

A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA
TANÍTÁSA A GIMNÁZIUMBAN

Készítette: Szablics Bálint
középiskolai tanár

József Attila Tudományegyetem
Kísérleti Fizika Tanszéke
Szeged 1984.



B 2389

T A R T A L O M J E G Y Z É K

	Oldal
I. AZ ÚJ GIMNÁZIUMI TANTERV ÉS A REFORMOT KIVÁLTÓ IGÉNYEK	5.
II. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA JELEN- TŐSÉGE ÉLETÜNKBEN	10.
III. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA KÖZÉP- FOKU OKTATÁSA A KAPITALISTA ORSZÁGOKBAN	14.
USA	14.
NSZK-Svájc	22.
IV. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA KÖZÉP- FOKU OKTATÁSA A SZOCIALISTA ORSZÁGOKBAN	35.
Szovjetunió	35.
Csehszlovákia	46.
Jugoszlávia	52.
V. A MODERN FIZIKA HELYE A GIMNÁZIUMI OKTATÁSBAN MAGYARORSZÁGON	58.
VI. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA OKTA- TÁSÁNAK EGY VÁLTOZATA A GIMNÁZIUMOK IV. OSZTÁ- LYÁBAN	62.
Mérési gyakorlatok	115.
VII. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA TANI- TÁSAKOR SZERZETT TAPASZTALATOK, ILLETVE A RE- FORMMAL KAPCSOLATOS ÉSZREVÉTELEK	117.
VIII. FELHASZNÁLT IRODALOM	130.

A dolgozatban használt jelölések

E	-	energia
f	-	frekvencia
h	-	Planck-állandó
c	-	fénysebesség
p	-	impulzus
λ	-	hullámhossz
e	-	elemi töltés
Z	-	atomok rendszáma
F	-	erő
m	-	tömeg
v	-	sebesség
r	-	sugár, távolság
k	= $1/4\pi\epsilon_0$	- a Coulomb-törvényben szereplő arányossági tényező
n	-	pozitív egész szám
T	-	az abszolút hőmérséklet
U	-	feszültség

A dolgozatban mindig a fenti jelölések érvényesek, ha a betűjelekhez külön magyarázat nincs.

"Mindnyájan, akik hazánk jövőjét szivünkön hordozzuk, féltő gonddal ügyelünk arra, hogy a haza legdrágább kincse, középiskoláink ifjúsága mindig a kor színvonalán álló oktatásban részesüljön..."

Zemplén Győző

I. AZ ÚJ GIMNÁZIUMI TANTERV ÉS A REFORMOT KIVÁLTÓ IGÉNYEK

Korunk egyik legjellemzőbb vonása a természettudományok gyors fejlődése. A századfordulón kezdődött meg egy olyan alapvető szemléletváltozás, amely a technika és a társadalmi élet színvonalának emelkedését ma is meghatározza. A természettudományokban elért eredményeket ma már minden területen felhasználják, éppen ezért a természettudományos műveltség bizonyos foka ma már társadalmunk minden tagja számára éppúgy elengedhetetlen, mint a történelmi, vagy az anyanyelvi alapműveltség.

Az ember és környezetének állandó kölcsönhatása miatt változnak, fejlődnek a szaktudományok, de fejlődik a mindenkori műveltségtartalom is, amely alatt napjainkban már nemcsak ismerethalmazt kell értenünk. Feltétlenül idetartoznak azok a célszerű magatartásformák is, amelyekkel az ember képes újabb ismeretek szerzésére, a környezetében való tájékozódásra, környezetének megóvására és fejlesztésére, valamint a környezethez való /aktív/ alkalmazkodásra.

A természettudományok a természeti jelenségek és technikai folyamatok körében biztosítják az eligazodást, sőt bizonyos előrejelzést is lehetővé tesznek. A tudomány eredményeinek alkalmazási elveit megismerve az ember védetté válik a technika mitizálása, a technofóbia és más jelenségek ellen, ezzel együtt értékorientációi is megalapozottabbakká válnak. Főként ezeken alapul a természettudományok iránt mutató társadalmi igény. /41/

A gimnáziumok alapvető feladata, hogy minden tanulónak alapjaiban egységes, korszerű, továbbfejleszthető műveltséget nyújtson. A dinamikus fejlődést igénylő társadalomnak az oktató-nevelő munkával szemben támasztott követelményei közül a legfontosabbak, hogy az ifjúság az eddig felhalmozott tudást átvegye és elraktározza, továbbá olyan tulajdonságokkal is rendelkezzen, melyek alapján az elődöktől örökölt természeti és társadalmi feltételeket képes lesz átalakítani. Napjainkban a hangsúly egyre inkább a jövőre felkészítő funkció felé tolódik el.



A gimnáziumi oktatásban is igen fontos, hogy az azonos fogalmakat használó tantárgyak logikailag ellentmondásmentesek legyenek, tartalmilag kiegészítsék, támogassák egymást. Az egyes tantárgyak tananyagának maximális összehangolásával megszüntethető a diákoknak az a terhelése, amelyet az összefüggés nélküli ismeretek elsajátítása okoz. Az integrált világképbe az új fejezetek hézagkitöltő szereppel illeszkedhetnek be. A természettudomány által nyújtott áttekintés megnyitható a társadalmi csatlakozások felé. Alapvető feladat a dialektikus és történelmi materialista világnézet természettudományos megalapozása.

A természettudományos nevelés elsődleges célja az ember környezete iránti érdeklődés felkeltése, ezért úgy kell kialakítani a tanulók szemléletét, hogy a természetet szépnek lássák, megszeressék, érdeklődjenek a természetkutatás iránt, mi több, abban önmagukat érdekeltnek érezzék. Másik cél, hogy a diákok a világ természettudományos megismerési módszerét elsajátítsák. Tanítványainkat képessé kell tenni egyrészt annak felismerésére, hogy mit nem lehet értelmes kérdésnek tekinteni, vagyis mire nem lehet, illetve nem kell már magyarázatot találni, másrészt azt is fel kell ismerniök, hogy mit kell megmagyarázni, mi az, ami kutatandó, milyen jelenségek azok, melyek törvényszerűségeinek megállapítása értelmes, tudományos feladat tárgyát képezheti. Legyenek alkalmasak - önállóan - objektív tapasztalatok gyűjtésére, a lényeges kapcsolatok megtalálására és kiemelésére, modellalkotásra, új jelenségekre való helyes következtetésre, ez alapján a modell továbbfejlesztésére, a modell alkalmazására, valamint társadalmi hasznosítására. Fontos az anyag mozgásában megnyilvánuló általános elvek ismerete is /pl. okság, a makroszkópikus tulajdonságoknak a mikroszkópikus szerkezet által való meghatározottsága/. A tanulóknak ezeket az elveket élményszerűen, felfedezés-situációkban kell felismerniök, az elvek önálló alkalmazásának képességét maradandóan el kell sajátítaniok. Az általános elvek alapján - a természettudományos megismerés módszerével - képesnek kell lenniök a világban való tájékozódásra.

Jártasságot kell kialakítani a társadalmilag felhalmozott természettudományos információk beszerzésében, kezelésében és felhasználásában.

Mindezek a nevelési célok szükségessé teszik az eddigi tantervek felülvizsgálatát.

A természet megismerésénél kiindulás a közvetlen megfigyelés, később a tervszerű kísérlet lehet.

Nyilvánvaló, hogy az általános iskola felső osztályaiban nem lehet teljes precizitásra törekedni, csupán természettudományos szemléletre kívánhatunk nevelni a kiemelt témakörök elmélyültebb tárgyalásával. Egy-egy fejezetben való elmélyedés annyira fejlesztheti a fizikai gondolkodási módot, hogy a tanuló a kevésbé alaposan tárgyalt fejezetekben is könnyen eligazodhat. A kiválasztott fejezetek tanításakor tekintettel kell lenni az életkori sajátosságokra. Már ebben a korban ki kell alakítani a tanulóknak azt a képességet, hogy önállóan tudjanak új ismeretekre szert tenni és ezeket feldolgozni. Az általános iskolai tanulóknak legfeljebb 50-60 %-a tanul tovább, ezért már az általános iskolai nevelésnek biztosítani kell, hogy az ilyen végzettségűek a világban biztonsággal tudjanak tájékozódni.

Az általános iskolai fizika oktatás feladata az anyag néhány általános mozgástörvényének tapasztalati úton történő felismertetése, valamint a természeti jelenségek kvalitatív értelmezése és előrelátása e törvények alapján. A szükséges matematikai fogalmak hiánya miatt a fizika törvényeinek kvantitatív megalapozása csak a gimnáziumban valósítható meg.

Problémát jelent, hogy a természettudományos tantárgyak iskolai tanterve egymástól függetlenül alakult ki abban az időben, amikor az egyes tudományágak kapcsolódását még nem ismerték kellően. Az így létrejött elszigetelődés nemcsak többletterhet jelent a tanulók számára, hanem ellentmondásokat is teremt a tananyagban, és ez feltétlenül túlterhelésre vezet. Ezt a túlterhelést nem lehet megoldani egyes részek elhagyásával, mert a későbbiek folyamán kialakítandó valamely fogalom ezáltal megalapozatlanná válhat.

Az elavult mechanisztikus anyagelmélet szellemében oktatott fizika és kémia egyrészt a biológia egzakt megalapozását teszi lehetetlenné, másrészt cáfolni látszik mindazt, amit a világ anyagi egységéről tanítani szeretnénk, de a természet dialektikája sem jut benne kellő kifejezésre.

A természettudományok XX. századi kiépülése megköveteli, hogy a gimnáziumban az egységes természettudományos világkép kialakítását tűzzük ki feladatul. A korszerű természettudományos tájékozódás egyben dialektikus materialista gondolkodásra is tanít, tehát világnézeti nevelést is nyújt.

A természettudományos nevelés célkitűzése értelmében az oktatásnak megfigyelésekre, és főleg tudatos kísérletekre kell támaszkodnia. Fontos, hogy a kísérlet ne utólag igazolja a tábláról vagy a könyvből megtanult képleteket, hanem a kísérletek tanúsága alapján állapítsunk meg összefüggéseket. A tanári és tanulói kísérletek célja a tananyag gerincét képező általános elvek élményszerű felfedezése legyen. Ezzel jobban megvalósítható a logikus gondolkodásra való nevelés, és az eredmény is jobban megmarad tanítványaink emlékezetében. Így elkerülhetjük azt a veszélyt is, hogy a tanulók az előadótermekre, a laboratóriumokra, azaz a mindennapi életünktől érzelmileg távolálló jelenségek körre korlátozzák a természettudományok érvényességét.

A 14 éves gyermekek többsége még nem éri el a formális gondolkodás szintjét, ezért az I. osztályban oktatandó tananyag feldolgozásakor a konkrét, szemléletes modellekben való gondolkodásra építsünk! Az eredményes tanítás alapfeltétele a minél több, jól megfigyelhető kísérlet. Erre a konkrét modellakotó tárgyalásmódra jól fel lehet építeni a szerveskémia és a biológia egyre komplexebb rendszereit.

Ahhoz, hogy az érzékszervi tapasztalatok körétől távolosó, de a gyakorlat számára nélkülözhetetlen anyagállapotokat /gravitációs mező, elektromágneses hullám, elemi részecske stb./ ellentmondásoktól és előitéletektől mentesen megértsük, már nem elegendőek a szemléletes modellek. Túl kell lépni az érzékszervek korlátai által leszűkített szem-

léleti és gondolkodási sablonokon, de ezt csak fokozatosan lehet elérni. A másodikos fizika órákon az empirikusan felismert alaptörvényekre alapozó deduktív természetleírás javasolható. A II. osztályos fizika az új tanterv alapján a mechanikát tárgyalja. A következő évben az absztraktabb elektromágneses mezőt és az elektromágneses mozgásformákat, a IV. osztályban az atomi részecskéket és a belőlük felépülő struktúrákat, a statisztikus-termodinamikai, kvantummechanikai mozgásformákat ismerhetik meg a tanulók. A termodinamikai és kvantummechanikai mozgás egyetemességénél fogva alkalmas az anyagi világ egységességének kifejezésére. A IV. év második felében a fizikai^p és a bio-⁷⁴lógia - az anyagfejlődés nézőpontjából - összehangolt tanítása lehetne hivatott arra, hogy végleg kialakítsa tanítványaink egységes természettudományos világképét. Ez összegezné világnézetünk természettudományos alapjait. /9., 31., 32./

II. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA JELENTŐSÉGE ÉLETÜNKBEN

A XIX. század végére a klasszikus fizika már annyira ki-fejlődött, hogy a fizikai jelenségek minden területén ismertek voltak azok az alapvető törvények, amelyek segítségével egy-egy jelenségekör teljes megértése és az ott lejátszódó folyamatok irányítása elvileg lehetővé vált. A klasszikus fizika illetékessége csak olyan mozgásformákra, jelenségekre terjed ki, amelyek az anyag tulajdonságainak mélyreható változása nélkül mennek végbe. Ugy látszott, hogy csupán egy-két részletkérdés és a szerzett ismeretek további gyakorlati alkalmazása vár még megoldásra, Ilyen részletkérdés volt pl. a hőmérsékleti sugárzás. Igaz, az izzó testek által kibocsátott sugárzás összetételére és intenzitás-eloszlására vonatkozó kutatások már eddig is szép eredményre vezettek, de nem volt ismeretes a sugárzási szinképet megadó általános összefüggés.

A XIX. század végére egyre határozottabb lett az a felismerés, hogy az anyag nem folytonos felépítésű, hanem apró részecskékből áll. Tisztázásra várt ezen részecskék mozgástörvényeinek kérdése is.

A XX. század küszöbén joggal gondolhatták, hogy a fizikai tudományok lezárásához közelednek, de a tisztázásra váró "részletkérdések" alapos vizsgálatakor csakhamar megdöbbentő eredmények születtek. Kiderült, hogy sok jelenségre a klasszikus fizikai törvényei nem alkalmazhatók. A tapasztalat alapján túl kellett lépni a klasszikus fizika határait. A fizikai ismeretek gyarapodása rohamos volt, az átalakulás pedig forradalmi. Világossá vált, hogy a klasszikus fizika megalapozásában vannak hiányosságok, ezért az ismeretek szerzését az alapoknál kellett újrakezdeni. Megkezdődött tehát a fizika egy új fejezetének, a kvantumfizikának a kidolgozása. Ezt az atomok tulajdonságainak vizsgálatával kezdték el és a mikrorészecskék részecske- és hullámtulajdonságának bebizonyításával alapozták meg. Bebizonyosodott, hogy a kvantumfizika a klasszikus fizikánál sokkal

általánosabb érvényű törvényeket ad, tehát a megismerésnek sokkal magasabb fokát nyújtja. A klasszikus fizika törvényei a kvantumfizika törvényeinek határeseteként adódnak. Napjainkban a kvantumfizika hatása már megjelent a gyakorlatban. A tranzisztor, a hangosfilm, a televízió, az atomerőművek mind olyan törvények alapján működnek, melyekről már a kvantummechanika ad számot. A kvantummechanika törvényrendszerének megismerésével hallatlanul kitágult, megszinesedett az anyagról alkotott kép. A csillagok belsejében szakadatlanul mennek végbe olyan átalakulások, melyek leírásával még a kémia sem birkózhat meg eredményesen. Az elemek egymásbaformálódása termeli a világmindenséget életető sugárzó energiát, s ennek a folyamatnak megfelelő leírását csak a kvantummechanika adta meg. A század 60-as éveiben derült ki, hogy az élet legelemibb jelenségei, amilyen az öröklődés, mutáció, öregedés, fehérjeképződés éppen azáltal válnak egzaktul megérthető jelenségekké, ha figyelembe vesszük az anyagnak azokat a gazdagabb mozgásformáit, amelyekről a kvantummechanika törvényrendszere tudósít. A természetben kialakuló minták és szimmetriák kibontakozását is a kvantummechanika alapján lehet magyarázni. Einstein szavaival élve, "aligha alkottak valaha is olyan elméletet, amely annyi tapasztalati tény megértéséhez és kiszámításához adott volna kulcsot, mint a kvantummechanika." Ugy tűnik, hogy a kvantumelmélet nem csupán a fizikát, hanem az egész természettudományt átfogó alaptudománnyá érik. /26., 27., 40./

A hihetetlen mértékben növekvő energiafelhasználással az ember túlságosan is igénybeveszi a szerves energiaforrásokat. Az újabb becslések szerint az olaj kb. 30 évig, a szén pedig kb. 100 évig lesz még képes megoldani az emberiség energiaproblémáit. Mivel mindenféle termelő tevékenységhez energiát kell felhasználni, a tudósok talán legfontosabb feladata egyrészt a rendelkezésre álló energiaforrások jobb hasznosításának feltárása, másrészt az elvileg új energiaforrások kutatása. A megújuló energiaforrások felhasználása /viz-, nap-, szél-, geotermikus-, ár-ápály-erőművek, vala-

mint a biomasz hasznosítása/ csak helyi, illetve kiegészítő jelleggel jöhetnek számításba. Megnyugtató megoldást - a Föld becsült uránkészlete alapján - az atomerőművektől sem remélhetünk. Jelenlegi ismereteink alapján az energiaszükséglet távlati enyhítésére a fúziós energia felhasználása kínálkozik. Sajnos napjainkban a fúziós energia szabályozott előállításához még számos kérdést kell megoldani, amihez nélkülözhetetlenek a kvantummechanika eredményei.

A fentiekből egyértelműen kitűnik, egyre inkább szükségessé válik, hogy középiskolát végzett fiataljaink valamelyest betekintést nyerjenek a kvantummechanika tárgykörébe, annak ellenére, hogy ott ezen tárgykör elmélyültebb tanulmányozására nincs lehetőség.

A kvantummechanika legalapvetőbb törvényeinek megismerése után válik lehetővé a szilárdtestfizika bizonyos részeinek tárgyalása.

A szilárdtestfizika elsősorban a szilárdtestek /azaz a szilárd halmazállapotú, kristályos szerkezetű anyagok/ tudománya, de ma már egyre több szilárdtestfizikus foglalkozik az ún. amorf testekkel és a folyadékkristályokkal is. A szilárdtestfizikai kutatások azért foglalnak el különleges helyet a fizikai kutatások körében, mert a feltárt eredmények sok esetben további ipari, technológiai vizsgálat nélkül is azonnal, iparszerűen alkalmazhatók. /18./

A szilárdtestfizika kialakulásához elengedhetetlen volt a kvantummechanika kifejlődése, az atomok szerkezetére vonatkozó alapvető törvények felismerése. Ezek tették lehetővé, hogy Drude és Lorentz megalkossák a fémek első elektronelméletét, hogy Einstein megadja a kristályok fahőjének és a fotoeffektus rejtélyének kvantummechanikai magyarázatát, hogy Laue kimutassa a röntgensugarak diffrakcióját, hogy W.H. és W.L. Bragg megkezdjék a kristályok szerkezetének a felderítését.

A makromolekulák és a kristályok szerkezetére vonatkozó tapasztalati tények és elméletek ma már számos iparág /gyógyszer-, növényvédőszer-, festék-, műanyagipar-, vákuumtechnika, számítógépgyártás, elektronika/ fejlesztéséhez

nélkülözhetetlenek. A mikrovilágra vonatkozó ismeretek képezik a makrovilág jelenségei mélyebb megértésének az alapját, megkönnyítik a kívánt tulajdonságú anyagok előállítását, és az iparfejlesztés legelőnyösebb irányainak kidolgozását is elősegítik.

