogalmazza meg: „... *A tudományos gondolkodás a XX. Sz. elejére kinőtte az idegrendszer ösztönös (evolúciós) tudását.... Ami lehetetlen, az nem*

a megértés, hanem csupán az új ismeretek beillesztése a velünk született (millió év alatt megszokott) szemlélet keretei közé!” [Károlyházy, Fizikai Szemle 2007/11. 367.o.]

Ez azt jelenti, hogy a modern fizikához szükséges szemlélet nem csak egyszerűen hiányzik belőlünk, hanem annyira ellenkezik hétköznapi tapasztalatainkkal, hogy a modern fizika számos állítását elfogadhatatlan képtelenségnek érezzük. A fogalmak megalapozását segítő közvetlen kísérleti tapasztalatok, az egyszerűen értelmezhető kísérletek is hiányoznak. Károlyházy Frigyes 1976-ban megjelent „Igaz varázslat” c. könyve a kvantummechanika alapjainak, hétköznapi szemléletünk számára nehezen megfogható, lényegi kérdéseit tárgyalja ismeretterjesztő szinten. (A könyv minden fizikatanár számára szemléletformálóan hasznos „kötelező” irodalomként ajánlott!)

A könyvben a szerző szinte túlzónak tűnő mértékben foglalkozik az elektron kvantum-fizikai sajátosságainak bemutatásával és azzal, hogy ezeknek a tulajdonságoknak értelmezését matematikai eszközök mellőzésével legalább érzékeltesse az olvasóval. Ebbeli erőfeszítéseinek indoklásaként könyvében így fogalmaz: „A (modern fizikai) alkalmazások hatalmas birodalmának kapujában hétfejű sárkányként örködik az atomi részecskék, elsősorban az elektron „felfoghatatlan” szemléletellenes térbeli viselkedése. Az igazi megértés útja csak rajta keresztül vezet”



Ez tehát azt jelenti, hogy a kvantumfizika jelenségeinek feldolgozásához elengedhetetlen, hogy az elektron, mint a legegyszerűbb kvantum-objektum tulajdonságait megismerjük és megértsük. A szerző e felfogás szerint építi fel könyvét, az elektron részletes tárgyalása után a H-atom, majd a kémiai kötések értelmezésén keresztül jut el az anyagszerkezet kvantummechanikai szemléletű alapozásához.

Közel három évtizeddel a könyv megjelenése után egyik utolsó cikkében a szerző ismét foglalkozik a modern fizika tanításának, taníthatóságának kérdéskörével.

(Károlyházy Frigyes: Az öcskös felesége, Fizikai Szemle, 2007/11.367.o)

A cikkben továbbra is fenntartja korábbi álláspontját, ami szerint az elektron tulajdonságainak mély megértése alapvető jelentőségű a modern fizika, illetve a kvantumelmélet szempontjából, de a három évtized tudományos és technikai változásainak ismeretében már nem tartja feltétlenül szükségesnek a témakör fogalmi alapjainak részletes (iskolai) feldolgozását. Így ír: „a megértés útja a sárkányon keresztül vezet... , de ma már nem hiábavaló elosonni a sárkány mellett, sőt , ez a helyes tennivaló”. A cikk folytatásában részletesen leírja, hogy az alapvető cél az, hogy a középiskolai diákokban pozitív kép alakuljon ki a modern természettudományról. Ez a cél a diákok többségénél úgy is elérhető, ha a mély fogalmi átgondolást (és ehhez megfelelő időt) igénylő tartalmak helyett, csak az általános ismeretközlés szintjén foglalkozunk az alapproblémákkal, majd a mindennapokból és a sajtóból, médiából ismert, a modern fizika alkalmazásán alapuló érdekes gyakorlati példákat tárgyalunk közérthető szinten. E témák tárgyalása érdekli a diákokat, és már részleges megértésük is pozitív képet alakít ki bennük a

tudomány hasznosságáról. Fontos azonban, hogy cikkének befejező részében Károlyházy Frigyes felhívja a figyelmet arra a veszélyre, hogy ha nem tartjuk meg a helyes arányokat, akkor a fogalmi alapozás könnyítése és a gyakorlati alkalmazások hangsúlyozása akár „mesedélutánna” züllesztheti a fizika tanítását. Óva int a „gagyí” elfogadásától. E veszély úgy kerülhető el, ha már a klasszikus fizika jelenségeinek feldolgozása során tudatosan arra törekszünk, hogy a köznapi szemlélethez illeszkedő klasszikus fizika tárgyalásakor megadjuk a diákoknak a megértés igazi élményét. Ennek során és a kísérletekre épülő precíz fogalmi gondolkodás révén válhat hitelessé a diákok számára a fizika, és közvetve a fizikatanár személye is. A modern fizika ismeretközlő részeit, az esetenként abszurdnak tűnő állításokkal együtt a diák bizalmi alapon elfogadja tanárától. Ez azzal segíthető, hogy a modern témákhoz hozzákapsolható, a fizikában, illetve a kémiában korábban tanult előzményeket felelevenítjük és a tanítás során alapként használjuk.