Korunk gazdasági fejlődésének jelentős tényezője a műszaki tudományok fellendülése, amely nagymértékben a szilárdtestkutatások eredményeinek köszönhető. Nemzetközi tapasztalatok támasztják alá, hogy a szilárdtestkutatások ráfordításai - gyors ütemű gyártmány- és gyártásfejlesztésnél - nemcsak hamar, de jelentős haszonnal térülnek meg. /12./

Ha csak arra gondolunk, hogy a ma létező szaktudományok egyike sem nélkülözheti a szilárdtestkutatások eredményeit felhasználó elektronikát, már akkor is indokoltnak érezzük, hogy középiskolásaink belekóstolhassanak a szilárdtestfizika szépségeibe, ami kedvet ébreszthet a szilárdtestfizika behatóbb tanulmányozására, később esetleg szilárdtestfizikai kutatások végzésére. Ez fontos is lenne, hiszen ebben a tudományágban még sok érdekes és jelentős felfedezés várható.

III. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA KÖZÉPFOKU OKTATÁSA A KAPITALISTA ORSZÁGOKBAN

USA

Mivel az USA egyes gimnáziumaiban feldolgozandó fizika tananyag nincs központilag előírva, a tananyag pontos kijelölését az ún. iskolaszék végzi. Így az ottani középiskolai oktatásról egységes képet alkotni roppant nehéz volna. Ehelyett egy konkrét példa - New York állam gimnáziumainak oktatásához rögzített általános és alapvető koncepciók - alapján történik a következő elemzés.

Az utóbbi 30 év kimagasló tudományos eredményei miatt a szakképzett technikusok, tudósok, mérnökök hiánya kritikusá lett az USA-ban. Ma már minden területen olyan munkásokra van szükség, akik egyre jobban megértik a fizikai világot. Az ottani megítélés szerint életszínvonaluk és nemzeti biztonságuk megmaradása nagyrészt a tudományosan képzett emberek számától függ. Fontos feladat a fizika és a technika tárgyában képzett állampolgárok számának növelése, mert csak ők képesek arra, hogy az eléjük kerülő problémákkal kapcsolatban megbízhatóan döntsenek.

Ennek megfelelően 1963 tavaszán az Állami Oktatásügyi Minisztérium /State Education Department/ összehívta a Tudományos Tanácsadó Bizottság /Science Advisory Committee/ egy értekezletét, melynek feladata a tudományos nevelés aktuális problémáinak vizsgálata volt, továbbá azon oktatási irányvonalak megállapítása, amelyek a tudomány újabb eredményeinek ismeretében szükségesek. A bizottság tagjai között voltak középiskolai és kollégiumi tanárok, valamint a kutatóintézetek és az ipar képviselői. Az értekezleten elfogadott programot az 1963-64-es tanévben 20 iskola próbálta ki. Az 1965-ös végső koncepciót a kísérletben részt vevő tanárok véleménye és a kísérleti anyagot tanuló diákok vizsgaeredményeinek figyelembevételével hagyta jóvá egy ellenőrző bizottság.

A kísérletek eredménye alapján kiadott tanmenet elsősorban a megmaradási törvények alapos oktatására hívja fel a figyelmet, melyeket nem elkülönítve, hanem minden egyes folyamatra együttesen érvényesnek kell tekinteni. Ezen megközelítés jobban tükrözi a fizika egységét.

Alapvető feladat a kritikai gondolkodás kifejlesztése, mert ez a gondolkodásmód a tudományágak számos speciális részletének elfelejtése után is megmarad.

Mivel az általános iskolák fizikaoktatásában az egyes fejezetek feldolgozásakor elérendő tudásszintet a tanárok véleménye és gyakorlata szabja meg, a gimnáziumban nem lehet minden terület további részletezését egységesen elvégezni. A gimnáziumi fizikaoktatás egy alapszekcióból és négy fakultatív szakterületből tevődik össze. A választható négyféle lehetőségből mindenkinek csak kettőt kell elsjátitania.

A gimnáziumi fizikatanfolyam minimálisan heti hat /45 perces/ órát igényel, de ajánlatos ezt az óraszámot eggyel bővíteni. Ez az idő tartalmazza a hetenkénti dupla gyakorlati órákat is.

A tanárok saját időbeosztásukat a diákok érdeklődése alapján kell, hogy meghatározzák. Az alábbi táblázat a tanfolyam alapkeretének megállapításához szolgál segítségül.

	Alap szakterületre	Kibővitett /fakultatív/ szakterület
Mechanika	10 hét	2 hét
Hullámtan	7 hét	1 hét
Elektromosság	8 hét	1 hét
Atom- és magfizika	4 hét	1 hét

A fizikai laboratóriumi gyakorlatok kb. 30 mérési gyakorlat elvégzését és az eredmények elemzését tartalmazzák.

Mivel a fizika tanítása erősen támaszkodik a matematikai ismeretekre, ezért a fizika tananyag feldolgozásához csak a megfelelő matematikai ismeretek megszerzése után célszerű hozzáfogni. Ennek ellenére vannak olyan területek a matema-

tikában, amelyeket a diákok a fizika tanulmányok kezdetére még nem sajátítottak el. Ezeket a fizika tanfolyam elején kell megtanítani, vagy - a tanár belátása szerint - mint a fizikához társított anyagot kell feldolgozni.

A fizikát mechanikával kezdik, ezután következik a hullámtan és az elektromosságtan, végül az alábbiakban részletezésre kerülő atom- és atommagfizika fejezetet dolgozzák fel.

Az atom- és az atommagfizika feldolgozása a gimnáziumban

A témakörön belül elsőként a fény kettős természete vizsgálendő. A fénnyel /mint a legegyszerűbb eszközökkel vizsgálható elektromágneses sugárzással/ bemutatásra ajánlott interferencia, polarizáció és elhajlás magyarázata csak a hullámelmélet alapján lehetséges, míg a fényelektromos hatás értelmezésére egyedül a részecske-elmélet alkalmas. A fotoemisszióban ugyanis a hullámelméletnek megfelelően bármely sugárzás /ha elegendően hosszú ideig tart/ fotoelektronok kibocsátáshoz vezethetne. Ehelyett minden fotoemisszióra képes anyaghoz létezik egy minimális frekvencia, melynél kisebb rezgésszámú fénnyel való megvilágításkor az anyag nem emittál fotoelektronokat. A fotoelektronok kinetikus energiájának maximuma csak a beeső sugárzás maximális frekvenciájától és a megvilágított felület anyagi minőségétől függ.

A kvantumelméletet olyan jelenségek magyarázatára dolgozták ki, melyeket a klasszikus fizika alapján nem lehet helyesen értelmezni. Így pl. a fekete test által kibocsátott elektromágneses sugárzás intenzitását a frekvencia függvényében csak a sugárzás emissziója és abszorpciója kvantumságának feltételezésével sikerült Plancknak megfelelően leírni. Minimális követelmény, hogy a tanulók az

$$E = hf$$

összefüggést, ahol E az elektromágneses sugárzás energia-kvantuma, helyesen alkalmazzák. A Planck-állandó értékét nem kell megjegyezni.

A fénylektromos hatás magyarázatához Einstein feltette, hogy az elektromágneses sugárzás mindig kvantált. A fényenergia kvantuma a foton. A kilépő elektronok $E_{k \max}$ maximális kinetikus energiája lineáris kapcsolatban van a fotonok frekvenciájával. Az Einstein-féle fénylektromos egyenlet:

$$E_{k \max} = hf - W,$$

ahol a W kilépési munka csak az elektront emittáló anyag minőségétől függ. Ezt minden tanulónak helyesen kell alkalmaznia.

Fotonnak más részecskékkel való ütközésére vonatkozó kísérletet először Compton végzett el. A Compton-effektus magyarázatához szükséges az energiamegmaradás és az impulzusmegmaradás elve.

A foton impulzusa fordítottan arányos a hullámhosszal:

$$p = E/c = hf/c = h/\lambda.$$

Bár a foton impulzust hordoz és erőt fejthet ki, nyugalmi tömege mégsem lehet. Bármely vonatkoztatási rendszerben a foton a fénysebességgel terjed.

1924-ben de Broglie a természet szimmetriája alapján feltette, hogy nemcsak a fény rendelkezik kettős természettel, a dualitás minden testre jellemző. Szokásos körülmények között a testek hullámtermészete nem jut kifejezésre. A részecskék hullámhosszát impulzusuk határozza meg:

$$\lambda = h/p.$$

Davisson és Germer mozgó elektronok interferenciáját mutatta ki, és a mérésekből adódó hullámhosszak egyenlők voltak h/p -vel.

Rutherford vékony fémlemezre bocsátott α -sugarakat és azt tapasztalta, hogy a sugárzás nagy hányaga jelentős eltérülés nélkül áthatol a lemezen, néhány részecské azonban csaknem 180° -kal változtatja meg mozgási irányát. Ezt úgy magyarázta, hogy az atomok legnagyobb része üres, az atom tömegének döntő hányadát és a pozitív töltést egy igen kicsi

kiterjedésű magba koncentrálnak tekinthetjük. Rutherford az α -sugarak előállításához radioaktív preparátumot használt. Az α -részecskék a He-atomok magjai, melyek 2 proton és 2 neutron tartalmaznak. Energiájuk rendszerint 4,5-9 MeV, ami $1,5 \cdot 10^7$ - $2,0 \cdot 10^7$ m/s sebességnek felel meg. Pályájuk a fém pozitív töltésű atommagjaival való kölcsönhatáskor fellépő Coulomb-taszítás miatt hiperbolikus.

$$F = kqZe/r^2,$$

ahol $q=2e$ az α -részecske töltése.

Minél kisebb az α -részecske pályája és az atommag közötti távolság, annál nagyobb az α -rész eltérülési szöge Θ . Frontális ütközéskor $\Theta = 180^\circ$, ennek a valószínűsége azonban igen kicsi.

Akik ezt a szakterületet választották részletes tárgyalásra, azt is megtanulják, hogy egy adott szög körül szóródó azonos energiájú α -részecskék számát a fémlemez atommagjainak össztöltése határozza meg.

Frontális ütközésnél az energiamegmaradás alapján kapjuk meg, hogy

$$m_\alpha v^2/2 = kqZe/r,$$

ahol az r az α -részecske és a mag középpontja közötti távolság. Ennek megfelelően

$$r = 2kqZe/m_\alpha v^2.$$

Igy az atommag sugarára kb. 10^{-14} m adódik. A számítások

csak akkor érvényesek, ha az α -részecskék energiája nem elegendő a magba való behatoláshoz. A relativisztikus effektus figyelmen kívül hagyható.

A H-atom Bohr-modellje egy pozitív magot és egy mag körül keringő elektront tartalmaz. E modell magyarázza a klasszikus elmélettel ellentétes feltevéseket. A klasszikus elmélet szerint az elektron - elektromágneses sugárzás kibocsátásával - energiát veszítene és spirális pályán a magba zuhanna. Bohr szerint az elektron csak meghatározott sugarú pályákon keringhet a mag körül, miközben energiát nem sugároz. Minden pályához jól meghatározott energiaérték tar-

tozik. Csak olyan pályák lehetségesek, melyeknél az elektron impulzusnyomatéka a Planck-állandó egész számú többszöröse osztva 2π -vel $/mvr = nh/2\pi$. Ha egy elektron az egyik pályáról a másikra kerül, akkor az atom a két pálya energiakülönbségének megfelelő energiát sugároz ki, vagy nyel el:

$$hf = E_1 - E_2,$$

ahol E_1 és E_2 a megfelelő pályák energiája és f a kibocsátott sugárzás frekvenciája.

1914-ben Franck és Herz megerősítette a meghatározott energiaszintek elméletét. Kísérletükben gázmolekulákat bombáztak elektronokkal és azt találták, hogy a gázmolekulák csak meghatározott energiaértékeket tudnak elnyelni. A gerjesztési energiák különböző gázoknál mások voltak. A gerjesztett atomok a gerjesztési energiát rövidesen fotonok formájában kisugározták.

Az elektron lehetséges legalacsonyabb energiájú állapotát alapállapotnak nevezik. Valamely atom egy elektronjának leszakításához szükséges energia az ionizációs energia, amely a potenciális és a kinetikus energia különbségeként adódik. A H-atom ionizációs energiája 13,6 eV. A Bohr-modell nem tükrözi tökéletesen az atomszerkezetet, ezért helyébe a hullámmechanikai modell lépett.

A konkrét helyzetben levő elektronok megtalálási valószínűségét hullámokkal lehet leírni. Ezek - mint állóhullámok - a magtól csak bizonyos távolságra létezhetnek. Egy ilyen állóhullám létének feltétele:

$$n\lambda = nh/p = 2\pi r.$$

Ebből

$$mvr = nh/2\pi,$$

ahol n egy konkrét energiaszintű pályára rajzolható hullám periódusainak számát jelenti. Az így nyerhető pályasugarak összhangban vannak az atom diszkrét energiaszintjével.

Minden elemnek jellemző spektruma van. A gerjesztett állapotban levő atom foton formájában energiát sugároz, ha elektronjuk alacsonyabb energiaszintre tér át.

Minimális elvárás az $E_{\text{foton}} = hf = E_{\text{kezd}} - E_{\text{vég}}$ összefüggés helyes alkalmazása és az energiaszint-diagram használata. Kiegészítő anyag /a szakterületet választók számára/ az elnyelési szinkép értelmezése és az $E_{\text{vég}} - E_{\text{kezd}} = E_{\text{foton}} = hf$ képlettel való számolás. Egy atom fotont csak akkor nyelhet el, ha az érkező foton energiája pontosan megfelel valamely gerjesztési energiának. Előfordulhat az is, hogy a foton energiája elegendő az atom ionizálásához.

A H emissziós szinképében a vonalak különböző - sorozatként ismert - csoportokban fordulnak elő. A H-spektrum látható vonalaira vonatkozó empirikus formulát az un. Balmer-formulát, Bohr elméleti munkássága erősítette meg. Bohr olyan sorozatokat is megjósolt, melyeket csak később találtak meg. A Balmer-sorozatban levő vonalak hullámszámai a H-atom valamely gerjesztett állapota és a második energiaszint közötti átmeneteknek felelnek meg.

A magfizikához tartozik a radioaktivitás vázlatos tárgyalása. Itt szó esik a nukleáris kölcsönhatásról és a tömegdefektusról is.

Az eltolódási szabályok, a radioaktív bomlási törvény, a mesterséges magátalakítások, a maghasadás és a fúzió csak azon tanulókkal dolgozandó fel, akik ezt a szakterületet választották bővebb elemzésre.

A reform szellemében kiadott és az útmutató tanmenethez messzemenően igazodó tankönyvben szereplő leckék igen rövidek és nagyon tömörek. Matematikai levezetések általában nem szerepelnek benne, ehelyett csak a végső, megtanulandó képleteket adják meg. Mindez arra utal, hogy az egyes részek csak a tanóra anyagának a vázát jelölik ki, a bővebb kvalitatív magyarázatot és a levezetéseket a tanár belátására bizzák. Ez a tanároknak igen nagyfokú szabadságot biztosít az egyes órákon, másrészt magasfokú szakmai és didaktikai felkészülést is igényel.

Az egyes fejezetek végén nagy számban találhatók a tananyag megértése szempontjából alapvető fontosságú, de egy-

szerű kérdések. A fentebb részletezett atom- és magfizika részhez összesen 164 kérdés tartozik. A kérdésfeltevés módja - hasonlóan az érettséginek megfelelő vizsga szokásaihoz - teszt jellegű, azaz egy kérdéshez négy válasz tartozik, amelyek közül ki kell választani a helyeset.

A tankönyv végén szerepelnek az 1975 és 1979 közötti vizsgákon feltett kérdések /a helyes válaszok megjelölése nélkül/.

A vizsgázóknak az első kérdéscsoport mindegyik feladatát, ezenkívül a további négy kérdéscsoport közül - a fakultatíve választott szakterületnek megfelelő - további kettő feladatait kell megoldaniuk. A dolgozat első része 60 kérdést tartalmaz. Ezek közül 1975-ben 8, 1976-ban 7, 1977-ben 8, 1978-ban 9 és 1979-ben 11 kérdés kapcsolódott az atom-, illetve az atommagfizikához.

A többi négy kérdéscsoport 15-15 feladatot tartalmaz.

A feltett kérdések általában matematikai levezetés nélkül megválaszolhatók. A kérdések nagy számából is látszik, hogy külön-külön nem igényelnek hosszas gondolkodást, viszont az egész anyagot jól átfogják, és az értékelés alapján, a teszt formában végzett vizsgáztatás adta lehetőségekhez képest, reális kép nyerhető a tanulók felkészültségéről.

A tankönyv az elvégzendő mérési gyakorlatok tekintetében nem tartalmaz ajánlásokat, a méréseket a tanárok jelölik ki, az iskola felszereltségét is figyelembe véve.

A tankönyv az elektromosságtan fejezetén belül megemlíti, hogy léteznek félvezetők is, de nem elemzi a félvezetők vezetési tulajdonságait, és a felhasználási lehetőségek széles körét sem említi.

A kristályos anyagok szerkezetének és tulajdonságainak vizsgálata sem szerepel a gimnáziumi anyagban.

A legsúlyosabb hiányosság, hogy a fizika eredményeinek a gyakorlati felhasználása és a többi tudománnyal való kapcsolata nincs részletezve. /25., 36./

NSZK - Svájc

Az NSZK-beli középiskolák fizikaoktatása elemzésének alapja J. Schreiner : Physik c. tankönyve. A könyvet 1977-ben Bécsben adták ki az NSZK és Svájc részére, de 1978-ban kiadták az NSZK-ban /München, Nyugat-Berlin, Frankfurt am Main/ és Svájcban /Aarau/ is. A tankönyv fedi minden iskolatípus fizika tananyagát, ezért szerepel benne egy fizikai-kémia fejezet is, amelynek feladata a kémiatanítás hiányosságainak kiküszöbölése. A kémiatanításban ugyanis a hullámmechanikai modell részben korán, részben megalapozatlanul szerepel.

A tankönyv anyagának jelentős része a rezgés- és hullámtanra épül. A klasszikus fizika oktatását messzemenően le rövidítették. Mindez azért vált szükségessé, mert a jelenkori világképnek megfelelő fizikát csak ezen rövidítések árán lehet bemutatni.

A szerző véleménye szerint egy demokratikus társadalomban a fizikatanításnak már azért is különleges szerepe van, mert a technikai világban való döntésekbeni részvételhez bizonyos természettudományos alapismeretek elengedhetetlenek.

A tankönyvben szereplő főbb részek: a rezgésstan, a hullámtan, a geometriai optika, a hullámoptika, a speciális relativitás-elmélet, az elektrosztatika, az egyenáram, a váltakozóáram, az elektroncsövek, az elektromágneses hullámok, a fotonok, az atomfizika, az atommag, a kémiai kötések, a félvezetőtechnika, a kozmosz és az elemi részecskék.

A továbbiakban /a fenti fejezetek közül/ a kvantummechanikával, illetve a szilárdtest-fizikával kapcsolatos anyag részletezése következik.