A modern fizika tantervi beillesztése

A modern fizika a történelmi fejlődés során a klasszikus fizikából bontakozott ki, így a tanítási folyamatban is célszerű a modern fizikai alapismereteket is a klasszikus fizikára alapozva tárgyalni. Ennek egyik lehetséges módja az, hogy a megismerés történeti útját követjük. Ez lényegében azt jelenti, hogy az iskolában a tudomány fejlődésének útját járjuk végig, kiemelve annak legfontosabb állomásait. A hangsúlyt a természet megismerésének folyamatra tesszük, kiemeljük az új elméleteket igénylő kísérleti felfedezéseket és elmondjuk miért nem sikerült azokat a klasszikus fizika alapján értelmezni. Az modern fizika nehezen megérhető, komoly fogalmi absztrakciót, illetve nehéz számolásokat igénylő válaszait a problémák megoldására egyszerűen ismeretként közöljük, és ha lehet egyszerűsített képpel, hasonlattal illusztráljuk. Így például a kvantummechanikában beszélünk az anyag kettős természetét bizonyító kísérleti tapasztalatokról, a részecskehullámokról, de azok pontos fizikai jelentését - ami szerint a hullámfüggvény abszolútértékének négyzete a részecske térbeli megtalálási valószínűsége adja meg – nem beszélünk. Az atomban kötött elektronok energiasajátértékeinek számításairól hallgatunk, de az sajátállapotokat állóhullámokkal szemléltetjük, érzékeltetve a lehetséges sajátállapotok kvantáltságát. A megismerés történeti útját követve természetesen adódik a lehetőség hogy a legnagyobb tudósok munkásságát méltassuk, alkalmanként személyes anekdoták, sztorik elmondásával hozva közelebb őket a diákokhoz. A szigorúan értelmezett fizikai tartalom ilyen „föllazítása” segít a diákok többségének, hogy az önmagában nehezen megérhető tartalmakat egy-egysztorihoz kötve megjegyezze.

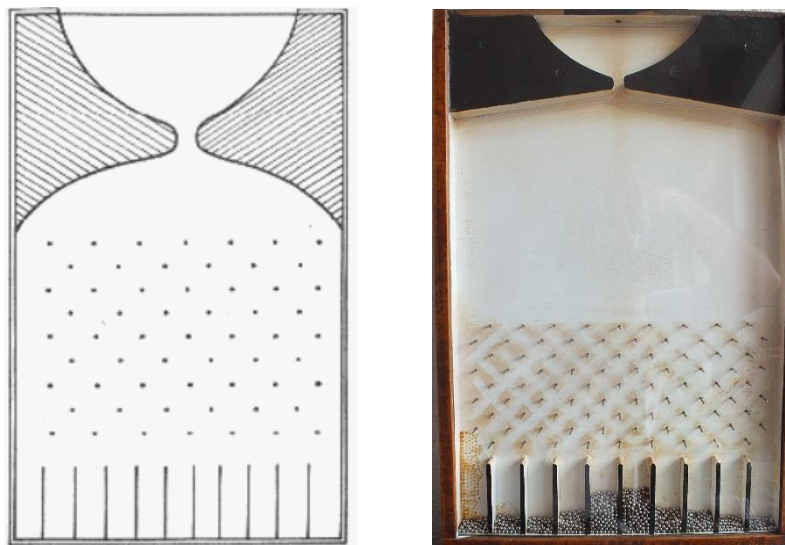
Az alábbiakban a modern fizika szemléletét döntően meghatározó három nagy diszciplína tanításának legfontosabb elemeit foglaljuk össze, majd néhány, az alkalmazás szempontjából fontos modern fizikai témakör iskolai tárgyalására teszünk javaslatot.

A statisztikus fizika elemei a középiskolában

A modern fizika három nagy, diszciplináris jelentőségű területe közül a statisztikus fizika önálló tárgyalására a középiskolában nincs igazán lehetőség. Annyit tehetünk, hogy a fizika különböző fejezetiben tárgyalt egyes speciális problémák kapcsán kitérünk a statisztikus fizika néhány fontos eredményére. A statisztikus sokaságok viselkedésére vonatkozóan a hőtán témakörébe beillesztett kinetikus gázmodell jelenti az kapcsolódási pontot. A hőtánban az elsődleges cél, hogy az atomi szemlélettel megalapozzuk a termodinamika belső energia

fogalmát, és ennek segítségével kimondjuk a hőtan első főtétele és értelmezzük a gázok fajhőjét. A kinetikus gázmodellt egyszerűsített formában tanítjuk. A gázok kísérletileg tapasztalt makroszkopikus tulajdonságait nagyszámú egymástól független, rugalmas golyóként viselkedő gázatom mozgásával értelmezzük. Így magyarázzuk, hogy a gázok kitöltik a rendelkezésre álló teret. A gáz nyomását az atomok ütközésével értelmezzük, a hőmérsékletet a gázatomok kinetikusenergiájával hozzuk kapcsolatba. A kinetikus gázmodell szemléletes képet ad, amit pl. rázógépes modellkísérletekkel vagy számítógépes szimulációkkal is jól szemléltethetünk. A gázok makroszkopikus állapotjelzőinek kvantitatív kifejezése a gázatomok fizikai paramétereivel már nehezebb feladat. Itt annak megértetése szükséges, hogy az atomsokaság egyes atomjainak mozgása nem követhető ugyan, de a sokaság átlagos viselkedése mégis leírható, ha például a legkülönbözőbb sebességgel rendelkező atomok számbavétele helyett, valamennyi atom sebességét egy alkalmas átlagos sebességgel helyettesíteni tudjuk. A középiskolában a átlag-mennyiségek számítását általában nem részletezzük, de az ezeken alapuló legfontosabb összefüggéseket (pl. ekvipartíció tétel gázokra) tanítjuk. A gázok statisztikus fizikája a spontán termodinamikai folyamatok irreverzibilitásának értelmezésére, az entrópia fogalmi bevezetésére, és a második főtétele részletesebb tárgyalására, kínálna még további lehetőséget a középiskolában, ezek azonban az utóbbi évtizedekben már nem szerepelnek a gimnáziumi tantervekben.

A statisztikus fizika a lényegének megértetésére, a kinetikus gázmodell elemi tárgyalásán túl, érdemes egyszerű kísérleteket végezni a sokak számára ismeretlen régi szemléltető eszközzel, az ún. Galton-deszkával.



Galton-deszka a statisztikus törvényszerűségek szemléltetésére

A Galton-deszka oldalt keretlécclal szegélyezett, üveglemezzel fedett deszkalap. Az alaplap és az üveg távolsága 1 cm. A deszkalap felső részén tölcészerűen szűkülő nyílást alakítottak ki a kísérletekben használt golyók betöltésére. A nyílás pontosan az eszköz szimmetriatengelyében van. Alatta a 9-10 sorban szabályos négyzethálóba rendezetten vékony szögeket vertek a deszkába. A szögek elrendezésének olyannak kell lennie, hogy a beöntőnyílással szembe, az első sorba szög kerüljön. Az egymást követő sorok fél periódusnyit el vannak csúsztatva

egymáshoz képest. A deszka szögek alatti része egyenlő szélességű, páratlan számú rekeszre van felosztva. A kísérletezéshez mintegy 2000 db 2- 3 mm-es műanyag- vagy csapágygolyó szükséges. A golyókat a tölcser beöntönyílásán keresztül juttatjuk a lejtősen vagy függőlegesen állított eszközbe. Az acélgolyók a szögekkel ütközve előre megjósolhatatlan módon, "véletlenszerűen", valamelyik rekeszbe kerülnek. A tábla megfordításával a golyók az eszközből kiönthetők.

- Öntsünk 10-20 golyót a tölcserbe, és figyeljük meg, hogyan oszlanak meg azok a rekeszek között! Ismételjük meg a kísérletet ugyanilyen módon többször is! Kiszámú golyó esetén az eloszlásban semmi szabályosság nem figyelhető meg. Az ismételt kísérletek eredményei erősen eltérőek.

- Növeljük fokozatosan a golyók számát néhány százra! A szögekkel ütköző golyók eloszlása a rekeszekben ekkor már egyértelmű szabályszerűséget mutat. A középső rekeszekbe több, a szélsőkbe egyre kevesebb golyó gyűlik össze. Változatlan számú golyóval megismételve a kísérletet, mindannyiszor hasonló eredmény adódik. Az egyes rekeszekbe került golyók száma azonban még észrevehetően különböző lehet az ismételt kísérletekben.

- Végezzük el a kísérletet több ezer golyóval! Figyeljük meg, hogy a megismételt kísérletek eredményei közt alig tapasztalhatunk eltérést. A golyók eloszlása a rekeszekben törvényszerűen megismétlődik.

A Galton-deszkával végzett kísérletsorozat egyértelműen mutatja elegendően nagyszámú golyósokaság törvényszerűen ismétlődő szimmetrikus eloszlását a rekeszekben, miközben egy-egy golyó útjára és becsapódására vonatkozóan semmit nem tudunk mondani. Még a sokaság jellemző eloszlásának ismeretében sem jósolható meg, hogy egy-egy újabb golyó hova csapódik majd be.

(A Galton-deszka vizsgálata fakultatív projektmunkaként is ajánlható. Az erre vállalkozó diákok maguk készíthetik el a Galton-deszkát, amivel majd kísérleteznek. Ez utóbbihoz csatlakozhat a binomiális eloszlás matematikai valószínűségszámítás alapján történő elméleti feldolgozása, majd a Galton-deszka kísérletileg kapott eloszlásának összehasonlítása a binomiális eloszlással. (A Galton-deszka szimmetrikus golyóeloszlása a binomiális eloszláshoz hasonló, de nem teljesen azonos azzal.)

A statisztikus fizika alkalmazására szép példa a radioaktív bomlás jelensége a magfizikában. Egy makroszkopikus mennyiségű radioaktív anyag bomlásának sebességét exponenciális bomlástörvény írja le, a folyamat jellemző paramétere a felezési idő. A bomlástörvény, illetve a felezési idő ismeretében megmondhatjuk, mennyi idő alatt feleződik le egy radioaktív preparátum sugárzási intenzitása. A bomlástörvény nagyszámú radioaktív atomból álló anyag esetén jól működik, de a bomlástörvény ismeretében sem tudunk mondani semmi arról, hogy egy-egy radioaktív atom bomlása mikor következik be.

Az atomerőművek építésével és működésével kapcsolatban gyakran esik szó a lakosságot veszélyeztető kockázatokról. A számszerűsített veszély általában ijesztő az átlagember számára. A veszély realitását úgy lehet jól érzékelni, ha az a hétköznapi veszélyeit is számszerűsítjük, és összehasonlítjuk például egy atomerőmű által jelentett kockázattal.

A fizikai események statisztikus alapon meghatározható valószínűsége a köznapi életben is használható, ha a szóban forgó események esetszáma már elegendően nagy a statisztikus valószínűség számításához. Ezen az alapon számszerűen megbecsülhető és össze is hasonlíthatók a legkülönbözőbb kockázati tényezők. Marx György professzor középiskolások számára is érdekes és szemléletformáló összehasonlítást javasol a hétköznapijaink kockázataira. (Marx György: *Atommag-közelben, Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged 1996.*)

Az egészségi kockázatok összehasonlítására javasolja a *rizikó* számszerűsítését. Eszerint ha valamely esemény egészségünket érintő rizikója

$$R=WK.$$

ahol R jelenti a rizikó mérőszámát, W az esemény bekövetkezésének valószínűségét, K az esemény során az egészségünket érintő súlyosságát. (a esemény biztos bekövetkezése esetén $W=1$, ha a következmény biztos halál $K=1$, de a közti eseteket nem könnyű számszerűsíteni.) Egyszerűbb a számítás, ha sok ember van kitéve ugyanannak a veszélyforrásnak. Így a kollektív rizikó az emberek számának megfelelően megsokszorozódik, és így a számítás is könnyebb. Ha például 1000 000 ember közül aki ki van téve valamely kockázatának egy ember meghal a esemény kockázata 1 mikro-rizikó. Ha megnézzük a baleseti statisztikákat például az autós közlekedési balesetek halláseteit összehasonlítva az összes utas utazási távolságával meghatározható a 100 km autózás kockázata.

Marx professzor sok meglepő adatot közöl összehasonlításai során, amin érdemes elgondolkozni vagy akár saját számításokat is végezni. Természetesen fontos a statisztikailag kiszámított kockázat helyes értelmezése. Ha jól számoltunk a eredményünk megadja a nagy mintavétel esetén az áldozatok számát. Ez azonban csak a nagy számok viszonylatában érvényes. Semmi jelentősége sincs egy konkrét személy vonatkozásában. A kockázatok statisztikus tárgyalását (Marx professzor gondolatmenetét követve) kiegészítő anyagként érdemes szakkörön vagy akár tanórán is elvégezni.