A kvantumfizika megalapozásában jelentős szerepe volt a fénnel kapcsolatos újabb megfigyeléseknek. A fényelektromos hatást pl. a hullámmoddell alapján nem lehet értelmezni. A fotonhipotézis szerint a fény az energiáját csak meghatározott adagokban adhatja le. Egy-egy energiaadag /foton/ energiája csak az elektromágneses sugárzás frekvenciájától

függ, azzal egyenesen arányos. A fotonok az elektronokkal úgy lépnek kölcsönhatásba, mint részecskék. Minden fotoelektront egyetlen foton vált ki.

A fényelektromos hatás helyes értelmezése alapján lehet megérteni a fotocella működésének elvét, és azt is, hogy miért csak az ultraibolya sugarak hatására barnulhatunk le.

A fotonok energiája a fotoelektronok elektromos ellentéren való átbocsátásával mérhető, az

$$E_{\text{kin}} = hf - W_A$$

összefüggés alapján, ahol E_{kin} az elektronok maximális kinetikus energiája, hf a foton energiája, W_A a kilépési munka, a h a Planck-állandó.

Nagy energiájú elektromágneses sugárzás /röntgen sugárzás/ állítható elő igen gyors elektronok hirtelen lefékezésé-
se által. Ha az elektronokat U feszültség gyorsítja, akkor a röntgen-foton energiájára fennáll, hogy

$$hf \leq eU,$$

vagyis

$$f \leq eU/h,$$

a sugárzás hullámhosszára pedig

$$\lambda = c/f \geq ch/eU.$$

10 kV gyorsító feszültség hatására keletkező röntgensugarak hullámhossza az atomátmérő nagyságrendjébe esik, így vékony kristálylemezen átbocsátva interferenciaképet kapunk. Mivel a különféle anyagok különböző mértékben nyelik el a röntgensugarakat, ezeket felhasználhatják a gyógyászatban és anyagszerkezeti vizsgálatokhoz is.

A v sebességgel mozgó részecske összenergiája

$$E = mc^2,$$

ahol $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2} = m_0 k$. Ha v tart c -hez, akkor k tart a végtelenbe. Az m és $E = hf$ csak akkor maradhat állandó, ha $m_0 = 0$. A c sebességgel mozgó foton nyugalmi tömege 0, és tehetetlensége csak az energia-tömeg ekvivalenciája által

van:

$$m = E/c^2 = hf/c^2 = h/c\lambda .$$

A foton impulzusa: $p = mc = (h/c\lambda)$. $c = h/\lambda$.

A fénylektromos hatás és a Compton-effektus arra utal, hogy a fotonok a negatív elektromos töltésű részecskékkel kölcsönhatásba lépnek, egymással azonban alig kerülnek kölcsönhatásba, amire a fénynyalábok egymáson való zavartalan áthaladásából következtethetünk.

Ha az elektromágneses sugárzás minden tulajdonságát meg akarjuk érteni, akkor a kvantummodell éppoly elengedhetetlen, mint a hullámmodell. A két modell azonban - a klasszikus mechanika törvényeit figyelembe véve - egyidejűleg tarthatatlan. Ezt legegyszerűbben a két réses interferenciával lehet szemléltetni. A két modell összeegyeztetése úgy vált lehetségessé, hogy egy, a fotonokra is érvényes, új mechanikát fejlesztettek ki.

A newtoni mechanika tulajdonképpen a relativisztikus mechanika kis sebességekre való jó közelítése, de ugyanigy a kvantummechanikának is speciális része, mégpedig a foton és az elektron tömegéhez képest nagy tömegekre alkalmazva.

Az atomokat alkotó részecskék elektromos erőkkel vannak összekötve. Az elektronok atomtól való elszakításához szükséges energia és ionizációs energia. Az atomhoz kötött elektron energiája csak diszkrét értékekkel, míg a szabad elektron energiája folytonosan változhat.

Az elemek szinképe vonalas, melyből - az atom felépítésének ismerete nélkül - megállapíthatók az atomban kötött elektronok megengedett energiaszintjei. Ezek energiaszint-sémákkal szemléltethetők, míg a spektrumvonalak sorozatokba rendszerezhetők.

A fény abszorpciójából szilárd testek esetén is megállapítható, hogy az érintett testben milyen energiaszintek állanak az elektronok rendelkezésére. A folyékony és szilárd testekben - az atomok éles energiaszintjei helyett - viszonylag széles energiasávok lépnek fel.

Az atom szerkezetére vonatkozó kezdetleges elképzelések közül a Thomson-féle atommodell szerint egy pozitív töltésű gömb belsejében foglalnak helyet az elektronok.

Az atomokra vonatkozó ismeretek gyarapodása értelmezéssel nehézspekre vezettek. Becquerel figyelte meg először a radioaktív sugárzást, a Curie házaspárnak pedig sikerült felfedeznie a radioaktív Po és Ra elemeket. A természetes radioaktivitásnál három féle sugárzás különböztethető meg. Mivel a természetes radioaktivitás energiabefektetés nélkül jön létre, a jelenség ellentmond a klasszikus fizika törvényeinek.

A különböző α -, β - és γ -sugarakat nyomkamrák /kód-kamra, buborékkamra/ és számlálócsövek /G-M-cső/ segítségével lehet vizsgálni. Ezek felépítése és működési elve is szerepel.

Az α - és β -részecskék tömege az atomokéhoz képest kicsi. Ilyen sugarakat bocsátottak igen vékony fém fóliára. Ezek pályáinak jelentős eltérése csak a fém atomokkal való ütközéskor következhet be. Ilyen eltérés azonban a részecskék lényegesen kisebb hányadánál fordult elő, mint azt az atomátmérő ismeretében várhatták volna. Mindez egy kicsi térfogatú, de nagy tömegű és pozitív töltésű mag feltételezését eredményezte. Ilyen megfigyelések alapján jutott Lénárd arra a következtetésre, hogy az elektronok áthatolhatnak egy μ vastagságú fém fólián.

A Rutherford-féle kísérlet eredménye alapján alkotta meg Rutherford az atomok planetáris modelljét, melynek hiányosságait Bohr igyekezett kiküszöbölni az általa megadott kvantálási feltételekkel. A Bohr-modell ugyan kimondta az energia kvantálását, de nem magyarázta azt, így ez az elképzelés sem lehetett kielégítő.

A fény kettős természete alapján a fotonokra és egyéb elemi részecskékre vonatkozóan egy új mechanikát kellett alkotni. Ennek kidolgozását W. Heisenberg és E. Schrödinger végezte el egymástól függetlenül.

A kvantummechanika egyik legalapvetőbb gondolata, hogy minden részecske ugyanazt a mechanikát követi.

A fény hullám-részecske dualizmust mutat. A fotonokhoz

$$p = h/\lambda \quad \text{impulzus, illetve} \quad \lambda = h/p$$

hullámhossz rendelhető. Mindez arra utal, hogy bármely részecskekéhez a $\lambda = h/p$ szerinti ún. de Broglie-féle hullámhossz rendelhető. Minden részecskére fenáll a hullám-részecske dualizmus, vagyis magatartásuk teljes leírásához éppúgy szükséges a részecske-, mint a hullám-modell.

Az U gyorsító feszültségen áthaladó elektronra teljesül az

$$mv^2/2 = eU \quad \text{összefüggés, amelyből}$$

$$v = \sqrt{2eU/m}, \quad \text{és ennek felhasználásával}$$

$$\lambda = h/mv = h/\sqrt{2emU}.$$

Ezt támasztják alá az elektronokkal végzett interferenciakísérletek is.

A részecskékhez rendelt hullám amplitudónégyzete mutatja a részecskék helyi eloszlását.

A részecskék statisztikus törvényeket követnek. Ez azt jelenti, hogy az egyes részecskék magatartása nem mondható meg előre, de az egyforma részecskék sokaságának viselkedése pontosan megjósolható. A statisztikus törvények jellegének értelmezéséhez egy, a Galton-deszkának megfelelő elrendezésű kísérletet - kevés, illetve sok golyóval - javasol a könyv szerzője.

A nagy számok törvénye szerint az azonos egyedi kísérletek igen sokszori megismétlésekor minden e_i eredmény meghatározott relatív gyakorisággal lép fel, amelyet az adott eredmény P_i valószínűségével jellemezünk. Fennáll a

$$P_i = n_i/N, \quad \text{a} \quad 0 \leq P_i \leq 1 \quad \text{és} \quad \sum P_i = 1$$

reláció, ahol n_i az e_i eredmény bekövetkezéseinek a száma, N pedig az elvégzett kísérletek száma.

A $dP = \Psi^2 dV$, ahol DP annak a valószínűsége, hogy a részecskét a dV térfogatelemben megtaláljuk. A

$$\Psi^2 = dP/dV$$

tehát a valószínűségi sűrűséget jelenti. A részecskékhez

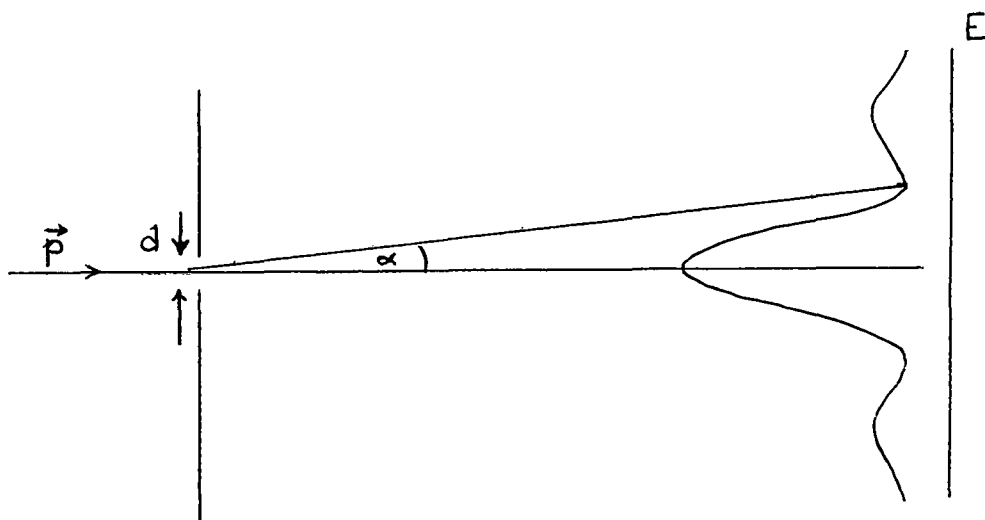
rendelt hullámokat mint valószínűségi hullámokat értelmezzük. A valószínűségi hullám amplitudójának négyzete - a valószínűségi sűrűség - azonos részecskék sokasága esetén megadja a részecskék helyi eloszlását.

A makroszkópikus részecskéknél nem figyelhető meg a hullámtulajdonságok, mert a hozzájuk rendelhető hullámhosszak hallatlanul kicsinyek.

Az elektron hullámtermészete alapján nyílik lehetőség az elektronmikroszkóp megalkotására. Itt a fénymikroszkóp lencsési helyett elektromos, illetve mágneses "lencsék" alkalmazandók. Az elektronhullám hullámhossza

$$\lambda = h/p = h/\sqrt{2mE_{\text{kin}}}.$$

Az x-tengely irányában mozgó, azonos $\vec{p} / p_x; 0; 0/$ impulzusú részecskéket egy résen bocsátunk át. /III.1. ábra/



III.1. ábra Részecskék interferenciája résen

De Broglie feltevése szerint

$$p = h/\lambda.$$

Ha a részecske áthalad a résen, tudjuk, hogy ebben a pillanatban a hely y koordinátája $y = y_m + \Delta y$, ahol $\Delta y = d/2$. A résen áthaladó részecskék y irányú impulzuskomponenséről

csak annyit mondhatunk, hogy túlnyomórészt

$$p_y = 0 \pm \Delta p_y$$

impulzushatározatlansággal adhatók meg, amelyet az az szög határoz meg, amelynél az első amplitudó-zérushely megjelenik az ernyőn felfogható interferenciaképen.

$$\sin \alpha = \lambda/d \approx \Delta p_y/p_x,$$

ahonnan
$$\Delta p_y = p_x \lambda/d = \lambda h/d\lambda = h/2 \Delta y.$$

Ebből
$$\Delta p_y \Delta y \approx h/2$$

adódik, ahol a $h/2$ bizonytalansági tényező, a legkisebb bizonytalanságok szorzata.

Ha egy részecske helyének abszcisszáját mikroszkóppal kívánjuk meghatározni, akkor a megvilágításra használt fotonnal való kölcsönhatás /kismértékben/ megváltoztatja az abszcissza értékét. A közölt levezetés végeredménye, a

$$\Delta x \Delta p = h/2\pi = \hbar$$

un. Heisenberg-féle határozatlansági reláció. Ez az összefüggés a fizika minden területén érvényes. A makroszkópikus testekre vonatkozó méréseknél az adott mérés pontossága a bizonytalansági reláció által megszabott határt nem érheti el, így ezekben a méréseknél a mérési pontosságot csak a mérési módszerek elégtelenségének tulajdoníthatjuk.

A korlátozott tartózkodási területű részecskéknek állandóan van bizonyos mozgási energiájuk. Ez az un. nullpontenergia, amely a hőmérséklettel nincs kapcsolatban, és annál nagyobb, minél kisebb a részecske tartózkodási területe.

A kötött részecskék mozgási energiája nem lehet zérus.

A két, egymástól d távolságra lévő szilárd fal közé zárt részecskékhez rendelhető valószínűségi állóhullámok teljesen hasonlóak egy húrból kialakuló állóhullámokhoz. A részecske energiájának lehető legkisebb értéke az un. nullpontenergia.

$$E_1 = h^2/8md^2.$$

Ez analogonja a húr alaprezgésének.

Általában

$$E_n = h \cdot n^2 / 8md^2,$$

ahol az n egész számot, kvantumszámmak nevezzük.

A $dP = \Psi_1^2 dx$ összefüggés alapján a falaktól $d/2$ távolságra

$$\Psi_0^2 = 2/d$$

adódik $dP = 1$ és $dx = d/2$ felhasználásával/.

A kötött részecskék energiája mindig kvantált, míg a szabad részecskék energiája folytonosan változhat.

A H-atom elektronjának potenciális energiája az

$$E_p = -eU = -e^2 / 4\pi\epsilon_0 r$$

összefüggés szerint számolható. Az elektron mozgástartománya korlátozott, így mozgási energiája és impulzusa sem lehet 0. A mag és az elektron távolságát $\Delta r = r$ -nek véve, és kihasználva, hogy az impulzus $p = 0 + \Delta p = \Delta p$ tartományon belül van, a hely és az impulzus bizonytalanságának szorzata legalább

$$rp = h/2\pi,$$

ahonnan $p = h/2r\pi$ alapján a kinetikus energia

$$E_k = p^2/2m_e = h^2/8\pi^2 m_e r^2.$$

A mozgási energia tehát nem a mag körüli keringésből, hanem a tartózkodási tartomány korlátozottságából származik!

Az elektron összes energiája így:

$$E = E_k + E_p = h^2/8\pi^2 m_e r^2 - e^2/4\pi\epsilon_0 r.$$

Ennek minimuma $r_1 = \frac{h^2}{\pi e^2 m_e} = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ -nél van. Ez a H-atom sugara. Az alapszint energiája $E_1 = -e^4 m_e / 8h^2 \epsilon_0^2 = -2,18 \text{ aJ}$.

Az alapállapot gömbszimmetrikus. A hozzá tartozó főkvantumszám $n = 1$. A csomók száma $/n - 1 = 0$.

Az elektron impulzusa a

$$p = mv = \sqrt{2m^2 v^2/2} = \sqrt{2mE_k},$$

a hullámhossza pedig a

$$\lambda = h/p = h/\sqrt{2mE - E_p}$$

összefüggés szerint adódik. Alapállapotban

$$p_1 = h/2r_1\pi, \quad \text{illetve} \quad \lambda_1 = h/p_1 = 2r_1\pi.$$

Általában

$$\lambda_n = 2\pi r_n/n \quad \text{és} \quad p_n = hn/2\pi r_n,$$

ahol $r_n = r_1 n^2$. Az n főkvantumszámhoz tartozó energia

$$E_n = E_1/n^2$$

A H-atomban az n főkvantumszámhoz n^2 különböző elektronállapot tartozik.

A H-atom alapállapota stacionárius állapot, így az atom korlátlan ideig maradhat ebben az állapotban anélkül, hogy energiát sugározná. Ez az atommodell nincs ellentmondásban az elektrodinamika törvényeivel. Azok a hatások, amelyek nem tudják az elektront magasabb energiaszintre gerjesztetni, az atom energia-állapotát nem változtathatják meg.

A különböző atomok elektronburkának felépítéséhez definiálni kell a mellék-, a mágneses- és a spinkvantumszámot, továbbá a Pauli-elvet is ismertetni kell.

A lézersugárzással kapcsolatos alapvető tudnivalók kiegészítő anyagként szerepelnek.

Az atommagfizikában az atommagok felépítéséről, az erős kölcsönhatásról, a magreakciókról, a tömegdefektus és a kötési energia kapcsolatáról, a radioaktivitásról, annak az alagut-effektussal történő magyarázatáról, a maghasadásról, a magfúzióról és a radioaktív izotópok, valamint a magenergia felhasználásáról esik szó. A hidrogénbomba és a fúziós reaktorral kapcsolatos problémák kiegészítő anyagként szerepelnek.

A kémiai kötések közül a kovalens kötés kvantummechanikai értelmezése szerepel részletesen, míg az ionos kötés, a hibridpályák kialakulása és a Van der Waals-kötés kiegészítő anyag.

Amíg a kötetlen atomban nagyon éles energianívók vannak, addig a kristályokban viszonylag széles energiasávok jönnek létre. Egy N atomból álló kristályban az egyes stacionárius állapotok energiaszintjei egymáshoz igen közeli N részre hasadnak fel. Ezek között vannak kötő és lazító állapotok. A kristályok lehetséges energiaszintjeinek ábrázolására az ún. sávmodellt használják.

Csak azok az elektronok vehetnek részt az elektromos vezetésben, amelyek nem teljesen betöltött sávban vannak.

Félvezetőknel a valenciásáv és a vezetési sáv között viszonylag keskeny tiltott sáv található. A hőmérséklet növekedésével nő a vezetési sávba gerjesztett elektronok száma, így a félvezető egyre jobban vezeti az elektromos áramot.

Az elektronok mozgását a nagy számú, teljesen szabályszerűen elhelyezkedő akadályok /a rácspontokban levő atomok/ nem gátolják. Bár minden egyes /igen kis méretű/ akadály gömb alakú szóráshullámot eredményez, az ezek szuperpozíciójából kialakuló hullám gyakorlatilag megegyezik az eredeti hullámmal, tehát a hullám nem szóródik. A kristályrács minden szabálytalansága a kristályban mozgatott elektron szóródásához vezet, ezáltal az áramátjárta vezetőben a rendezetten mozgó elektronok mozgási energiájának bizonyos része a kristály építőköveinek rendezetlen mozgásává, vagyis hővé alakul. Ilyen szabálytalanságokat a kristály építőköveinek rezgései és a szennyezések okozhatnak. Ezek a szabálytalanságok okozzák tehát a kristályok elektromos ellenállását.