Az anyag mikroszerkezetének történeti értelmezése, a kvantumfizika megszületése.

A kvantumfizikának alapvető szerepe van az anyag szerkezeti tulajdonságainak magyarázatában. A tanítás során a kiindulópontot a diákok anyagszerkezeti előismeretei adják. Ez döntően két forrásból származik, egyrészt a kémia tárgy anyagszerkezeti tananyagából, másrészt a fizika keretében tanult közvetlen előzményekből.

A kémia keretében számos anyagszerkezeti ismeretet, fogalmat megtanulnak a diákok. Ezek jó része ténybeli tudás, ami kevés kísérleti tapasztalatra és csekély elméleti háttérre támaszkodik. A diákok tudják például, hogy az anyag atomos szerkezetű, de arra a kérdésre, hogy ezt mi bizonyítja, a legtöbben már nem tudnak érdemi választ adni. A kémiában tanult anyagszerkezeti ismeretek felidézése mellett az ilyen kérdések felvetése azért hasznos, mert motiváló erejű az anyagszerkezeti témákkal újra foglalkozó fizika vonatkozásában. A középiskolai kémia anyagszerkezeti háttérének értelmezésére lényegében megfelel a Bohr-féle atommodell. A diákok kémiában szerzett tudását a fizikában felidézni és használni kell. Ennek ajánlható módszere az, hogy az anyag szerkezetével kapcsolatos ismeretek történeti fejlődését követjük. Ahol lehet élő kísérletekkel színesítjük, és egyszerű kvalitatív és kvantitatív feladatok segítségével mélyítjük el az ismereteket. Az anyag szerkezetére vonatkozó tudományos

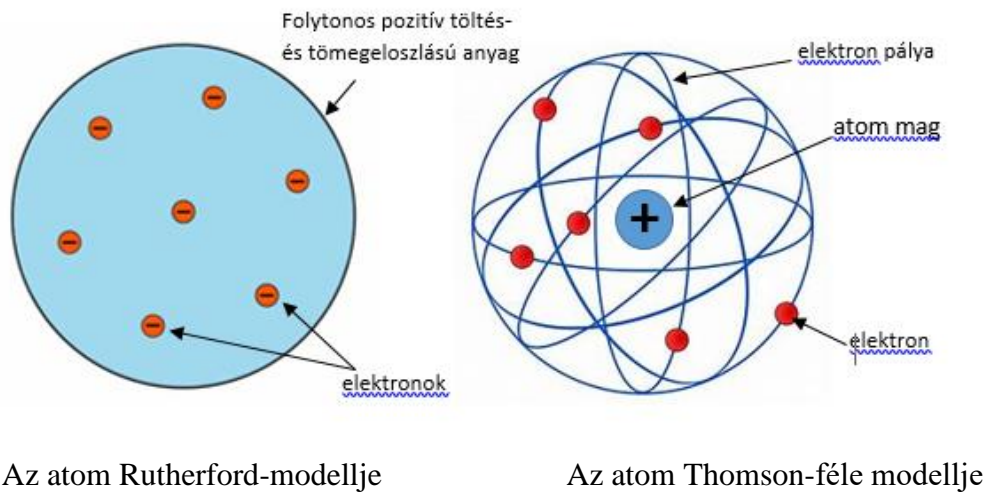
elképzések fejlődését jól mutatja az atommodellek fejlődése. Az atommodellek fejlődésének bemutatásával a természettudományos megismerés útját tanítjuk. Ennek során kiemelten hangsúlyozzuk, hogy a modellek mindig kísérleti tapasztalatok jelenségek értelmezésére születnek és csak addig „élnek” amíg megoldást kínálnak a kísérleti tapasztalatokra.

Az kezdeti elképzések az atomokról (Thomson-modell, Rutherford-modell)

A modern, anyagszerkezeti ismereteket is tárgyaló kvantumfizikát a történelmi előzmények tárgyalásával vezetjük be. A régi görögök filozófiai alapon feltételezték az anyagok legkisebb tovább már nem bontható, anyagi minőségre jellemző alapegységei az atomok. Az atomhipotézis újkori felelevenítését a kémiai reakciók kísérletileg felismert súlyviszonytörvényeinek értelmezése indokolta. Az atomok oszthatatlanságát azonban elvetették, amikor a gázok elektromos vezetőképességét vizsgálva bebizonyosult, hogy a gázkiszülési csőben a katódról kiinduló ún. „katódsugárzás” igen kicsi negatív töltésű részecskék (elektronok) véges sebességű mozgásaként értelmezhető. J. J. Thomson brit fizikus részletesen vizsgálta a katódsugárzást, meghatározta a katódsugarak terjedési sebességét, kimutatta, hogy elektromos és mágneses tér hatására a sugárzás iránya változik. Az elektronok eltérülését mérve meghatározta az elektronok fajlagos töltését is. Mivel Thomson úgy találta, hogy a katódsugarak tulajdonságait függetlenek a kísérleteiben szereplő anyagok minőségétől, feltételezte, hogy a negatív töltésű elektronok minden atomban jelen vannak, az atom tehát nem oszthatatlan egység. Thomson megfogalmazta elképzéseit az atomról – ez a Thomson-féle atommodell. Az atomot gömbszerű pozitív töltésű folytonos anyageloszlásnak képzelte, az atomokra jellemző tömeggel és kiterjedéssel. E pozitív anyagban, mint a pudingban a mazsolaszemek ülnek az atomi mérethez viszonyítva pontszerű elektronok. A z elektronok a köztük lévő elektromos taszítás, valamint az atom „alapját” adó pozitív töltéseloszlás terének hatására szabályos elrendezést vesznek fel. Az elektronoknak ez az elrendezése más a különböző kémiai elemek atomjai esetén.