A fémes kötéssel kapcsolatos alapvető ismereteket kiegészítő anyagként tárgyalja a könyv.

A csillagokban végbemenő folyamatok megértése szempontjából tartja fontosnak a szerző, az elektrongázok nyomásának tárgyalását. A reális gázok elég magas hőmérsékleten és nem túl nagy sűrűség esetén az ideális gázokhoz hasonló viselkedést mutatnak. Az

$$\bar{E}_T = kT/2$$

/ k a Boltzmann-állandó/ transzlációs mozgásból származó

energia következtében fellépő

$$p_T = n\bar{E}_T^{2/3} = nkT = kTN/V$$

nyomás arányos a m^3 -enkénti n részecskeszámmal. Az un. nullpontnyomás a nullpontenergiából /Fermi-energia/ hasonlóan adódik:

$$p_F = n\bar{E}_F^{2/3}$$

Mivel a Fermi-energia

$$E \approx (0,05h^2/m)n^{2/3},$$

a nullpontnyomás

$$p_F \approx (0,034h^2/m)n^{5/3}.$$

Azok a gázok, amelyeknél a nullpontnyomás meghaladja a termikus nyomást, elfajult gázoknak nevezzük. Az elfajult gázban a hőmérsékletnek nincs jelentősége. Ilyen elfajult gáz a fémek elektrongáza is. Az elektrongáz - az elektronok igen kicsi tömege miatt - minden más gáznál erősebben elfajult.

A félvezetők sajátvezetése az elektron-lyuk párok keltésén alapszik. A félvezetők vezetőképességét azok megvilágításával is fokozhatjuk, hiszen már a látható fotonok energiája is elegendő lehet az elektronok gerjesztéséhez. Javítani lehet a vezetőképességet szennyezésekkel is. A donor, illetve akceptor atomokkal szennyezett félvezetők érintkezési felületén kialakuló kontaktpotenciál ad módot az egyenirányításra alkalmas kristálydiódák megalkotására.

Félvezető kristályokból készítik a feszültségstabilizálásra alkalmas Zener-diódákat, a fényerősségmérésre és különböző automatikákban felhasználható fotodiódákat, valamint a fény energiáját közvetlenül elektromos energiává átalakító napelemeket is.

Az egyenirányításra és áram-, feszültség-, illetve teljesítményerősítésre használatos laptranzisztorok működésének elvét a leggyakrabban használt közös emitterű kapcsolás

elemzésével érthetjük meg. Áramerősítésre a

$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

képletben szereplő $\beta \approx 50$ értéke szerint nyílik lehetőség.

A kristálydiódát majdnem olyan régóta ismerik és alkalmazzák, mint az elektroncsöveket, de akkoriban még hiánysak voltak a vele kapcsolatos elméleti ismeretek. A félvezetőtechnika szisztematikus fejlesztéséhez a kvantummechanika kialakulására volt szükség, amellyel magyarázhatóvá vált a szilárdtestek felépítése. A miniaturizálás kifejlesztésével, az integrált áramkörök előállításával nyílt lehetőség a kis méretű, de igen nagy teljesítményű számítógépek elkészítésére.

A XX. század első harmadában minden anyag felépítését három részecskére redukálták /proton, neutron, elektron/, később azonban további elemi részecskék váltak ismertté. Dirac az annihiláció jelenségéből a pozitron, Fermi a β -bomlás alapján a nueutrinó, Yukawa az erős kölcsönhatás felleléséből a mezonok létére következtetett. Ezeket az elemi részecskéket később sikerült is detektálni.

Az elemi részecskék nem mutatnak belső strukturát, vagyis nincsenek megkülönböztethető alkotórészeik.

A mikrorendszerek belső strukturáját bombázásokkal lehet vizsgálni. A bombázó részecske energiájának a kötési energiánál nagyobbak kell lennie. Ez akkor lehet, ha a de Broglie-féle hullámhossz kisebb a bombázott részecske méreténél. Ilyen nagy energiájú részecskék előállítására szolgálnak az un. részecskegyorsítók.

Az elemi részecskék közül a hadronok /proton, neutron, mezonok/ az erős kölcsönhatásnak vannak alávetve. A leptonok között nem léphet fel erős kölcsönhatás.

1963-ban G. Zweig és Gell-Mann egymástól függetlenül jutottak el a kvark-hipotézishez /az elnevezés Gell-Mann-tól származik/, amely szerint minden hadron összesen négyféle kvarkból építhető fel. A kvarkok töltése $\pm (1/3)e$, illetve $\pm (2/3)e$. Bár kvarkokat idáig nem sikerült detektálni, létezésüket aligha lehet kétségbevonni, mert velük jól magyaráz-

hatók a részecskék tulajdonságai. Lehetséges, hogy a kvar-
kok kimutatása eddig azért nem sikerült, mert a közöttük
fellépő kötés olyan erős, hogy az ennek felbontásához szük-
séges energiájú részecskéket még nem tudták gyorsítókkal
előállítani. Ezt támasztja alá az a feltételezés is, ami
szerint 1 proton 3 kvarkból épülne fel, de egy szabad kvark
tömege nagyobb lenne a proton tömegénél. Így a protonná va-
ló egyesüléskor fellépő tömegdefektus igen nagy volna.

A fizika egyik alapproblémája - az anyag utolsó építőkö-
vének kérdése és az ezek közötti kölcsönhatások értelmezése -
ma még nem megoldott.

Évtizedek óta célja a fizikusoknak egy olyan átfogó elmé-
let kifejlesztése, amellyel minden kölcsönhatás értelmezhe-
tő. Ez annak ellenére sem vált elérhetővé, hogy az adott kor
legjelentősebb fizikusai /mint pl. Einstein és Heisenberg/
fáradoztak a probléma megoldásán.

A tankönyv egyes fejezetei végén szereplő - változó nehé-
ségű - feladatok jelentősen hozzájárulhatnak az anyagrész
jobb megértéséhez. A könyv végén levő függelék tartalmazza
az igényesebb feladatokat. Talán egyetlen hiányossága a
könyvnek, hogy nincsenek benne laboratóriumi munkákra vonat-
kozó ajánlások.

A sok fénykép és a gazdag illusztrációs anyag a tárgyi
tartalmat szemléletessé teszi, ezáltal a könyv igen jó se-
gítséget nyújt az önálló tanuláshoz is.

A könyv a jelenkori tudomány és technika eredményeit a
17-18 éves korosztály számára megfelelő szinten közli, így
egyaránt használhatják igényesebb és kevésbé igényes tanu-
lók.

Az anyag feldolgozásában - a lehetőségek szerinti - mi-
nimális matematikai levezetés szerepel, ami nem haladja meg
az átlagos képességű középiskolásoktól elvárható szintű tu-
dást. /39/

IV. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTEST-FIZIKA KÖZÉPFOKU OKTATÁSA A SZOCIALISTA ORSZÁGOKBAN

Szovjetunió

A szovjet iskolarendszerben nem különül el élesen az általános iskola és a gimnázium, amit az osztályok folyamatos számozása is jelez. Tulajdonképpen 7 általános iskolai és 3 gimnáziumi évfolyamra lehet szétbontani az összesen 10 szintet.

A gimnáziumokban a mechanikai mozgások tárgyalásával kezdődik az alapok lerakása /VIII. osztály/, majd a termodinamika és a molekuláris fizika, illetve az elektromágneses jelenségek egy része következik /IX. osztály/. A különféle közegek elektromos vezetésének vizsgálatakor esik szó a félvezetőről. Ezek vezetőképessége a hőmérséklettel nő - ellentétben a fémes vezetőknél tapasztaltakkal. Ennek okát a Si-kristály szerkezetének vizsgálatával tárják fel. A p- és n- típusú szennyeződéses félvezetők vezetési mechanizmusát részletezve nyílik lehetőség a félvezető dióda, a termisztor és a fotoellenállás hatásmechanizmusának ismertetésére, valamint ezek előállításával kapcsolatos problémák megvilágítására.

A X. osztály anyagában szerepelnek a mechanikai rezgések, a mechanikai hullámok, az elektromágneses hullámok, külön a fénytán, amely geometriai- és hullámoptikára tagolódik, a relativitás - elméleti alapok, a hőmérsékleti sugárzás, a szinképek, a fénykvantumok fogalma, az atom felépítése, az atommagfizika, valamint az elemi részecskék. Az ismeretek összegezése a fizika - a világ megértésében és a társadalmi termelőerők fejlődésében játszott - szerepének tisztázásával történik.

A tankönyv végén felsorolt 10 laboratóriumi munka közül 9 fénytánal kapcsolatos kísérletet tartalmaz.

A kvantumfizika megszületésének és eredményeinek ismertetése a fény hatásaival foglalkozó fejezettel kezdődik.

A fénykvantumok létének igazolására a hőmérsékleti sugárzás tapasztalati törvényeit és a fényelektromos hatást említik. A fekete test sugárzási törvényeit először Planck értelmezte, feltételezve, hogy az energiakibocsátás $E = hf$ nagyságú energiaadagokban történik.

A cinklemezénél észlelt fényelektromos hatás megszűnik, ha üvegen keresztül bocsátunk fényt a lemezre. Ez arra utal, hogy a kilépő fotoelektronokat az üveg által elnyelt ultraibolya sugarak váltják ki. A fotoáram bizonyos U_z ellenfeszültségnél megszűnik. Ez a feszültségérték független a sugárzó fény intenzitásától. A fényelektromos hatás magyarázata kvantumelmélettel lehetséges. A fotoelektronokat kiváltó energiára nézve

$$hf = A + mv_{\max}^2/2,$$

ahol "A" az elektron leszakításához szükséges munka. A kilépő elektron maximális sebessége tehát csak a fény f frekvenciájától és az anyagi minőségre jellemző "A" kilépési munkától függ. Elektronokat tehát csak egy $f_{\min} = A/h$ -nél nagyobb frekvenciájú sugárzás válthat ki.

A fény kettős természetű, hullám- és részecsketulajdonságú, így az ember nem adhat szemléletes képet róla. Megjegyzendő, hogy később az elektron duális természete is igazolást nyert, de ennek részletezése túllép a középiskolás fizikaanyag keretein.

A fényelektromos hatás felhasználható a hangosfilmnél, az automata gépsoroknál, a méretellenőrzésnél és a közvilágítás automatizálásában. Feldolgozandó a fotocella, a fotorelé működési elve és néhány alkalmazása. A fotoellenállás és a fényelem tulajdonságait is meg kell említeni.

A fény nyomást fejt ki az őt elnyelő vagy visszaverő felületekre. Ezt méréssel először Lebedyev támasztotta alá. A váltakozó elektromos térerősség hatására a töltött részecskék rezgőmozgást végeznek, a változó mágneses mezőben mozgó elektromosan töltött részecskékre ható Lorentz-erő pedig a fény terjedési irányában tolja a felületet. A jelenség úgy is elképzelhető, hogy a felületbe csapódó "foton-golyók"

lökik haladási irányuknak megfelelően az elnyelő vagy visszaverő közeget.

A fény vegyi hatása nyilvánul meg a textiliák, színes fényképek kifakulásában, a fotoszintézisban, és ezt használják fel a fényképészetben is. Röviden a felvételek készítésének folyamata is le van írva, a hívással, fixálással együtt. Infravörös sugarakkal is lehet fényképezni.

Az atommodellek közül elsőként Thomson elképzelése szerepel, majd az ezt cáfoló Rutherford-féle szórási kísérlet elemzése következik. Az energiamegmaradás törvényét felhasználva a

$$q_{\alpha}q/4\pi\epsilon_0 R = m_{\alpha}v_{\alpha}^2 / 2$$

egyenletből /ahol q_{α} , m_{α} , v_{α} az α -részecske töltése, tömege és sebessége, q az atommag töltése, R pedig az ütköző részecskék tömegközéppontjai közötti távolság/ az atommag sugarára kb. 10^{-12} cm adódik. A kísérletek alapján Rutherford megalkotta az atom planetáris modelljét. Ez azonban Maxwell törvényei szerint nem lehet stabil képződmény.

A klasszikus értelmezésből származó nehézségeket küszöbölte ki Bohr, a modelljének alapját képező posztulátumokkal. Az atomi rendszer csak stacionárius állapotokban létezhet, amelyekben nem sugároz és minden állapothoz egy meghatározott E_n energia tartozik. Fénysugárzás akkor következik be, ha az atom egy nagyobb E_k energiájú állapotból kisebb E_n energiájú állapotba megy. Az emittált fény frekvenciáját a

$$hf_{kn} = E_k - E_n$$

összefüggés határozza meg.

A H-atom Bohr-modelljében - köralakú pályát feltételezve,

$$E_{\text{pot}} = -e^2/4\pi\epsilon_0 r$$

alapján - a teljes energia

$$E = mv^2/2 - e^2/4\pi\epsilon_0 r.$$

A v^2/r nagyságú centripetális gyorsulást a Coulomb-erő okozza, ezért

$$F_{cp} = mv^2/r = e^2/4\pi\epsilon_0 r^2,$$

ahonnan

$$mv^2 r = e^2/4\pi\epsilon_0,$$

így a teljes energia

$$E = - e^2/8\pi\epsilon_0 r.$$

Az energia kvantáltságából a pályasugár kvantáltsága következik. Ha az elektron tömege, sebessége és pályájának sugarára állandó, akkor ezek szorzata is az,

$$mvr = \text{áll.} = n\hbar.$$

Ez a kvantálási szabály, amely felhasználásával

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \hbar^2 n^2 / me^2$$

és

$$E_n = me^4 / 4\pi\epsilon_0 2\hbar n^2$$

adódik. A fény kisugárzására nézve

$$f_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{me^4}{4\pi\hbar} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right),$$

ahol $n = 1, 2, 3, \dots, n < k$, R állandó érték. A H szinképében található Balmer-sorozatnál $E_k \rightarrow E_2 / k = 3, 4, 5, 6/$ átmenetek fordulnak elő, ennek megfelelően a kisugárzott fény frekvenciái az

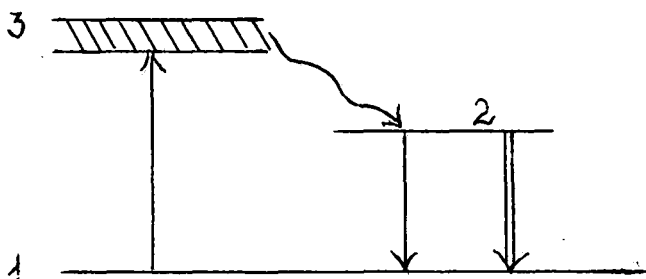
$$f = R(1/2^2 - 1/k^2)$$

egyenlet alapján számíthatók.

A stacionárius állapotok létét Franck és Hertz igazolták kísérletileg. A kísérlet a kapcsolási rajz és a hozzá tartozó feszültség-áram diagram alapján elemezhető.

A Bohr-elmélet sikeresen magyarázza a H-atommal kapcsolatos jelenségeket, de már a He-nál és az ennél bonyolultabb atomoknál - az elmélet felemás voltából adódóan - nem alkalmazható.

A lézerek működésének vizsgálata az indukált sugárzás elemzésével kezdődik. Az indukált sugarak frekvenciában, fázisban, polarizációban megegyeznek a gerjesztő sugarakkal. A lézer a legerősebb fényforrás. A sugarak monokromatikusak és széttartásuk kicsi. A gerjesztés fénnel történik, és a lézersugárzás értelmezésénél három-energiaszintes modellt használnak. A $3 \rightarrow 2$ átmenet a spontán, a $2 \rightarrow 1$ átmenet pedig az indukált sugárzásnak felel meg. /IV.1. ábra/



IV.1. ábra

Termséma a lézersugárzás értelmezéséhez

Csak a rubinlézer felépítésének ábrája szerepel, de utalán van más típusú lézerekre is. A lézersugarak párologtatásra, hegesztésre, holográfiára és fénylokátorhoz használhatók fel.

A magfizika feldolgozása az USA-beli oktatásnál elmondottakhoz hasonló felépítésű, de az anyag tárgyalása sokkal részletesebb, mint azt az ottani kiegészítő témakörön belül tapasztalhatjuk. Ezen kívül a Szovjetunióban kiemelten foglalkoznak az egyes jelenségek gyakorlati hasznosításával, illetve a hasznosításnál fellépő problémákkal.

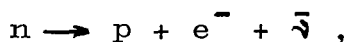
A Demokritosz által feltételezett atom összetettnek bizonyult, ugyanígy az atommag is. Ez arra int, hogy az elemi /szubatomi/ részecskéket inkább alapvetőnek, magától értetődőnek kell tekintenünk, mint stabilnak vagy megváltoztathatatatlannak. Az elemi részecskék közül csak az elektron, a proton, a foton és a neutrínó maradna stabil, ha egyedül létezne, de létezik a pozitron és az antiproton, a fotont pedig elnyelhetik a különböző testek. A részecskékre jellem-

zó, hogy megfelelő kölcsönhatás esetén más részecskévé alakulnak át, s kölcsönös átalakulásaik létezésük legfőbb vonását jelentik. Az elemi részecskéket ma még nem tudjuk tovább osztani, tulajdonságaik mégis kimerithetetlenül sokoldalúak. Ha nagy energiájú elemi részecskék ütköznek, ezek nem esnek szét, hanem új, ismert elemi részecskék keletkeznek belőlük.

Dirac elméleti uton megjósolta a pozitron létezését, később valóban készültek is a párkeltést és az annihilációt bemutató ködkamra-felvételek. Ma már tudjuk, hogy minden részecskének van antirészecskéje is. A Szovjetunióban 1971-ben sikerült antihéliumot előállítani.

Mivel a nyugalmi energia a világmindenség leghatalmasabb és legkoncentráltabb energiaforrása, felvetődhet eme "fűtőanyag" hasznosításának a lehetősége. Ma még nehéz lenne megmondani, hogy ezt a problémát az emberiség képes lesz-e valaha is megoldani.

Meglepő, hogy a β -bomláskor az egységes radioaktív anyag magjaiból különböző energiájú elektronok lépnek ki, pedig a keletkezett magok kötési energiája megegyezik, az eredeti magok kötési energiájához hasonlóan. Pauli - az energiamegmaradás törvénye érvényességének feltételezésével - arra a következtetésre jutott, hogy az energiakülönbséget valamilyen megfoghatatlan részecske viszi magával, amely igen gyenge kölcsönhatásban van a többi anyaggal. E részecskét /neutrínó/ később sikerült detektálni. A neutrínó nyugalmi tömege 0, ebből következik, hogy amennyiben létezik, úgy 300.000 km/s sebességgel mozog. Szabad neutron bomlása során antineutrínó keletkezik:



mint azt 1956-ban az USA-ban ki is mutatták.

Napjainkban 35 viszonylag stabil élettartamú részecske ismeretes, míg a rövid élettartamú, ún. rezonanciák közül 200 féléőről van tudomásunk. Tájékoztatóképpen a foton, a leptonok, a mezonok és a barionok, valamint antirészecské-

jük jele, tömege, elektromos töltése és élettartama táblázatba van foglalva.

Az elemi részecskék nagy száma miatt javasolták az un. kvark-modellt, mellyel 3 kvarkból és 3 antikvarkból építhetők fel az elemi részecskék. A p-kvark töltése $2/3e$, az n- és a λ -kvarké $-1/3e$. Így pl. a proton 2 p-kvarkból és 1 n-kvarkból építhető fel. Kvarkokat kísérleti úton még nem észleltek.

A világ egy egységes egésznek a sokféle megnyilvánulási formája. A fizika feladata, hogy a természet törvényeit feltárja, és ezek segítségével a konkrét jelenségeket megmagyarázza.

A mechanikai világkép a newtoni fizikán alapult. Eszerint léteznek elsődleges - kemény, törhetetlen - részecskék, melyek főképp tömegben különböznek. A részecskék mozgásának eltérő jellegéből származik a természet minőségbeli sokfélesége. A részecskék belső lényege csak másodrendű. Ez a feldogás alapján az elektromos jelenségeket nem lehet megmagyarázni. Az elektromágneses világképben a távolhatást felváltja közelhatás személete. E világkép szerint minden jelenséget az elektromágneses hatások törvényei vezérelnek. Ez az elmélet a speciális relativitáselmélet megalkotását követően jutott a csúcspontra, az új tér-idő elmélet és a relativisztikus mozgásegyenletek alapján. Ez sem bizonyult tökéletesnek, mert az elemi részecskék mozgásegyenletei és a gravitációs kölcsönhatás törvénye nem vezethető le belőle. Egyetlen mozgástörvény és egyetlen erőfajta sem alkalmas egyedül a természeti folyamatok sokrétűségének megmagyarázására.

Nincs egyetlen olyan építőkö, amelyből a világmindenség felépülhetne, de a Föld és a csillagok azonos atomokból állnak.

Az atommag és az elektronok közötti kölcsönhatást az elektromos tér közvetíti, melynek kvantumai a fotonok, a protonok és a neutronok kölcsönhatását a nukleáris tér, ennek a π -mezonok a kvantumai. A különböző elemi részecskék az

anyag létezésének különböző konkrét alakjai, melyek egymásba átalakulhatnak.

A mai fizikai világkép szerint létezik gravitációs, elektromágneses, nukleáris és gyenge kölcsönhatás. Ez utóbbiak a részecskék átalakulásakor lépnek fel.

A klasszikus nézetek hiányosságainak feltárásával és a kvantumtulajdonságok felfedezésével kezdett kialakulni a kvantummechanika. Ma már nyilvánvaló, hogy az anyag minden sajátága a korpuszkuális és hullámtulajdonságok kettőssége. Ezen tulajdonságokat statisztikus törvényekkel lehet egységesen leírni.

Tisztázásra váró kérdés azonban, hogy miért van olyan sokféle elemi részecske, és hogy miért vannak e részecskéknek meghatározott tömegük, töltésük és egyéb jellemző tulajdonságaik.

A tudományos-műszaki forradalomban, - amely kb. 25 éve tart - a tudomány közvetlen termelőerővé vált. A termelés megújítása, tökéletesítése a kommunizmus anyagi-műszaki bázisa.

A szervesanyagok tüzelése károsítja az ipart és szennyezi a környezetet, az atomenergia békés felhasználása viszont gyakorlatilag ártalmatlan. Az energiagondok távlati megoldása azonban csak a termonukleáris erőművektől remélhető.

A modern fizikának meghatározó szerepe van a számítástechnikában és a lézertechnikában is. /30/

A 10. osztályos fakultatív fizika a rezgések és a hullámok tárgyalása után kezd hozzá a kvantumok és részecskék című fejezet részletezéséhez.

Az anyagrész felépítésének rövid bemutatásában elsősorban azokra a fontosabb mennyiségi kapcsolatokra és kísérletekre térek ki, amelyek az alapképzéshez képest többletet jelentenek.

Az abszolút fekete test sugárzásának vizsgálatánál szerepel a Stefan-Boltzmann törvény:

$$E = \sigma T^4,$$

ahol E a sugárzás teljes energiája, T az abszolút hőmérséklet, a $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J/m}^2\text{K}^4$ arányossági tényező, és a

Wien-féle eltolódási törvény:

$$\lambda_{\max} T = \text{konstans},$$

amely szerint a maximális emisszióképességhez tartozó hullámhossz fordítottan arányos az abszolút hőmérséklettel. Adott az a grafikon is, amely különböző hőmérsékleteknél a sugárzás energiáját ábrázolja a hullámhossz függvényében.

A fényelektromos hatás mechanizmusa is csak az elektromágneses sugárzás kvantumosságának feltételezésével értelmezhető. A fotoelektronok maximális kinetikus energiája

$$E_k = hf - A,$$

ahol A a kilépési munka. Fotoelektronokat csak az $f_0 = A/h$ -nál nagyobb frekvenciájú, vagy a $\lambda_0 = c/f_0 = hc/A$ -nál kisebb hullámhosszú sugárzás válthat ki. Az

$$\varepsilon = hf$$

fénykvantumokat Einstein fotonnak nevezte el. A foton

$$m = hf/c^2$$

tömeget képvisel, impulzusa

$$p = hf/c.$$

Ütközzön egy ilyen foton az $E = m_0 c^2$ nyugalmi energiájú és $p = 0$ impulzusú szabad elektronnal /Compton-effektus/. A foton tovahaladásának iránya φ szöget, az elektron mozgásiránya pedig Θ szöget zárjon be a foton eredeti mozgásirányával. A foton energiája ez ütközés után hf' , az elektroné mc^2 . A kölcsönhatásra felírva az energiamegmaradás, illetve az impulzusmegmaradás törvényét, a következő egyenleteket kapjuk:

$$hf + m_0 c^2 = hf' + mc^2 \text{ illetve } hf/c = hf'/c + mv \quad \text{relativ}$$

Ezen egyenletekből számítható a szórásnál fellépő

$$\lambda' - \lambda = h(1 - \cos\varphi)/m_0 c,$$

hullámhosszváltozás, ahol a $h/m_0 c$ az ún. Compton-hullámhossz, értéke $2,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$. A szórt foton és az elektron egyidejűleg repülnek szét, amit Bothe elektron- és foton-számlálóval kimutatott.

Az optikai kvantumgenerátorok felfedezése és működési elvének tárgyalása igen részletes annak ellenére, hogy a precíz matematikai leírás a gimnáziumban megvalósíthatatlan.

Egyedül az $f_{21} = E_2 - E_1$ képlettel dolgoznak.

Az elektromágneses spektrumról és a spektrálanalizisről szóló fejezet tárgyalása is kvalitatív, de igen alapos.

Az elemi részecskék és egymásba való átalakulásaik részletezésekor a kvarkokról is szó esik.

Ezt a részecskék hullámtulajdonságainak elemzése követi.

A

$$p = mc \quad \text{illetve} \quad E = mc^2 = hf$$

összefüggésekből adódik a

$$\lambda = h/mv$$

de Broglie-féle hullámhossz. Ez alapján az atom egy kvantum pályájára fenn kell, hogy álljon az

$$n\lambda = 2\pi \cdot r_n$$

összefüggés, amelyből közvetlenül adódik a Bohr-féle

$$mrv = nh/2\pi$$

posztulátum.

Végül a kitűzött feladatok megoldása és a laboratóriumi gyakorlatok anyaga található. /19/

A tananyag feldolgozása igen részletes. A lehetőségekhez képest roppant kevés a matematikai levezetés, inkább a jelenségek értelmezésére és gyakorlati hasznosítására helyezik a hangsúlyt. A fakultatív fizikát tanulók természetesen több matematikát használnak, hiszen így a fizikai lényeg is mélyebben érthető meg.

Feltételezhető az is, hogy ezek a diákok a matematikában is legalább annyira járatosak, hogy az adódó matematikai nehézségek ne vonják el a figyelmet a fizikai tartalomról.

Mivel az egyes fejezetek kidolgozása aprólékos, néhány természettudományos műveltség szempontjából ma már alapvetően fontos - rész kimaradt a tananyagból. Ilyen pl. a

szilárdtestfizika. Az anyaghullámok tárgyalására csak a fakultatív órákon kerülhet sor, és ott is csak igen vázlatos formában, pedig az ezek létéből következő dualitás az anyag minden megnyilvánulási formájára érvényes. Így nehezebb felfedezni a mikrorészecskék jellemzésére hivatott kvantummechanika és a makroszkópikus testekre alkalmazható klasszikus fizika kapcsolatát.

Csehszlovákia

A szlovák általános tantervü gimnáziumi osztályok számára kijelölt tananyagban csak - az addig érvényben lévő tankönyvhöz írt - kiegészítő tankönyv megjelentetését /1977./ követően került bizonyos kvantummechanikai ismeretek feldolgozása. A könyv három nagy fejezetre tagolódik:

- I. A speciális relativitás elmélete - alapismeretek
- II. Az atomhéj fizikája
- III. Az atommag fizikája

Az I. fejezetben, a speciális relativitás elmélete és relativisztikus dinamika igen részletes, matematikai leírása után szerepel a hullám-részecske dualitás.

A sugárzás hullámjellege a visszaverődés, törés, interferencia, elhajlás és polarizáció jelenségeinél, míg korpuszkula-jellege a kisugárzásnál és elnyelésnél figyelhető meg. A sugárzás fotonjának hf energiája és $m_0 = 0$ nyugalmi tömege van. Az

$$m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

képlet alapján a fotonok csak c sebességgel terjedhetnek. Az $n > 1$ törésmutatójú közegben elnyelődnek és újra kisugárzódnak, emiatt átlagos terjedési sebességük csökken.

A fényelektromos jelenség és a Compton-effektus isakorpuszkuláris jellegét bizonyítja. A fotonnak

$$p = hf/c = h/\lambda$$

impulzusa és

$$m = hf/c^2$$

tömege van.

A mozgó részecskékhez L. de Broglie

$$\lambda = h/mv$$

hullámhosszat rendelt. A részecskékhez rendelt hullám valószínűségi jellegű. Davisson és Germer /1927-ben/ elektroninterferenciát produkált, ami de Broglie feltevését igazolta. Az elektronhoz, homogén elektromos térben gyorsítva,

U feszültség hatására

$$\lambda = (h/m_0 v) \sqrt{1-v^2/c^2}$$

hullámhossz rendelhető. A Δx szélességű réshez érkező $\vec{p} = m\vec{v}$ impulzusú elektronnak, hogy az első minimum helyére is elérkezessen, $\vec{p}$ -re merőleges $\Delta \vec{p}_x$ impulzusának is kell lennie. Az első minimumra adódó

$$\sin \alpha_1 = \lambda / \Delta x \approx \Delta p_x / p$$

relációból

$$\Delta p_x \Delta x \approx h$$

adódik, a mellékminimumokat is figyelembe véve pedig

$$\dots \quad h \leq \Delta p_x \Delta x,$$

ami a Heisenberg-féle határozatlansági reláció.

A hangtani Doppler-effektus matematikai elemzése után a fénytani Doppler-effektus levezetése is szerepel. A kapott

$$f' = f \sqrt{(c+v)/(c-v)}$$

képlet alapján közeledésnél az ibolya felé, távolodáskor a vörös felé tolódik el a kibocsátott fény frekvenciája. Ha a fény terjedési iránya v -vel α -szöget zár be:

$$f' = f (1 - v \cos \alpha / c) / \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

A Doppler-effektusra érvényes relativisztikus összefüggést kísérletileg 1938-ban igazolták, alacsony nyomású hidrogén-gázzal töltött kisülési csőben keletkezett gyors ionok mozgásának vizsgálatával.

A mozgó töltések mágneses teret keltenek. A kialakulás okait a Maxwell-elmélet nem magyarázza kielégítően. A mágnesesség úgy értelmezhető, mint az elektromos jelenségek relativisztikus effektusa. Az

$$F = QvB$$

Lorentz-törvény a Coulomb-törvényből és a speciális relativitás elméletéből közvetlenül következik.

Leukipposz és Demokritosz atom-elképzelése óta sokat változott az atomokról alkotott kép. Rutherford szórási kísér-

letei alapján az atommag átmérőjére 10^{-14} - 10^{-15} m adódik. A Rutherford-féle bolygórendszer-modell azonban nem lehet stabilis. A nehézségeket Bohr küszöbölte ki, - a klasszikus fizikának ellentmondó, de a valósággal jobban egyező eredményekre vezető - posztulátumok megadásával. A posztulátumokhoz adott az

$$m_e v r = n h / 2\pi$$

Bohr-féle kvantumfeltétel és az

$$f = (E_n - E_s) / h$$

Bohr-féle frekvenciafeltétel. A stacionárius pályák kísérleti bizonyítékának tekinthető a Franck-Hertz-kísérlet, melynek kapcsolási rajza és a hozzá tartozó U-I diagram is szerepel.

A Bohr-feltétel figyelembevételével a centripetális és a Coulomb-féle erő egyenlőségéből adódik a

$$v_n = e^2 / Z \epsilon_0 h n$$

és az

$$r_n = h^2 n^2 / \pi m_e e^2 \quad \dots f.$$

összefüggés, ahol $n = 1, 2, 3 \dots$ az elektronpálya sorszámára utal. Az atommag-elektron rendszer energiájára az

$$E_n = - e^2 / 8\pi \epsilon_0 r_n$$

értéket kapjuk, ahova r_n -t behelyettesítve nyerjük a H-atom energiatermjeit. Ezek alapján magyarázható a H-atom vonalas szinképe. A sugárzás frekvenciája az

$$f = (E_s - E_n) / h$$

képletből számítható, de az atomfizikában gyakrabban számolnak a $\sigma = 1/\lambda$ hullámszámmal. Erre

$$\sigma = m e^4 / 8 h^3 \epsilon_0^2 c (1/n^2 - 1/s^2) = R_H (1/n^2 - 1/s^2)$$

adódik, ahol R_H a H-atomra vonatkozó Rydberg-féle állandó, melynek értéke $1,097373 \cdot 10^7$ 1/m, n és s pozitív egész számok.

A H-atomnál a számítás a tapasztalattal jó egyezést mutat. Bonyolultabb elemeknél már a

$$\epsilon \approx Z^2 R_H (1/n^2 - 1/s^2)$$

érvényes.

Mivel a Bohr-féle atommodell sem kielégítő - a hiányosságok feltárása után - megalkották az atom ellipszismodelljét /Sommerfeld/. E modellel a H-atom szinképvonalainak finomszerkezete jól magyarázható. Az ellipszispálya alakját az 1 mellékkvantumszám jellemzi. A tömeg relativisztikus sebességfüggése miatt, mivel a sebesség a magtól való távolságtól függ, a nagytengely elfordul.

Az elektron - mag körüli mozgásának következtében - mágneses teret hoz létre, így külső mágneses tér hatására az elektron pályája elfordul. Ezt az elfordulást jellemzi az m mágneses kvantumszám. Az energia m-től is függ. A szinképvonalak azonban külső mágneses tér hiányában is felhasadnak, amit az elektronok ún. sajátimpulzusnyomatékával /spin/ magyarázhatunk.

A Pauli-elvet figyelembe véve, adott n főkvantumszámhoz

$$\sum_{\ell=0}^{n-1} 2(2\ell + 1) = 2n^2$$

számú elektronállapot tartozhat. /Itt ℓ a mellékkvantumszám./

L. de Broglie feltevése alapján az elektronhoz

$$\lambda = h/mv$$

hullámhossz tartozik. Ebből indult ki Schrödinger, mikor megalkotta a kvantumfizikában alapvető jelentőségű egyenletét. Ez magában foglalja a mikrorészecskek hullám- és részecskejellegét is. A mellék- és a mágneses kvantumszám az egyenlet megoldásából adódik. További előny, hogy az atom hullámmechanikai modelljében nincsenek kvantumugrások és posztulátumok sem szükségesek. Hiányosság viszont, hogy nem tartalmazza az elektron spinjét és a fellépő relativisztikus effektusokat sem veszi figyelembe. A Dirac-egyenletben már ezek is szerepelnek.

Az atomok külső behatásra /magas hőmérséklet, nagy feszültség, röntgensugárzás/ gerjesztődhetnek, illetve ionizálódhatnak. A spektrum vonalainak hullámhosszára a

$$\lambda = ch / (E_s - E_n)$$

összefüggés teljesül.

M. von Laue röntgensugarakat bocsátott át kristályon és interferenciát tapasztalt. Ezzel egyrészt a kristályrácsok létezését, másrészt a röntgensugarak hullámtermészetét igazolta. A röntgensugarak hullámhosszának meghatározását a kristálysíkokon való visszaverődés alapján lehet elvégezni. Az erősítés feltétele

$$2d \cdot \sin \vartheta = k\lambda ,$$

ahol d a kristálysíkok távolsága, ϑ a beeső fénysugárnak a kristálysíkkal bezárt szöge, a k pedig pozitív egész szám.

A röntgensugárzás két komponensből áll. Az un. fékezési sugárzás folytonos, míg a karakterisztikus sugárzás szinképe vonalas. Ennek értelmezése után következik a folyékony és szilárd anyagok spontán sugárzása mechanizmusának a vizsgálata /lumineszcencia/. A fejezet végén a lézersugarak tulajdonságainak és előállításának főbb kérdései továbbá a He-Ne lézer működési elvének és szerkezeti ábrájának az ismertetése szerepel.

Az atommagok felépítése, a nukleáris kölcsönhatás elemzése, a természetes és a mesterséges radioaktivitás - a radioaktív bomlási törvény levezetésével -, a maghasadás és a fúzió alapos tárgyalása után a 4. osztályos tanulmányokat a radionuklidok - atomreaktorban, illetve gyorsítókkal való - előállításának részletezése zárja.

A tankönyvben feltűnően sok matematikai levezetés és formula található. A jelenségek megértéséhez szükséges magyarázatok igen magas szintűek, és nagyfokú absztrakciós készséget követelnek meg, ezzel a feldolgozás módja inkább egyetemi szintű, mint középiskolásoknak való.

A középiskolában nem szerepel kristályfizika, illetve csak annyi, hogy a kristályok felépítése térbeli periodicitást mutat. Kristályhibákról és ezek mechanikai, illetve elektromos tulajdonságokra való hatásairól nem esik szó. /46./

Jugoszlávia

Jugoszláviában az általános iskolai képzés után két éves egységes középiskola következik azok számára, akik még nem választottak szakmát. Szakoktatáson való részvétellel ez megkerülhető.

Fizikát az általános iskola 7. és 8. osztályában, valamint a gimnázium I. és II. osztályában tanulnak a diákok. Az óraszám és a feldolgozandó tananyag tartományonként változik. A négy év alatt fizikára fordítandó órák száma 245 és 385 között mozog, így a Vajdaságban kötelező 300 óra /7. osztályban 76, 8-ban 96, I. és II. osztályban 64-64 óra/ átlagosnak mondható. A vajdasági oktatás elemzésével tehát hozzávetőlegesen helyes kép nyerhető az egész ország középiskolai fizikaoktatásáról.

A 7. osztályban mechanika, 8-ban elektromágneses és fénytani alapjelenségek szerepelnek. I-ben a megmaradási törvényeket, a hullámtant, a relativisztikus mechanikát tárgyalják, valamint a gravitációs, az elektromos és a mágneses térrel kapcsolatos problémákat dolgozzák fel. A II-os tankönyv az elektromágneses indukció, a váltakozó áram, az elektromágneses rezgések és hullámok után elemzi az elektromágneses sugárzás hullámtulajdonságait /interferencia, fényelhajlás, polarizáció/.