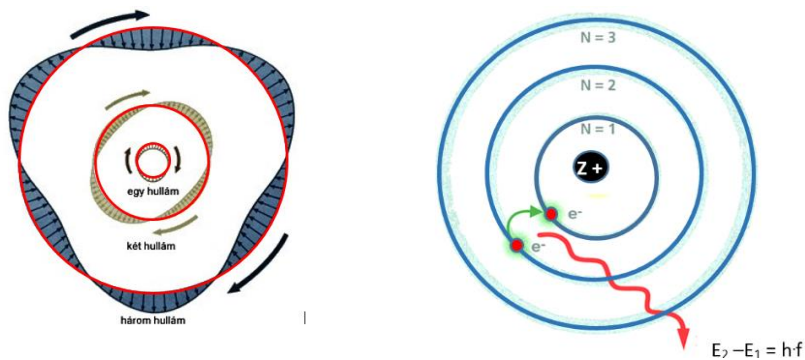
Thomson atomról kialakított képét, Rutherford szórás kísérletei radikálisan változtatták meg. Rutherford pozitív töltésű α -részecskék áthatolását vizsgálta vékony fémfóliákon. Meglepetéssel tapasztalta, hogy a részecskék döntő része akadálytalanul halad át a fólián, kis részük azonban eltérül az eredeti mozgásiránytól, sőt vannak olyan részecskék is, amelyek visszapattannak a fóliáról. Rutherford a kísérleti eredményeket azzal magyarázta, hogy a fóliát alkotó atomok térfogatának döntő része „üres”, és ezért nem akadályozza az α -részecskék többségének áthaladását a fólián. Egyes részecskék eltérése, ill. visszapattanása azzal magyarázta, hogy az atomokban a pozitív töltés a közepén egy kis kiterjedésű, de nagy tömegű „magban” koncentrálódik. Azok az α -részecskék, amelyek e mag közelében haladnak el, a pozitív töltések közt fellépő taszító erő miatt eltérülnek eredeti haladási irányuktól, azok pedig, amelyek direktben nekimennének a magnak, visszapattannak arról. Rutherford számításokkal igazolta, hogy a kísérleti tapasztalatok jól egyeznek a feltételezett pozitív töltésű atommag és a az ugyancsak pozitív töltésű α -részecskék közt fellépő taszítóerővel. Eredményei alapján Rutherford új modellt javasolt Thomson modellje helyett. A Rutherford-modell az atomot úgy képzelte el, mint egy láthatatlanul kicsi „naprendszer”, amiben a pozitív mag elektromos vonzása tartja körpályán a mag körül keringő negatív elektronokat. Rutherford az atommag felfedezéséért méltán kapott Nobel-díjat, az atom-modelljét azonban többen megkérdőjelezték, mert ellene mondott a klasszikus elektrodinamika törvényeinek. A klasszikus elektrodinamika szerint a Rutherford-atom nem lehet stabil. A körpályán mozgó elektronoknak – gyorsulásuk miatt - sugározniuk kéne, ami csökkentené az elektronok energiáját, így azoknak bele kéne

esnie az atommagba. A Rutherford-modell fontos hiányossága volt az is, hogy nem tudott magyarázatot adni a gázok anyagspecifikusnak bizonyult színekvonalaira sem.



Az atom Bohr-modellje

Rutherford atommodelljét Bohr két merész feltételezés beépítésével fejlesztette tovább. Feltételezte, hogy az elektronok a mag körül csak megfelelő sugarú pályákon keringhetnek, és ezen a pályákon energiájuk jól meghatározott érték, ami nem változik. A lehetséges energiapályákat Bohr az elektron impulzusnyomatékának kvantálásával adta meg. Eszerint a keringő elektron impulzusának és a pálya sugarának szorzata a Planck-féle állandó (h) 2π -ed részének egész számú többszöröse lehet. Ez szemléletesen azt jelenti, hogy a kiválasztott körpálya kerülete az elektron de Broglie-hullámhosszának csak egész számú többszöröse kell, hogy legyen. Bohr másik feltételezése a gázok vonalas színekének értelmezését adja meg. A gázok színekében megfigyelhető karakterisztikus energiájú sugárzást, két különböző energiájú elektronpálya közti energiakülönbségeként értelmezte. Ha az elektron egy magasabb energiájú Bohr-pályáról egy alacsonyabbra esik vissza az elektron, és ezáltal az atom energiája lecsökken, és a csökkenésnek megfelelő energia fényként szétsugárzódik.



A Bohr-modell alapfeltevéseinek rajzos szemléltetése

A Bohr-modell

A Bohr-féle atommodell igen lényeges előrelépést jelentett az atomok tulajdonságainak megismerésében. Számos korábban nem értelmezhető jelenségre adott mennyiségi és minőségi magyarázatot:

- Bohr modellje alapján már egyszerű, középiskolai szintű számítással meghatározható a hidrogén-atom mérete (az első elektronpálya sugara) továbbá az elektron lehetséges energiaszintjei az atomban..

- A modell alapján kvalitatíve érthetővé vált a gázok vonalas színe, magyarázatot nyertek a spektroszkópia empirikus törvényei [Balmer-formula, Rydberg-formula,]. A legegyszerűbb atom, a hidrogénatom színe a Bohr-modell segítségével ki lehet számítani; a számított és mért értékek jól megegyeznek.

- A kísérleti tapasztalatok szerint a gázok színe mágneses tér hatására megváltozik. Mágneses térben minden eredeti színe helyett több egymáshoz közel átló vonal figyelhető meg. A jelenséget felfedezőjéről *Zeeman-effektusnak* nevezzük. Bohr modellje alapján kvalitatív magyarázat adható a Zeeman-effektusra.

- Az atommag körül keringő elektront elemi köráramként kezelve lehetővé vált az anyagok mágneses tulajdonságainak jobb megértése is. A diamágnesség értelmezésekor többnyire ma is a szemléletes Bohr-modellhez nyúlunk vissza.

- Alapvető szerepet játszott a Bohr-modell a kémia gyors fejlődésében, a kémiai kötések értelmezésében és az elemek periódusos rendszerének magyarázatában is.

A felsorolt látványos eredmények mellett azonban a Bohr-modellnek alapvető fogyatékoságai is vannak:

- A hidrogénatomot például a modell szerint kis lapos korongnak kellene elképzelnünk, ami ellentétben áll a kinetikus gázmodell jól bevált "golyó" hipotézisével.

- A Bohr-modell alapján a hidrogén spektrumát sikerült értelmezni, a magasabb rendszámú elemek színe azonban már nem. Az egyes spektrumvonalak közötti intenzitáskülönbségekre még a hidrogénspektrum esetében sem ad magyarázatot a Bohr-modell.

- Nem ad számot a modell a színek ún. finomszerkezetéről. Az egyre pontosabb vizsgálatok ugyanis azt mutatják, hogy a kezdetben egyetlen vonalnak hitt színe vonalak valójában több, egymáshoz igen közel álló vonalból állnak - ezt nevezik a spektrum *finomszerkezetének*.

- A modell belső logikai ellentmondásokat is tartalmaz. A klasszikus fizika törvényrendszerét ugyanis nem veti el, alapfeltevései azonban ellentmondanak ezeknek a törvényeknek. Ez az ellentmondás a modellen belül nem oldható fel.

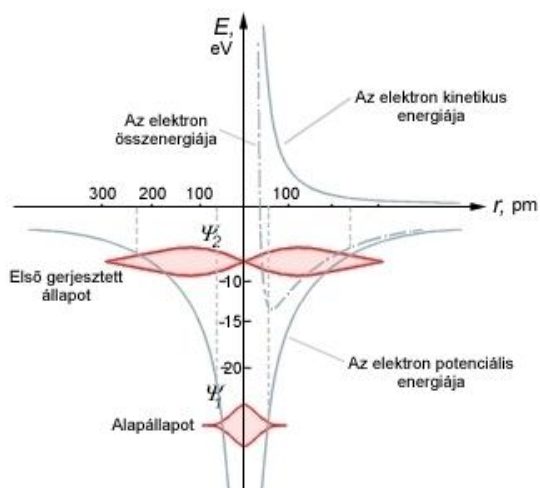
Az egyre pontosabb és részletesebb kísérleti vizsgálatok és az elméleti erőfeszítések együtteseként beigazolódott, hogy a klasszikus fizika törvényei az atomok jelenségeinek értelmezésére általában nem alkalmazhatók. A mikro-világ fizikai értelmezéséhez sajátos új törvények felismerésére, ill. ezek megfelelő matematikai leírására van szükség. Ezek az új törvények sejthetők meg a Bohr-modell eredményesnek bizonyuló "ad hoc" feltevései mögött.

Az atomi részecskék tulajdonságait leíró, a klasszikus fizika törvényeitől eltérő egységes törvényrendszert a fizika XX. században kialakult új ága, a *kvantumfizika* foglalja össze. Az atomok tulajdonságai az új törvényeket alkalmazó kvantumfizika segítségével egységesen értelmezhetők.

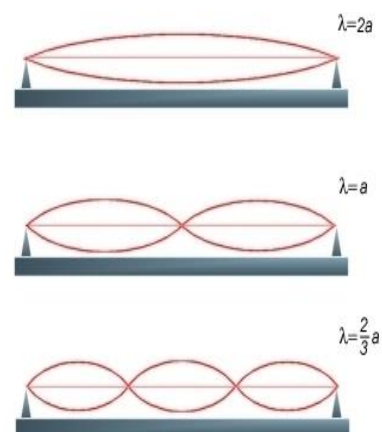
Az atomok szerkezetének kvantumfizikai értelmezése

A kvantumfizika középiskolai tanítása az atomfizikai előzményekhez kapcsolódik. (A fizika más területeit érintő kvantum-jelenségek tárgyalása (pl. kvantum-elektrodinamika, relativisztikus kvantummechanika, stb.) meghaladja a középiskolai lehetőségeit.) A középiskolában az anyag atomos szerkezetére vonatkozó ismereteink fejlődésének bemutatása során jutunk el az anyag kettős természetének szemléletesen nehezen értelmezhető jelenségköréhez. A kiindulást az erre vonatkozó alapkísérletek jelentik. A fotoeffektus kísérlete a fény kvantált energiáját (részecske természetét) bizonyítja. Az elektron (és más atomi részecskék) hullámsajátságait interferenciakísérletek tanúsítják. A középiskolában a hangsúly az elektron hullámtermészetéből következő anyagszerkezeti kérdések tárgyalásán van, és szorosan kapcsolódik a kémia korábbi tananyagához.

Az elektron kísérletileg bizonyított hullámtulajdonságából adódik, hogy az elektron leírására térben és időben periodikus hullámfüggvény alkalmazható. Középiskolában az elektron hullámfüggvényének matematikai leírásával nem foglalkozunk. Az elektron hullámtulajdonságaival kapcsolatos kvantumfizikai alapismereteket közöljük és a mechanikai hullámtanban megismert fogalmak, hullámjelenségek analógiáját felhasználva szemléltetjük. Így a v sebességgel mozgó szabad elektront λ hullámhosszúságú végtelen kiterjedésű haladó síkhullámmal azonosítjuk. Az atommag által fogvatartott elektronok, időben állandósult és helyben lokalizált állapotát a Coulomb-potenciál által meghatározott határok közt kialakuló állóhullámokkal szemléltethetjük.