A testek hőmérsékleti sugárzásának vizsgálatakor kapott Kirchhoff-féle

$$e(\lambda, T) / a(\lambda, T) = \text{const}$$

törvényben - ahol $e(\lambda, T)$ az emisszióképesség, $a(\lambda, T)$ az abszorpcióképesség - szereplő állandó az abszolút fekete test emisszióképességével egyenlő, mivel ez minden ráeső sugarat elnyel, így a nevezőben szereplő abszorpcióképesség 1. A hőmérsékleti sugárzás klasszikus értelmezése az infravörös tartományon kielégítő volt, de nagyobb frekvenciákra alkalmazva az "ultraibolya katasztrófához" vezet. Az ellentmondást Planck úgy oldotta fel, hogy feltette a kisugárzott, illetve elnyelt energia kvantumosságát. Az f frekvenciájú sugárzásnál a sugárzó oszcillátor energiája

csak

$$E = hf$$

adagokban változhat. Az abszolút fekete test sugárzására vonatkozik a

$$\lambda_{\max} T = \text{áll.}$$

Wien-féle eltolódási törvény és az

$$E = \sigma T^4$$

Stefan-Boltzmann-törvény, ahol σ arányossági tényező.

Einstein a fény kvantumait fotonoknak nevezte, amelyekhez $m = hf/c^2$ tömeg, illetve $mc = hf/c$ mozgásmennyiség rendelhető. A fénynek tehát kettős természete van: egyrészt hullám-, másrészt korpuszkula-tulajdonságokkal rendelkezik.

A fényelektromos hatás csak a fény kvantumosságával magyarázható. A jelenséget leíró egyenlet:

$$hf = A + mv^2/2,$$

ahol "A" a kilépési munka. A fényelektromos hatás alapján működik a tv-ben, a filmvetítőkben, a robotokban, a számítógépekben és sok önműködő, távirányítású berendezésben is felhasználható fotocella.

De Broglie feltette, hogy nemcsak az elektromágneses sugárzás rendelkezik a fenti kettős természettel, hanem a dualitás az anyag egyetemes tulajdonsága. Minden m tömegű, v sebességgel mozgó részecskéhez

$$\lambda = h/mv = h/\sqrt{2mE_{\text{kin}}}$$

hullámhossz rendelhető. Davisson és Germer kimutatta az elektronok interferenciáját. A kísérlet eredményeként adódó hullámhossz jó egyezésben volt de Broglie feltevésével. Ez alapján vált lehetővé a milliószoros nagyítást biztosító elektronmikroszkóp megalkotása.

A kvantumfizika és a dialektika törvényei szerint a részecske állapota nem határozható meg abszolút pontossággal, hanem az impulzus, illetve a hely koordináta Δp , il-

letve Δx határozatlanságára a

$$\Delta x \Delta p = \hbar, / \hbar = h/2\pi /,$$

un. Heisenberg-féle határozatlansági reláció érvényes.

Az atomokról alkotott szemléletes képek közül a Rutherford-féle és a Bohr-féle atommodell szerepel, ez utóbbi a posztulátumokkal együtt. A diszkrét energiaszintek létét bizonyítja a Franck-Hertz-kísérlet, melynek leírását és értelmezését is tárgyalják. A gázok és fémgőzök atomjainak szinképe vonalas. A H-atom spektrumában található vonalak hullámhossza az

$$1/\lambda = R(1/n^2 - 1/k^2)$$

képlet alapján számítható, ahol R az un. Rydberg-féle állandó, n jelenti a végállapotbeli, k pedig a kezdőállapotbeli főkvantumszámot. Az $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ értékeihez tartozó vonalsorozatokot Lyman-, Balmer-, Paschen-, Brackett-, Pfund-, Hampfey-sorozatoknak nevezzük.

A gáztöltésű és a Coolidge-féle röntgensövek működésének tisztázása után esik szó a folytonos fékezési, és a vonalas karakterisztikus röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusáról. A röntgenső antikatódját alkotó elem rendszámának növekedésével az $1/\sqrt{\lambda R}$ mennyiség $/R$ a Rydberg-állandó/ lineáris kapcsolatban van: $1/\sqrt{\lambda R} = a + bZ$, ahol "a" és "b" állandó. Ez az un. Moseley-törvény. A fejezetet a lézersugarak és a kvantumgenerátorok általános jellemzése, továbbá a rubinlézer felépítésének és működésének, valamint a lézersugarak felhasználásának ismertetése zárja.

Az atommag összetételének, a természetes és mesterséges radioaktivitásnak, valamint az energiafelszabadulással járó nukleáris folyamatoknak a tárgyalása igen vázlatos, inkább csak /magyarázat nélküli/ tényközlésnek tekinthető.

Az elemi részecskék vizsgálatánál Dirac elméleti úton következtetett a pozitron létezésére, mely részecskét Anderson mutatta ki kísérletileg, Wilson-kamrával. A párkeltés $/\gamma \rightarrow \overset{0}{+1}e + \overset{0}{-1}e/$ és szétsugárzás $/\overset{0}{+1}e + \overset{0}{-1}e \rightarrow \gamma/$ folyamataira is érvényes az energia és a mozgásmennyiség megmaradásának törvénye.

Az igen nagy /10GeV - 100EeV/ energiájú kozmikus sugárzás két részre bontható. Az un. elsődleges sugárzást főként protonok alkotják, de benne az Ni-ig bezárólag minden elem magját kimutatták. Ennek eredetéről biztosat nem tudunk. E sugárzás által kiváltott másodlagos sugárzás lágy komponense elektron-positron párok kaszkádjai, míg a kemény komponens főleg μ -mezonokból áll.

Az

$$m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2} \text{ből}$$

adódó

$$m^2 c^4 - m^2 v^2 c^2 = m_0^2 c^4$$

összefüggés alapján

$$(mc^2)^2 = (mv)^2 c^2 + (m_0 c^2)^2,$$

vagyis

$$E^2 = pc^2 + m_0^2 c^4.$$

Ez azt jelenti, hogy az

$$E = \pm \sqrt{pc^2 + m_0^2 c^4}$$

energia negatív is lehet. $p = 0$ -ra $E = \pm m_0 c^2$. Az energia tehát

$$E \leq -m_0 c^2, \quad \text{vagy} \quad E \geq m_0 c^2 \quad \text{lehet.}$$

A $-m_0 c^2$; $m_0 c^2$ / tiltott sáv, de a megengedett tartományban is kvantált az energia. E gondolatmenet alapján Dirac arra következtetett, hogy minden részecskének a foton, a π^0 -mezon és a μ -mezon kivételével van antirészecskéje.

A nagyszámú elemi részecske létezését még elemibb valami létezésében kell keresni. Az "ujjonnan felfedezett" részecskék a kvarkok. Ez a kérdés még nincs teljesen tisztázva.

A ma ismert elemi részecskék négy csoportba sorolhatók: fotonok, leptonok, mezonok, barionok. A gravitációs tér kvantumaiként feltételezett gravitonok létét kísérletileg még nem sikerült kimutatni.

A szimmetria elve a természetben több területen érvényesül: Elemi részecskéknél a részecskék és antirészecskék léteiben nyilvánul meg. Az idő szimmetriája azt jelenti, hogy a fizikai jelenségek azonos feltételek mellett különböző időpontokban ugyanúgy mennek végbe, a tér szimmetriája szerint a fizikai jelenségek azonos feltételek mellett a tér különböző pontjaiban ugyanúgy mennek végbe. A pozitív és negatív elektromosság, a hullámok és részecskék, az egyszerű és összetett, a véges és végtelen, nem folytonos és folytonos is mind a természetben megnyilvánuló szimmetria bizonyítékai. A legfontosabb a tér és az idő szimmetriája, mert ezekből következnek az egyetemes érvényű megmaradástörvények /energia- és mozgásmennyiség megmaradása/.

A korszerű fizika fejlődésével olyan új tudományágak jelentek meg, mint a plazmafizika, a szilárdtestfizika, az asztrofizika és a biofizika. Ujabban előtérbe került a kibernetika és a fizika kapcsolata is.

Az összefoglalásban nem a tanult anyag fontosabb részeit felidézése, hanem elsősorban világnézeti kérdések elemzése található. A fizikai megismerés útja a megfigyelés, a kísérlet, a gondolkodás és a számolás.

Az ok-okozati összefüggések felderítése, a világ összetétele, eredete, fejlődése képezi a vizsgálat tárgyát.

A fizika nagy hatással volt a materialista világnézet kialakulására. A fizika és a kémia eredményei alapján nyilvánvalóvá vált, hogy az anyag az elsődleges a természetben.

Minden tudomány alapja a dialektikus materializmus, amely feltárja a világ megismerésének legáltalánosabb törvényeit. A fizika is csak akkor tudományos, ha a dialektikus materializmusra támaszkodik. A dialektika törvénye szerint az összes jelenség és tárgy kapcsolatban van egymással, és kölcsönösen hat egymásra. Minden keletkezik, fejlődik és elmúlik. A mozgásban levő anyag megmarad. A fejlődés fokozatos és ugrásszerű változásokból áll. A változásokat belső ellentétek eredményezik. A fejlődés magasabbrendű formái a belső korlátok túllépésével jönnek létre. Az általános jelenségek egyedi esetei jellegzetes módon nyilvánulnak meg.

Ezek alapján nyilvánvaló, hogy ha elfogadjuk a fizika törvényeit, magunkévá tesszük a dialektikus materialista világnézetet is.

A tankönyvben szereplő 6 laboratóriumi gyakorlat közül 4 elektromos, 1 optikai mérést tartalmaz, az utolsó pedig a fotocella jelleggörbéjének meghatározása.

Az egyes fejezetek végén általában 15-20 egyszerű kérdés található, a tankönyv végén pedig további 60 számítási feladat van, mely feladatok eredményeit elkülönítve közlik.

A tankönyvben kristályfizika nincs, ez csak a szűkebb szakmai képzés során dolgozandó fel.

Bár a tankönyvben levő anyag felépítése logikus, s benne szereplő ismeretek megválogatása - véleményem szerint - alkalmasabb is lehetne. Az új fogalmak bevezetése, illetve a jelenségek értelmezése nem elég alapos, túl sok az ex cathedra jellegű kijelentés. A tankönyvből tanulók számára igen sok félreértésre kínálkozik lehetőség, pl. a klasszikus és a kvantumfizika élesen el van határolva egymástól, azok kapcsolatára nincs utalás; a kvarkokat mint "felfedezett" részecskéket emliti, noha ezeket kimutatni még nem sikerült; a megmaradási törvényeknél külön emliti az energiamegmaradás törvényét és külön - zárt rendszerre érvényesnek - a tömegmegmaradás törvényét.

Érdekes és értékes az összefoglalásnak az a rendhagyó megoldása, amely nem a megtanult törvények összegezése, hanem szemléletfejlesztő, filozófiai kérdéseket is tartalmazó, világnézeti nevelésre is alkalmas. /6./

V. A MODERN FIZIKA HELYE A GIMNÁZIUMI OKTATÁSBAN MAGYAR- ORSZÁGON

A kvantummechanika és a szilárdtestfizika oktatásának hazánkban nincsenek hagyományai. Igaz, a régebbi tantervek előírásai szerinti tananyagban vannak olyan részek, amelyek klasszikus fizikától eltérő vonásokat is tartalmaznak. Így pl. az atomfizika elemeinek tárgyalásakor a régi tankönyv is említi - a fénykibocsátás és a fényelnyelés jelenségének vizsgálatakor - a fény kvantumos természetét. Ez alapján jól értelmezhető a fényelektromos hatás, melynek magyarázata a klasszikus fizika határain túlnő. A Bohr-féle atommodellhez adott posztulátumok szintén ellentmondanak a klasszikus fizikának, de ezen jellegzetességek jelentősége és az értelmezésből adódó következmények nincsenek részletezve.

A fizika tagozatos osztályok tanulói kissé részletesebben ismerkedhettek meg a fény kettős természetével, és a de Broglie-féle anyaghullámokról, valamint az elméletet alátámasztó Devisson-Germer-kísérletről is szó esett. Az értelmezésnél azonban hiányosságok fedezhetők fel, ugyanis pl. az elektront az interferenciakísérlet ellenére is pontoszerű testként képzelhetjük el a tankönyv alapján.

A szilárdtestfizikához kapcsolódó rész a félvezetők elektromos tulajdonságait taglalta vázlatosan. A tananyagban a germániumkristály felépítése, a belőle készíthető kristálydióda és tranzisztor működése szerepelt csupán.

A gimnáziumi fizikatananyag átalakulóban van, de megváltozott az egész gimnáziumi oktatás és nevelés céljairól és feladatairól alkotott elképzelés is.

Ma a gimnáziumokat általánosan művelő középiskoláknak kell tekinteni. Elsődleges feladatuk a továbbtanulásra való felkészítés, de a tovább nem tanulókat is segíteniök kell a gyakorlati életre való felkészüléshez. Minden tanulóban ki kell fejleszteni az önművelés, önnevelés, önmegvalósítás igényét és képességét. Mivel a gimnáziumok tanulói igen sokféle irányban haladnak tovább, minden diáknak alapjaiban

egységes, korszerű, továbbfejleszthető műveltséget kell kapnia. A kor társadalmi műveltségét - természetesen az adott életkor lehetőségeit figyelembe véve - kell feldolgozni és rendszerezni. A mindenki által feldolgozandó műveltség-tartalom és nem-fakultatív tananyagban található, de a fakultatív tantárgyak sem nyújtanak szakismereteket, ezek is az általános művelődést szolgálják egy-egy speciális irányban. A növendékek nemcsak adatokat, szövegeket, készségeket tanulnak a korszerű iskolákban, hanem megismerést és gondolkodásmódot, továbbá a szemléletet és az ítélőképességet is fejleszteni kell.

Nyilvánvaló, hogy egyetlen tantárgyban sem lehet teljességre, befejezettségre törekedni. Elsősorban a természettudományos tárgyakra igaz, hogy a gimnázium - mennyiségi vonatkozásban - nem tarthat lépést a tudományok és a technika fejlődésével, de a megtanítandó ismereteknek minden tekintetben korszerűeknek kell lenniök.

Ezen célok elérése érdekében a gimnáziumi fizikatananyagot, illetve az adott anyag értelmezését, feldolgozási módját alapjaiban kellett megváltoztatni.

A gimnáziumi fizikatanításnak legfontosabb célja az anyag fizikai mozgása alapvető törvényszerűségeinek megismertetése, megérttetése, és ezáltal a tanulók materialista világnézetének kialakítása, illetve megszilárdítása.

Tanulóinkat képessé kell tennünk a fizikai és műszaki jelenségek helyes értelmezésére, a bennük megnyilvánuló fizikai elvek tudatos alkalmazására, ami már biztosítja a fizikai és a technikai környezetben való megfelelő tájékozódást. A gyakorlati alkalmazások példáin keresztül érzékeltetni kell a fizika, és általában a természettudományok gazdasági, társadalmi jelentőségét. A fizikatörténeti vonatkozások és a tananyaggal kapcsolatos országos, illetve nemzetközi jelentőségű létesítmények bemutatásával segíthető a szocialista hazafiságra és a proletár internacionalizmusra való nevelés.

A jelenleg érvényben levő gimnáziumi nevelés és oktatás terve szerint az elsőéves fizikaoktatás a természet megismerési módszereinek rövid áttekintésével kezdődik, majd a mechanikai és termikus kölcsönhatások részletezése következik. A második fizika tananyag a mechanika legfontosabb fogalmaival és összefüggéseivel ismerteti meg a tanulókat, a régebbi tárgyalásmódnál lényegesen precízebb formában. A III. osztályban szerepelnek a rezgések és hullámok, az elektromos alapjelenségek, továbbá az elektromos és a mágneses mező kölcsönhatása, ami tulajdonképpen a Maxwell-elmélet adaptálása a 16-17 éves korosztály számára. Végül a IV. osztályban a modern fizika és a csillagászat dolgozandó fel.

A modern fizikai ismeretek közül elsőként a statisztikus fizika szerepel /kb. 15 óra/. Ez az irreverzibilis folyamatok részletezésével kezdődik, mely alapján a II. főtételt elemi statisztikus módszerekkel lehet megfogalmazni. Az egyenletes térkitöltés, az energiaadagok molekulák közötti eloszlása, a Boltzmann-eloszlás és a hőmérséklet statisztikus bevezetését követően a termodinamikai valószínűség, továbbá az entrópia fogalmát kell tisztázni. Az első főtételben szereplő mechanikai munka nem, a közölt hő viszont növeli a nyílt rendszer entrópiáját. A fejezetben belül a körfolyamatokkal is megismerkednek a diákok.

Az atomok és részecskék című anyagrészben /kb. 20 óra/ kell szerepelnie a fénykvantumok természetének, a Bohr-frekvenciának, az elektron kettős természetének - a Millikan-féle és a Davisson-Germer-kísérlet alapján -, a komplementaritás elvének - mint egyetemes természettörvények -, a Heisenberg-féle határozatlansági relációnak, ez alapján az atomi állapot stabilitásának, az egy- és három-dimenziós állóhullámoknak, az atomok gerjesztett állapotainak, energiaszintjeinek és vonalas szinképének, a Pauli-elvnek, a periódusos rendszer felépítésének, a molekulapályáknak és kémiai kötéseknek, a fémek elektronszerkezetének, a vezetés, a szupravezetés és a fényabszorpció értelmezésének, a sáv szerkezetnek, valamint a szigetelők és a félvezetők főbb sajátosságainak.

A magfizika részben /kb. 10 óra/ az atommagok összetétele és a magerők sajátságainak tisztázása után a könnyű magokat a héjmodell, míg a nehéz magokat - a sűrűségük állandó volta miatt - a cseppmodell alapján célszerű áttekinteni. Meg kell világítani a Coulomb-energia és proton-neutron arány szerepét a különböző izotópoknál. Az energiaminimum felé való törekvés következménye a maghasadás és a radioaktív bomlások. A maghasadáskor keletkező atomenergia felszabadítható és felhasználható háborús célra, illetve békés célra. A földi energiaforrások áttekintése után egyértelművé válik, hogy mekkora jelentősége van a magfúzióval nyerhető energiának. Ezt az energiát azonban ma még csak szabályozatlan módon /H-bomba/ tudjuk felszabadítani, de a fúziós reaktor megvalósításának lehetősége is reményteljes.

Nagy figyelmet kell fordítani az egyes fogalmak, anyagrészek, témák közötti összefüggések megvilágítására, és a tantárgyak közötti koncentrációra, mert így az ismeretek nem maradnak elszigeteltek, hanem a világról alakuló egységes kép elemeivé válnak. /35./

VI. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA OKTATÁSÁNAK EGY VÁLTOZATA A GIMNÁZIUMOK IV. OSZTÁLYÁBAN

A gimnáziumi nevelés és oktatás terve által kötelezően előírt tananyag feldolgozását sokféleképpen lehet elvégezni, hiszen a dokumentum csak vázlatpontokban sorolja fel az egyes anyagrészeket. Ezek részletezésénél igen változó lehet az a mélység, amelyet az adott osztállyal el kívánunk érni. Pl. a fény kvantumozásának vizsgálatakor adott esetben - gyengébb osztállynál - beérhetjük a fénylektromos hatás részletezésével, máskor - igényesebb osztállynál - pedig még a Compton-effektus értelmezésére és a hozzá tartozó matematikai levezetések elvégzésére is lehetőség nyílik. Ugyanígy a fémek vizsgálatára, vagy a sávvezeték feldolgozására is - az adott osztály teherbírásiának megfelelően - többféle út kínálkozik. Ez a szabadság, mindenféleképpen hasznos, hiszen a cél elérése érdekében a tanár - elvileg - mindig kiválaszthatja a legmegfelelőbb feldolgozási módot.