Az elektron lehetséges hullámállapotainak ábrázolása a hidrogén atommag potenciálterében

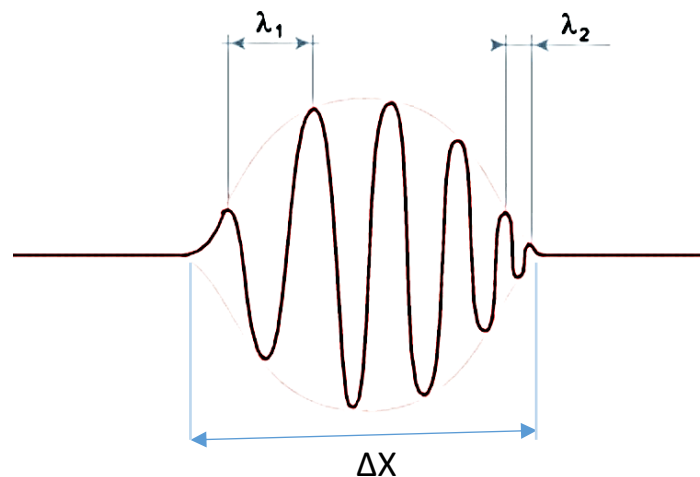


Állóhullámok kialakulása húron alkalmas az atomi elektronhullámok szemléltetésére

Az állóhullámok kvantált hullámhossza az elektron impulzusát és ezen keresztül a kinetikus energiáját határozza meg. Az elektronállapotok ábrázolása a mag potenciálterében alapszinten

lehetőséget kínál az energiaviszonyok kvalitatív értelmezésére. Ez emelt szinten kiegészíthető például a H-atom alapállapotú elektronját jellemző pályasugarának ill. energiájának meghatározásával, amit a Heisenberg-féle határozatlansági reláció alapján számolhatunk ki. .

A kvantummechanika alapvető törvénye a Werner Heisenberg által felismert *határozatlansági reláció*. A középiskolában közöljük a határozatlansági relációt, majd jelentését példával illusztráljuk. Ilyen illusztráció lehet, az eltérő hullámhosszú hullámok interferenciájával adódó hullámcsomag tárgyalása, vagy a fentebb ajánlott számítás a H-atom jellemző paramétereinek meghatározására. A hullámcsomag számítógépes kísérletként előállítva tanulmányozható. A tapasztalat szerint minél több különböző hullámhosszúságú (impulzusú) hullámot összegezzünk, a hullámcsomag kiterjedése annál kisebb (azaz helyének meghatározása annál biztosabb).



Hullámcsomag és a határozatlansági reláció

A véges kiterjedésű hullámcsoport a határozatlansági reláció illusztrálásán túl segít feloldani a hullám – részecske kettősség hétköznapi szemléletünkből adódó ellentmondását is. A hullámcsomag korlátozott kiterjedése hordozza a helyben lokalizált részecskét, míg hullámfüggvény kitérésének ingadozása hullámra jellemző.

Einstein speciális- és általános- relativitáselmélete.

A relativitáselmélet a modern fizikának az a fejezete, amiről felületesen, de nagyon sokan tudnak valamit. Legtöbbször a speciális relativitás abszurdnak tűnő állításairól hallottak, mint pl. az ikerparadoxon, vagy a mozgó óra késése, a mozgó méterrúd rövidülése. Jóval kevesebben vannak azok, akiknek a relativitáselmélet kapcsán eszébe jut a fénysebesség, mint határsebesség, a tehetetlen és súlyos tömeg egyenértékűsége, a gravitáció magyarázata a tér görbülésével vagy az energia és a tömeg ekvivalenciája. A relativitáselmélet közismereti jelentősége, hogy rámutat arra, hogy a klasszikus szemlélet alapján alapvetően különbözőnek tartott fizikai fogalmak (pl. hely és idő, anyag és energia, téridő és gravitáció, stb.) lényegi összefüggésben vannak egymással. Ez a szemlélet az átlagember számára nehezen belátható, extrém érdekesség, ami kívül esik a hétköznapi tapasztalataink körén. A relativitáselmélet lényegi megértése nehéz feladat. Igényesen precíz, következetes megfontolásokat, matematikai logikát és komoly absztrakciós készséget feltételez. Középiskolás korban a diákok döntő többsége erre még képtelen, így a témakör középiskolai tanításának lehetőségei erősen

korlátozottak. A fizikatanítás során a kitűzhető cél egyfajta alapszintű ismeretterjesztésnél nem lehet több.

A modern fizika tematikus témaköreinek tanítása a középiskolában

Magfizika és alkalmazásai

A modern fizika tematikus fejezeti közt hagyományosan kiemelt szerepe van a *magfizikának*. A témakör fontosságát az anyagszerkezeti ismeretek átadása mellett a magfizika gyakorlati alkalmazásai, hangsúlyosan a nukleáris energiatermelés és a radioaktivitás, ez utóbbi vonatkozásában a sugárvédelem, illetve a mesterséges radioaktivitás orvosi felhasználása a leginkább fontos. A klasszikus magfizikai tartalmak iskolai feldolgozásához a hagyományos tankönyvek mellett számos internetes ismeretterjesztő szakanyag használható fel. A témák feldolgozására a projekt módszer az igazán alkalmas. A nukleáris energiatermelés témakörének tárgyalásához kiemelten ajánljuk a Paksi Atomerőműbe szervezett tanulmányi kirándulást, valamint az Atomerőmű honlapjának tanulmányozását.

A magfizikához szorosan kapcsolódik a belőle kifejlődött új tudományterület, a *részecskefizika*. A téma érdekli a tanulókat, így feldolgozása, akár fakultatív formában is hasznos.

Ugyancsak szoros kapcsolatban áll a magfizikával az *asztrofizika*. A diákokat érdekli a kozmosz, az égitestek kialakulása, és a csillagokban folyó magfizikai folyamatok, az űrkutatás kérdései érdekességei. Különösen érdekes a témakör feldolgozása, ha a magfizikai kapcsolódások mellett az általános relativitáselmélet érdekes kérdéseit is ide kapcsoljuk.