A tanár egyik legfontosabb feladata, hogy az osztály matematika tudását felmérje. A fizika középiskolai tanításában - ha csak lehetséges - csupán olyan matematika felhasználása célszerű, amelynek alkalmazása nem okoz gondot a tanulóknak. Ha egy gondolatmenetben a diákoknak a matematikai nehézségek leküzdésére kell koncentrálniuk, akkor a fizikai tartalmat egyáltalán nem fogják megérteni, és így az általuk elsajátított tudás csak üres formalizmus, ami a legkisebb mértékben sem járulhat hozzá szemléletük fejlesztéséhez. Ha valaki az érettségi után fizika irányú tanulmányokat kíván folytatni, az adott felsőoktatási intézményben kell elsajátítania a szükséges matematikai levezetéseket.

A feladatok megoldását mindig néhány nagyon egyszerű, de alapvetően fontos kérdés feldolgozásával érdemes kezdeni, csak ez után térjünk rá az összetettebb feladatok begyakorlására. Kíváncsi volna, ha a megoldandó feladatok elsősorban az adott anyagrész gyakorlati hasznosításával lennének kapcsolatosak, de ez nem minden esetben oldható meg. A gya-

korlati alkalmazásokra már a rész feldolgozásakor célszerű a figyelmet felhívni.

Kiváló koncentrációs lehetőségek vannak - különösen a kvantummechanika feldolgozásakor - a kémiával és a biológiával, amelyeket ki is kell használni. Bizonyos esetekben a történelmi háttér felvillantásával hozhatjuk növendékeinkhez érzelmileg közelebb az adott anyagrészt, máskor a társadalmi hasznosítások megbeszélésével hívhatjuk fel a figyelmet a téma jelentőségére.

Azért, hogy a tanulók megfelelő érdeklődéssel kezdjenek hozzá a kvantummechanika alapjainak elsajátításához, célszerű egy teljes órát fordítani a motivációra, hiszen itt igen sok érdekes, és a tanulók számára még megoldhatatlan probléma említhető meg.

A kvantummechanika kialakulását sürgető problémák hőmérsékleti sugárzás, a fényelektromos hatás és az anyag részecskéinek mozgástörvényei voltak. Ezek értelmezése a klasszikus fizika alapján nem lehetséges. A kvantummechanika alapján természetesen nemcsak a fenti problémák oldhatók meg, hanem választ kapunk azokra a kérdésekre is, hogy miért figyelhető meg a természet szimmetriára való törekvése /hópelyhek, lepkék stb./, hogyan lehetséges a pontos önmásolás, miképpen képzelhetjük el a csillagokban végbemenő óriási energiatermeléssel járó folyamatokat, stb.

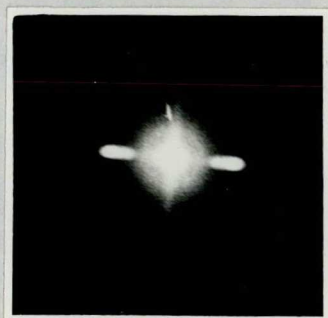
A kvantummechanika az elemi részecskékkel és azok mozgástörvényeivel foglalkozik. Az elemi részecskék tömege és kiterjedése elhanyagolható a makroszkópikus testekhez képest. Mindennapos tapasztalásainkban egy-egy ilyen részecske hatása nem játszik jelentős szerepet, tehát elhanyagolható. Fontos azonban tudni, hogy ha egy szám bármilyen kis mértékben is, de különbözik a zérustól, attól alapvetően különbözik /"végtelenszer nagyobb"/. Így érthető, hogy a makroszkópikus testeknél még kimérhetetlenül kicsi hatások a mikrorészecskék világában meghatározó jelentőségűek lehetnek. Ezért szokás arról beszélni, hogy a kvantummechanika tör-

vényrendszere más, mint a makroszkópikus testekre alkalmazott klasszikus fizikáé.

A sielő egy magas fát csak jobbról, vagy balról kerülhet ki. Egy lepke csak valamelyik ablakon, vagy az ajtón távozhat a szobából /ha más nyílás nincs a szobán/. Ez pl. az elemi részecskék világában nem így van. Ezt a megdöbbentő tényt az első néhány tanóra anyaga alapján bárki magyarázhatja.

Persze a kvantummechanika nem azért alakult ki, hogy vele a "józan észnek" ellentmondó dolgokat magyarázhassuk. Ez a tudományág ma már a technika fejlődésének és a gazdasági élet alakulásának meghatározója lett. Eredményei alapján alkották meg a fotocellát, a tranzisztort, a hangosfilmet, a televíziót, az automata gépsorokat, az atomerőműveket, de az emberiség energiagondjainak távlati megoldását is a kvantummechanika segítségével remélhetjük. /20., 16./

A III. osztályos tananyag a fénnel, mint elektromágneses hullámokkal foglalkozik. A hullámtermészet bizonyítéka az elhajlás, az interferencia és a polarizáció. Ha egy fényforrást optikai rácson keresztül szemlélünk, valóban interferenciaképet látunk. Ha keresztezett rácsokat /pl. madártollat/ használunk, keresztezett interferenciaképet kapunk. Ha a rácsook irányítása rendszertelen /likópódiumporos dialemez/ interferenciaképként /színes/ gyűrűket találunk. Ezt minden tanuló megnézheti. /VI. 1., 2., 3. ábra/



VI.1. ábra
Interferenciakép optikai rácossal



VI.2. ábra
Interferenciakép madártollal



VI.3. ábra
Interferenciakép likopódium-
poros dialemezzel

A polarizáció jelensége is bemutatható - két polarizációs szűrő segítségével. Mindez alapján megállapítható, hogy a fény hullámjelenség.

Minden test elnyeli a ráeső fény egy részét, a sötétebb tárgyak többet, a világosabbak kevesebbet. Ezt a tapasztalatot pl. úgy is kihasználjuk, hogy szobáink, termeink falát világosra festjük, vagy nyáron, erős napsütésben igyekszünk világos ruhákba öltözni. Mindez az átlátszó testekre is igaz, hiszen mindenki láthatta már pl. az ablaküveg, vagy a felszálló meleg levegő árnyékát. Ez utóbbi a levegő részecskéi mozgásának bemutatására is alkalmas. Még a fényforrás is elnyeli a ráeső fény bizonyos hányadát. Ezt egy 200 W-os izzóval megvilágított gyertyaláng esetében demonstrálhatjuk is. /VI.4. ábra/

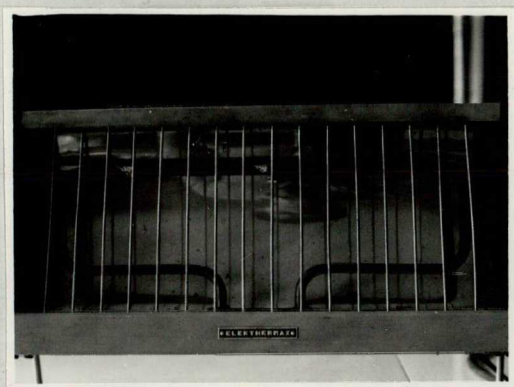


VI.4. ábra
Gyertyaláng árnyéka

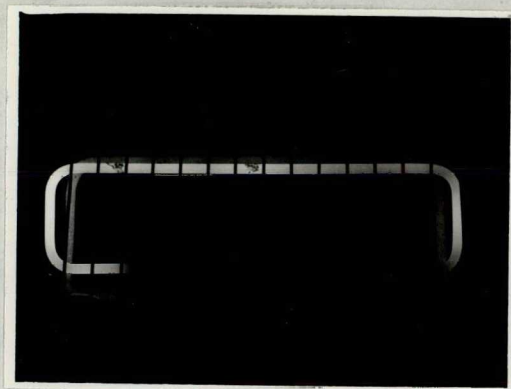
Ha egy vasdarabot melegítünk, előbb vörös izzásba jön, majd egyre sárgább és világítóbb lesz. A jelenség /visszafele elképzelve is/ folytonos, így arra gondolhatunk, hogy minden test bocsát is ki valamilyen színű és erőseggű fénysugarakat, pontosabban elektromágneses sugarakat.

Vizsgáljuk meg, hogy van-e kapcsolat a kisugárzás /emisszió/ és az elnyelés /abszorpció/ között! A gyertyaláng árnyéka arra utal, hogy a több fényt kibocsátó test a ráeső fény nagyobb hányadát nyeli el, hiszen csak a legvégén áthaladva az ernyő jobban meg van világítva, mint a gyertyalángon keresztül.

Ha egy hősugárzó izzószálát fehér krétával megjelöljük, a megjelölt helyet világosabbnak, vagy sötétebbnek látjuk, aszerint, amint a visszavert, vagy a kisugárzott fény a domináns. /VI.5. ábra/



VI.5. ábra
Hősugárzó izzószála
világosban



VI.5. ábra
Hősugárzó izzószála
sötétben

A testek e emisszióképességén a test felületének egységnyi darabja által egységnyi idő alatt, egységnyi térszögben, a felület normálisának irányában kibocsátott fényenergiát értjük. Az "a" abszorpcióképesség pedig a testre eső sugárzási energiának az a hányada, amelyet a test elnyel.

Az egyes testek "e" emisszióképességét és "a" abszorpcióképességét vizsgálva Kirchhoff állapította meg pontos össze-

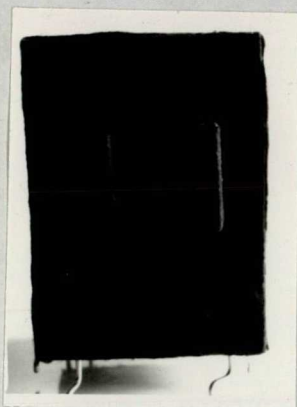
függést:

$$e/a = \text{áll.}$$

Elméletileg elképzelhető olyan test, amely a ráeső fény 100 %-át elnyeli, vagyis abszorpcióképessége: $A = 1$. Ezzel a Kirchhoff-törvény:

$$e/a = E/\lambda, T/$$

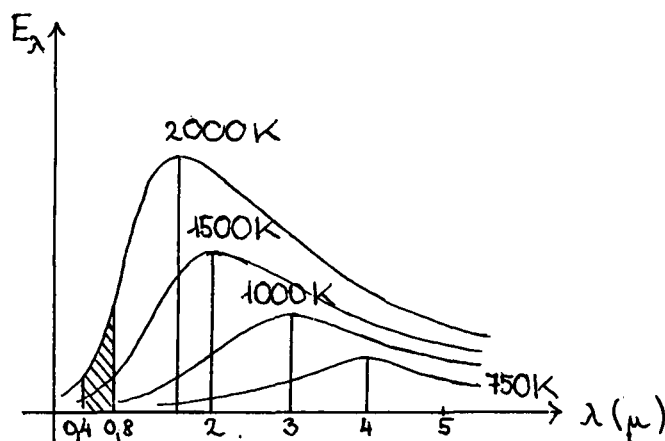
Az abszolút fekete test gyakorlati közelítő megvalósítása a kis lyukkal ellátott fekete doboz, amelynek belső fala is lehet fekete. /VI.6. ábra/



VI.6. ábra

Az abszolút fekete test egy
közelítő megvalósítása

Az abszolút fekete test - különböző hőmérsékletekhez tartozó - energiasugárzásának a hullámhossz szerinti eloszlását vizsgálva, olyan összefüggésekhez jutottak, amelyeket a klasszikus fizika alapján nem lehetett értelmezni. /VI.7. ábra/



VI.7. ábra

Az abszolút fekete test emisszióképessége a hullámhossz függvényében /különböző hőmérsékleteken/

Jobb osztályoknál emlithető a Wien-féle eltolódási törvény és a Stefan-Boltzmann-törvény is.

A magyarázathoz Plancknak fel kellett tennie, hogy a fény kisugárzásakor az emittáló test energiakészlete nem folytonosan, hanem csak egy meghatározott kicsiny energiaérték egész számú többszörösével változhat. Ez a legkisebb energiakvantum

$$E = hf,$$

ahol f a kisugárzott fény frekvenciája, h pedig az un. Planck-állandó.

Ha negatív töltésű cinklemezt ultraibolya fénnel világítunk meg, elveszti töltését. Ha a lemez töltése pozitív volt, vagy ha kiszűrjük a megvilágító fényből az ultraibolya sugarakat, változás nem áll be. Ebből arra következtethetünk, hogy csak bizonyos frekvenciájú fény képes a cinklemezről elektronokat leszakítani. Ez a fényelektromos hatás, vagy fotoeffektus. A klasszikus meggondolások alapján bármilyen színű fény képes lenne erre, ha elég intenzív volna, vagy ha a megvilágítás megfelelő hosszú idejű lenne.

Einstein értelmezése szerint a fény elnyelése is $E = hf$ kvantumokban történik. A fényabszorpciót csak akkor követheti elektronemisszió, ha az elnyelt hf energiaadag eléri

az elektron leszakításához szükséges "A" kilépési munkának megfelelő értéket. Ezt a jelenséget használják fel a széles körben elterjedt fotocelláknál is. A fotocella felépítését és működési elvét célszerű tisztázni. A kilépő elektron mozgási energiájáról a

$$hf = mv^2/2 + A$$

Einstein-féle fényelektromos egyenlet ad felvilágosítást. Ha a kilépő elektronokat változtatható U ellenfeszültségen vezetjük át, akkor U növelésével elérhető, hogy az elektronok áramlása éppen megszűnjön. Meghatározott színű fénynél - az intenzitástól függetlenül - mindig ugyanaz a maximális feszültségérték adódik, amelyet a kilépő elektronok még képesek legyőzni. A fény intenzitásától csak a kilépő elektronok száma függ, de ezek mozgási energiája ettől független. Az $eU = mv^2/2$ felhasználásával - különböző színű monokromatikus fényt alkalmazva - kimérhető a Planck-állandó, ugyanis a

$$hf_1 = eU_1 + A$$

$$hf_2 = eU_2 + A$$

egyenletekből

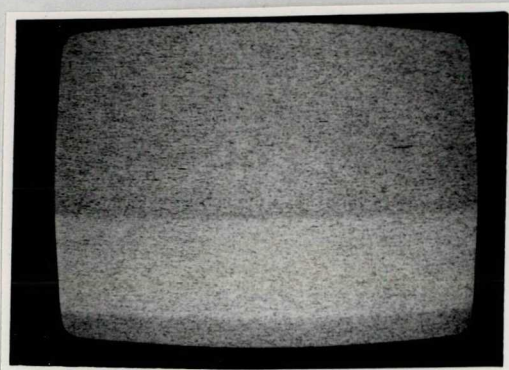
$$h = e(U_1 - U_2) / (f_1 - f_2)$$

adódik, ahol a jobb oldalon található mennyiségek ismertek, vagy mérhetők. A Planck-állandó pontos értéke

$h = 6,6268 \cdot 10^{-34}$ Js. /A kísérletet ugyan a gimnáziumokban be lehet mutatni, de tapasztalatom szerint a rendelkezésre álló eszközökkel elérhető pontosság csak a nagyságrend megállapítására alkalmas./ A fentiek alapján nyilvánvaló, hogy a fény kvantumozott természetű is, így jogos arról beszélni, hogy a fénynek kettős természete van. /5., 21./

Ha a televíziót egy adás nélküli időpontban kapcsoljuk be, a képernyőt "mákosnak" látjuk, vagyis az apró felvil-

lanások rendszertelenül következnek be. /VI.8. ábra/



VI.8. ábra

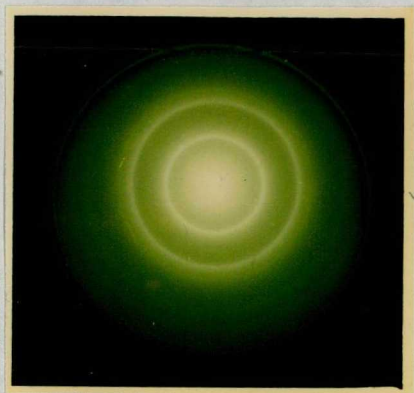
A "mákos" tv képernyő

Ezeket az okozza, hogy az ernyőre elektronok jutnak. Mivel a felvillanások jól lokalizálhatók, arra következtethetünk, hogy az elektronok kiterjedése igen kicsi, vagyis az elektronokat részecskéknek képzelhetjük el.

Ha az elektronokat elektromos és mágneses téren bocsátjuk át, a pálya elhajlásából kiszámítható a fajlagos töltésük $/e/m/$. Az elektron elektromos töltését, az elemi töltést először Millikan határozta meg úgy, hogy kondenzátorlemezek közé olajcseppeket porlasztott, amelyek a porlasztásnál elektromos töltést nyertek. A cseppek mozgását a lemezek közötti elektromos mezővel befolyásolva azt az eredményt kapta, hogy a cseppek töltése mindig egy adott töltés többszöröse. Az $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ elemi töltésnél kisebb töltést azóta sem észleltek. Ez tehát egy elektron töltése. A fajlagos töltés és az elektromos töltés ismeretében az elektronok tömege azonnal adódik $/m = 0,91 \cdot 10^{-30} \text{kg}/$. Ezek a tények is az elektron kvantum voltát támasztják alá.

A fajlagos töltés meghatározását és a Millikan-kísérlethez tartozó részletes megfontolásokat csak a fizika iránt az átlagosnál jobban érdeklődő osztályokban célszerű elemezni.

Ha elektronokat a mozgásuk irányába eső feszültséggel, egyenesvonalú mozgásra késztetünk, és utjukba akadályt, pl. vékony grafitkristálypor lemezt helyezünk, akkor a lemez egyenetlenségeinek megfelelő kép jelenik meg a fluoreszkáló ernyőn. Amennyiben növeljük az elektronok sebességét, egyszercsak interferenciagyűrűket figyelhetünk meg. /VI.9. ábra/



VI.9. ábra

Interferencia elektronokkal

Ha a tanulók látták a likopódiumporos dialemezen kialakuló interferenciagyűrűket, akkor kézenfekvőnek találják, hogy a most megfigyelt jelenség is interferencia. Mivel az interferencia egyértelműen bizonyítja valamely jelenség hullámtermészetét, kénytelenek vagyunk arra következtetni, hogy az elektronnak hullámtulajdonsága is van. Azt, hogy valóban elektronsugarak interferenciájáról van szó, egy mágnesrúd közelítésével könnyen igazolhatjuk, ugyanis a mágneses mezőben mozgó töltések eltérülnek, így az interferenciakép eltolódik. Ha az elektronok által kiváltott röntgensugárzásról lenne szó, ezt az eltolódást nem figyelhetnénk meg.

Elektronokkal először Davisson és Germer mutatott ki interferenciát 1927-ben. Azóta már atom-, sőt molekulaszugarakkal is sikerült interferenciát produkálni /Stern/. Mindezek ismeretében már jogosnak tűnik L. de Broglie azon

feltevése, hogy nemcsak a fénynek, de minden részecskének jellemzője a dualitás. De Broglie szerint bármely m tömegű, v sebességgel mozgó részecskéhez

$$\lambda = h/mv$$

hullámhossz rendelhető. De Broglie ezt még az elektroninterferencia kimutatása előtt feltételezte!