Félvezető-fizika

Korunk mindennapi technológiája a félvezetők alkalmazására épül. A félvezetőfizika középiskolai feldolgozására nincs igazán lehetőségünk. Ennek elsődleges oka az, hogy a félvezetők működésének fizikai alapjainak megértése kvantumfizikai, statisztikus fizikai előismereteket és ezekhez illeszkedő matematikai tudást igényelne. Amit tehetünk, és szükséges is megtennünk, hogy a klasszikus elektromosságban keretében a vezetőképesség tárgyalását kibővítjük a félvezetőkkel kapcsolatos kísérletekkel, illetve alkalmazások bemutatásával, esetleg ilyen témájú szakköri foglalkozást szervezünk. A félvezetők ilyen feldolgozásához *Gócz Éva: Félvezetők – félvezetőkről középiskolásoknak* c. internetes szakanyaga jelenthet hasznos segítséget (www.felvezetok.hu/).

Környezetfizika

A környezetfizika, mint önálló tudományterület az utóbbi évtizedekben alakult ki. Iskolai tanítására is történtek próbálkozások, de kialakult tananyaga illetve feldolgozási módszertana még nem tisztult le. Tanítása a társtermészettudományokkal és technikával együttműködésben lehet igazán hatékony.

Kaosz-elmélet

A kaosz-elmélet lényegét, problémakörét, vizsgálati módszerét és a témakör gyakorlati vonatkozásait érdeklődő középiskolás diákoknak is bemutathatjuk. Ennek egy lehetséges módját mutatta be tanártovábbképzésünkön, egy külön előadás keretében, Tél Tamás professzor. Az általa középiskolás diákok számára összeállított interaktív számítógépes szakanyagot az interneten keresztül bárki használhatja. Az internetes honlap jelenleg csak angol nyelven érhető el, magyar nyelvű változata a közeli jövőben készül el. Addig is jószívvel ajánljuk az érdeklődő szaktanárok illetve diákok számára az angol nyelvű szakanyag használatát, aminek megértése nem igényel többet középfokú angol nyelvismeretnél. A szakanyag egyes részfejezetei a következő web-címeken érhetők el:

- Mi a kaosz?* A téma általános feldolgozása: <http://theorphys.elte.hu/fiztan/chaos>
- A numerikus számítására alkalmas program: <http://theorphys.elte.hu/fiztan/num>
- A vulkáni hamu terjedésének vizsgálata: <http://theorphys.elte.hu/fiztan/volcano>
- A Föld forgásának hatása a légköri- és tengeráramlatokra: <http://theorphys.elte.hu/fiztan/Coriolis>

Függelék

A modern fizikai anyagszerkezet középiskolai tanításának hazai előzményei

Magyarországon a modern fizika – ezen belül a kvantummechanika, anyagszerkezet és a statisztikus fizikai alapok - . középiskolai tanítására nagyarányú oktatási kísérlet indult az 1970-es 80-as években. Marx György professzor (ELTE) vezetésével és az MTA támogatásával. A gimnáziumok első osztályában (mai megjelölés szerint 9. évfolyamon) anyagszerkezeti vonatkozású kémiai és fizikai alapismeretekkel, elemi termodinamikai fogalmakkal ismerkedtek meg a diákok. A 10 évfolyamon klasszikus mechanika, a 11. évfolyamon elektrodinamika volt a tananyag. A 12. évfolyamon a termodinamika és a statisztikus mechanika, illetve az elemi kvantummechanika és anyagszerkezet, magfizika, asztrofizika és kozmológia egyes kérdései kerültek tárgyalásra.

Az oktatási kísérlethez segédanyagok, kísérleti tankönyvek készültek, és a kísérleti iskolák többségében demonstrációs eszközök beszerzésére is lehetőség volt. Az oktatási kísérlet összesített óraszámja a gimnázium négy évfolyamán több mint duplája volt a mai (2019.) óraszámoknak.

Az 1978-as országos tantervi reform minden gimnazista számára kötelező tananyaggá tette a korábbi kísérleti anyagot. Az új tantervhez az eredetileg kísérleti tankönyvek kötelezővé váltak. Ezek a tankönyvek szakmai szempontból ma is tanulságos és értékes szakanyagok, amit a szaktanárok háttéranyagként haszonnal forgathatnak.



Az 1978-as tanterv modern fizika tananyagához készült tankönyvek, illetve ezek szakkönyvekké bővített változatai.

Sajnos a tantervi reform – kötelező jellege miatt – elsietettnek és elhibázottnak bizonyult. A tananyag absztrakciós szintje csak a legkiválóbb diákok számára volt elfogadható, nagyrészt még a jó képességűek szintjét is meghaladta. Bár a reformnak voltak lelkes támogatói, a szaktanárok többsége, a szülők és a diákok jelentős része is elutasította. Az elutasítást érzékelve az oktatási vezetés visszakozott és megadta a lehetőséget alternatív tantervek és programok használatára. A gyakorlatban ez sajnós azt jelentette, hogy a tananyag mind terjedelmi, mind tartalmi szempontból indokolt csökkentése mellett nagyot esett a természettudományok presztízse is. A fizika, kémia és biológia óraszám azóta is folyamatosan csökken.

Ajánlott irodalom:

Art Hobson: *Physics – Concepts and Connections*, Prentice Hall, England Cliffs, New Jersey

J. P. McEvoy, Oscar Zarate : *Introducing Quantum Theory*, Icon Books Ltd, London, 2010.

R. P. Feynman: *Mai fizika*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.

Fizika (főszerkesztő: Holics László) Akadémiai Kiadó, Budapest, 2009.

Marx György: *Életrevaló atomok*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1978.

Marx György: *Atommag-közelben*, Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1996.

Károlyházy Frigyes: *Igaz varázslat*, Gondolat Kiadó, Budapest, 1976.

<http://mek.oszk.hu/09400/09461/>

Károlyházy Frigyes: *Az öcskös felesége*, Fizikai Szemle, 2007/11.367.o

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0711/karolyhazi0711.html>

Sükösd Csaba: *Kísérleti magfizika*

<http://mek.oszk.hu/16000/16052/16052.pdf>

Tél Tamás – Gruiz Márton: *Kaotikus dinamika*, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 2002.

Fizikai Kísérletek Gyűjteménye 3. kötet (szerk. Juhász András),

Arkhimédész – Typotex Kiadó, Budapest, 1996.