Interferencia rácson csak akkor jöhet létre, ha a rácsállandó a hullámhossz nagyságrendjébe esik. Így már érthető, hogy az elektronok interferenciáját is csak megfelelő U feszültségnél, illetve v sebességnél észlelhattuk, ugyanis a $\lambda = h/mv$ szerint a hullámhossz ezen sebességnél lett a rácsállandónak megfelelő értékű.

Az elektron hullámtermészetének felfedezése után született meg a fénymikroszkóp nagyításához képest százszoros nagyítást biztosító elektronmikroszkóp. Ennek felépítése hasonló a fénymikroszkópéhoz, csak fénysugarak helyett elektronsugarakat alkalmaznak, az üveglencsék szerepét pedig mágneses vagy elektromos lencsék játsszák.

Elektrondiffrakciós készülékünkkel lehetőség nyílik a Planck-állandó viszonylag pontos értékének meghatározására. Az első maximumnak megfelelő r_1 sugár mérhető az ernyőn. Mivel ehhez $\Delta s = \lambda$ útkülönbség tartozik, a

$$\lambda/d = \sin \alpha \approx \tan \alpha = r_1/\ell,$$

ahol d a rácsállandó, ℓ pedig a grafitlapocska és az ernyő távolsága. Ezt felhasználva

$$\lambda = dr_1/\ell = h/mv,$$

ahonnan

$$h = dr_1 mv/\ell.$$

De $mv^2/2 = eU$, és így $v = \sqrt{2Ue/m}$. Ezt behelyettesítve nyerjük a

$$h = dr_1 \sqrt{2Uem}/\ell$$

összefüggést. A jobb oldalon levő mennyiségek közül csak d nem ismert és nem is mérhető. Ennek közelítő kiszámítása a

függvénytáblázatban található $\rho = 2,26 \text{ g/cm}^3$ sűrűségérték 9
alapján lehetséges. Az így kapott $d = 2,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ érték,
továbbá a mért $r_1 = 1 \text{ cm}$, $l = 16,5 \text{ cm}$ és $U = 9,4 \text{ kV}$ érté-
kek felhasználásával $h = 6,65 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ adódott, ami igen jó /
eredmény, hiszen a pontos érték $h = 6,6268 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$.
/42., 21./

Az eddigiek alapján megállapítható, hogy a fény és az
elemi részecskék egyaránt duális természettel rendelkeznek.
Ez természetesen nem jelenti azt, hogy ezek részecskék is
és hullámok is. A mindennapos értelemben vett részecskék
biztosan nem lehetnek, mert ha két megfelelő részen át egye-
sével bocsátunk át elektronokat, azok mindegyike tudomást
szerez mindkét résről, hiszen ekkor is kialakul az interfe-
renciákép. A makroszkópikus testekről egyértelműen eldön-
tendő lenne, hogy melyik részen haladtak át, vagyis a közép-
ső "akadályt" mely oldalról kerültek ki.

De ugyanígy hullámok sem lehetnek, hiszen energiájukat
egy adagban, jól lokalizálhatóan adják le. Az ember fantá-
ziája nem elég színes ahhoz, hogy az elemi részecskékről
valamilyen szemléletes képet alkothasson. Igaz, bizonyos
környezetben - terjedés közben - inkább a hullámtermészet,
máskor - kisugárzásnál vagy elnyelődésnél - pedig a részecs-
ke elképzelés közelíti jobban a valóságot. A hullám- és
korpuszcula-tulajdonságok mindig csak együttesen alkalmasak
a részecske pontos leírására, tehát ezen tulajdonságok
komplementerek.

Érdekes és tanulságos G. Gamov: Tompkins ur kalandjai
a fizikával c. könyvéből felolvasni a "kvantumóserdőben"
interferáló gazellákról szóló részletet, amely során jól
megvilágítható a h Planck-féle állandó szerepe. Itt lehetősé-
g nyílik annak - tréfás formában való - beláttatására,
hogy milyen következményekkel járna, ha a Planck-állandó
értéke lényegesen nagyobb volna. A gondolatsort folytatva
meg lehet határozni, hogy 15 kg-os, 10 m/s sebességgel fu-
tó gazellák esetén milyen tenyészterület jutna egy-egy fára

a h valódi értéke alapján. A feladat végigszámolása után rögtön világossá válik, hogy az ember miért nem láthat soha makroszkópikus testeket interferálni. Ez azt is jelenti, hogy a makroszkópikus testek szempontjából a hullámjelleg semmi újat nem jelent. Mégis fontos annak tisztázása, hogy a kvantummechanika törvényei a makroszkópikus testekre is érvényesek. A klasszikus törvények ezeknek csupán - a makroszkópikus testekre alkalmazható - jó közelítései. /20., 14./

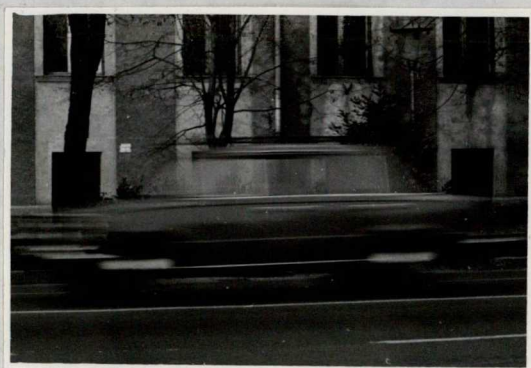
Vannak olyan jelenségek, amelyeket igen gyakran megfigyelhetünk, és mert mindig ugyanúgy látjuk ezeket, létezésüket és "magyarázatukat" kézenfekvőnek, természetesnek ítéljük. Az így kialakult fogalmak azonban könnyen hibás következtetésre vezethetnek, és nem is mindig egyszerű rájönni a tévedésre. Pl. a Földet igen hosszú ideig laposnak tartották, hiszen ilyennek látjuk. Mivel a Föld körül látjuk keringeni a Napot és a csillagokat, az is világos lehetne, hogy a Föld a Világmindenség középpontja. Mivel az energia felosztásában semmiféle akadályba nem ütközünk, kézenfekvőnek tarthatnánk, hogy az energia változása mindig folytonos. Ezekről az állításokról ma már tudjuk, hogy nem állják meg a helyüket, cáfolatuk azonban nem minden esetben egyszerű.

Mindez arra utal, hogy a jól beidegzett dolgok is lehetnek hibásak. Érzékszerveinkben nem bizhatunk feltétlenül, és a tapasztalatokat nem érdemes a működési tartományukon kívüli jelenségekre /pl. a mikrorészecskékre/ extrapolálni.

Szemléletünk alapján a mozgás olyan pillanatképek egymásrautánja, amelyekhez egyértelműen meghatározott helyzet tartozik. Ez alapján a sebességet két helyzet közötti különbség és az elmozduláshoz szükséges idő hányadosaként származtatjuk. Ez azt az érzést erősíti meg bennünk, hogy a sebesség alárendelt a tárgyak létezéséhez képest, pedig már az általános iskolások is tudják, hogy az anyag és a mozgás elválaszthatatlan, a mozgással kapcsolatos impulzus

pedig megmaradó mennyiség. Jogosan gondolhatunk tehát arra, hogy a pillanatképből hiányzik a mozgás. A pillanatnyi állapot helyes képének olyannak kellene lennie, amelyből valahogyan az impulzus is kiolvasható.

A fotoriporter pillanatfelvétele a száguldó versenyautóról azáltal érzékelteti a mozgást, hogy az autó elmosódott lesz, a környezet pedig éles. /VI.10. ábra/

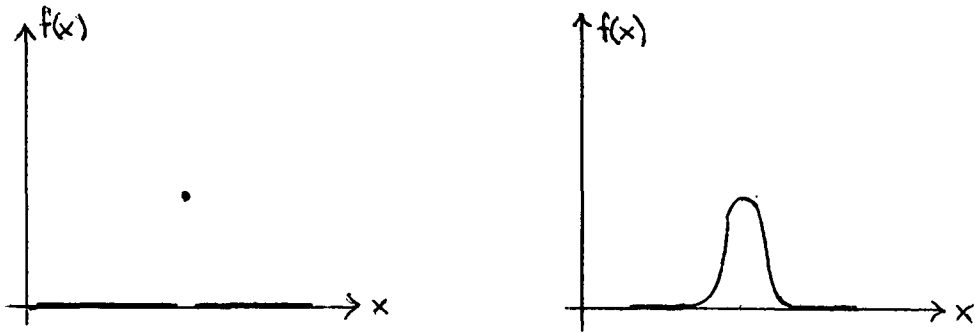


VI.10. ábra

A mozgás érzékeltetése
fényképen

Ez azt jelenti, hogy a felvételen levő autó egyes pontjai kiterjedtté, szerkezettel bírónak válnak. Ha a klasszikus fizika értelmében vett egyetlen geometriai pont a valóságban hihetetlenül kis mértékben kiterjedt volna, akkor ez is rendelkezhetne szerkezettel, vagyis hordozhatna a mozgásállapokra vonatkozó információt is, amivel az impulzus a helyzet részévé válhatna.

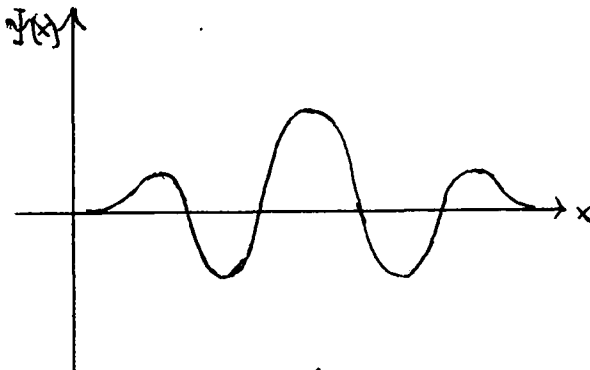
Végezzon egy részecske az x tengely mentén egyenesvonalú mozgást, és írjuk le ezt a mozgást valamilyen függvényvel! A függvény legyen fel mindenhol zérus értéket, ahol a részecske nincs, és legyen 0-tól különböző ott, ahol a részecske megtalálható. A klasszikus elképzelés alapján a függvény szakadásos és csak abban az egy geometriai pontban különbözik 0-tól, ahol a részecske van. Ha ezt a pontot kiterjedtnek képzeljük, a függvény folytonossá tehető. /VI.11. ábra/



VI.11. ábra

A részecske helyzetét ábrázoló függvény folytonossá tétele

Ez a függvény a mozgásállapotra vonatkozó információt is hordoz, ezért állapotfüggvénynek nevezzük, és Ψ -vel jelöljük. Mivel az állapotok összetevődhetnek, és kioltás is létrejöhet /interferencia/, így Ψ -nek bizonyos helyeken negatívnak is kell lennie. A függvény grafikonja /az állapotvonal/ ezek alapján fésűfogszerű mintázattal rendelkezik és olyan hullámhoz hasonlítható, amely két oldalról belesimul az x tengelybe. /VI.12. ábra/



VI.12. ábra

Az állapotvonal

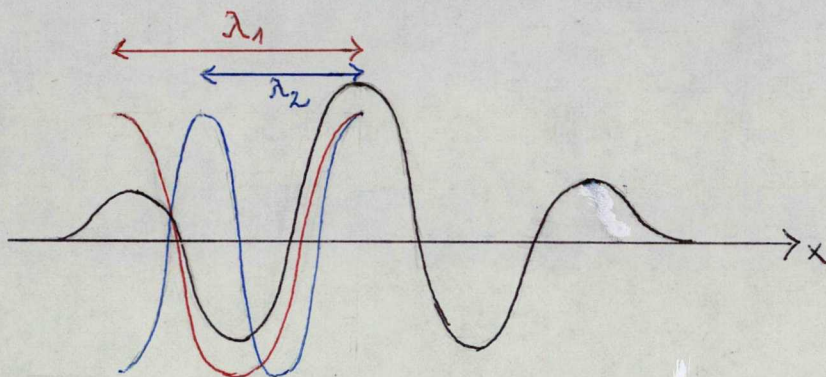
A részecske sebességére vonatkozó felvilágosítást az állapotvonal görbültsége szolgáltat. A mintázat sűrűsége a függvény által képviselt hullámalak hullámhosszával λ /jellemezhető. A p impulzusra vonatkozóan a

$$p = h/\lambda$$

összefüggés teljesül. Mivel a Ψ függvény - az x tengelybe való simulása miatt - nem szigorúan periodikus, így nem

lehet egyetlen, pontosan meghatározott hullámhosszat megadni hozzá. Az állapotvonal jellemzésére közel jó hullámhosszak közül tetszőlegesen kiválasztva csak egy ún. "körülbelüli" impulzust határozhatunk meg ugyanúgy, mint ahogy a $\Psi \neq 0$ pontokban is csak "körülbelüli" helyről beszélhetünk.

Az állapotvonalhoz egyformán jól illeszkedő szabályos hullámalakok közül a legkisebb és a legnagyobb hullámhosszú annyira tér el egymástól, hogy a minimális hullámhosszból $\lambda_{\min}$ eggyel több fér a $\Psi \neq 0$ részre /amit $2\Delta x$ -szel jelölhetünk/, mint a maximálisból $\lambda_{\max}$. /VI.13. ábra/



VI.13. ábra

Az állapotvonal közelítése
periodikus függvényekkel

Igy

$$2\Delta x / \lambda_{\min} - 2\Delta x / \lambda_{\max} \approx 1.$$

A $\lambda = h/p$ felhasználásával

$$2\Delta x (p_{\max} - p_{\min}) / h \approx 1$$

vagyis

$$\Delta x \Delta p \approx h/2.$$

Matematikailag egzaktul bebizonyítható, hogy

$$\Delta x \Delta p \geq h/4\pi = \hbar/2$$

minden esetben teljesül, de általában

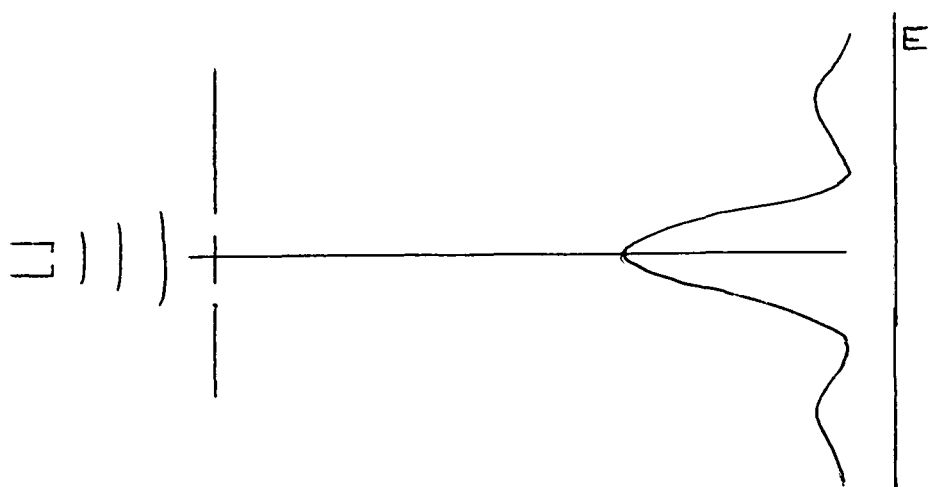
$$\Delta r \Delta p = \hbar.$$

Az az un. Heisenberg-féle határozatlansági reláció. Ki kell emelni, hogy a hely és az impulzus "határozatlansága" nem ismereteink hiánya, hanem a részecske állapotára vonatkozó pozitív információ. $2\Delta x$ pl. az állapotfüggvény x -tengely irányú kiterjedése.

A határozatlansági összefüggés sem jelent a makrovilág számára újat, hiszen a makrotestekre adódó Δx és Δp határozatlanságok olyan kicsik, hogy ezeket a legprecízebb műszerekkel sem tudjuk észlelni. Ez is a Planck-állandó igen kicsi értékével magyarázható. A hely Δx határozatlansága csak olyan esetekben jelentős, amelyekben a Δp impulzus-határozatlanságban szereplő tömeg nagyságrendje a Planck-állandóhoz hasonlóan kicsiny. Ez a természettörvény tehát a mikrorészecskékre vonatkozóan jelent alapvető összefüggést.

Valamely részecske egyidejű hely- és impulzusmeghatározása utáni állapotára vonatkozó jóslás pontosságának a korlátjait jelöli ki.

Az állapotfüggvény értelmezési tartománya általában a tér összes pontjából tevődik össze. Maga a függvény a helyzetre és az impulzusra vonatkozó együttes információt hordoz, ami azonban nem fejezhető ki egyetlen $/x;p/$ számpárral. Az adott pontban vett függvényérték négyzete jelenti a részecske adott helyhez tartozó tartózkodási valószínűségének sűrűségét. Mivel ez minden esetben véges érték, a geometriai pontban való tartózkodási valószínűség $\Psi^2 V = 0$. Az adott térfogatban vett tartózkodás valószínűsége tulajdonképpen annak a valószínűségét jelenti, hogy a részecskét a szóban forgó térfogatban detektálni tudjuk. Világos, hogy az egész térben a megtalálási valószínűség 1.



VI.14. ábra

Interferencia két réssel

A VI.14. ábra szerinti elrendezésben zárjuk le először az egyik, majd a másik rést. Jelölje Ψ_1 , illetve Ψ_2 annak a részecskének az állapotfüggvényét, amelyet az egyik, illetve a másik rés szabadonhagyásával állíthatunk elő. A két rés együttes nyitvatartásával kialakítható állapotot a $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$ összeggel nyerhetjük. Ezek szerint, ha a részecske tartózkodhat a Ψ_1 és a Ψ_2 függvénnyel jellemezhető állapotban is, akkor ezen állapotfüggvények összegével nyerhető állapotban is előfordulhat. Az állapotfüggvényre tehát érvényes a szuperpozíció elve.

A tapasztalat alapján tehát a mikrorészecskék terjedése közben érvényes a szuperpozíció törvénye, amely alapján megalkothatjuk a részecskék hullámmodelljét. Ha ehhez a modellhez - a köznap értelemben vett hullámokra vonatkozó - "elkent" anyageloszlást tételezünk fel, akkor az egyes mikrorészecskék abszorpciója és emissziója során tapasztalt "oszthatatlansági törvénnyel" jutunk ellentmondásra. Ha viszont az oszthatatlanság elvéből kiindulva részecske modellt alkotunk, és ehhez - a makroszkópikus testekhez rendelhető - pályamenti mozgást tételezünk fel, akkor a szuperpozíció elvével jutunk ellentmondásra. Az ellentmondások tehát az alkotott modellek "túlműködtetéséből" származnak. Minden modell csak bizonyos szempontból hasonlít a modellezett jelenséghez vagy tárgyhoz, így a modellnek vannak olyan tulajdonságai is, amelyekkel a modellezett dolog nem rendelkezik! /11., 16., 20., 21., 43./

Mielőtt az új ismeretek birtokában hozzákezdenénk az atomok elektronburkának vizsgálatához, célszerű az atomfogalom fejlődéstörténetének főbb állomásait felidézni. A gondolatmenetben kiemelhető a tudomány és a technika fejlődésének egymásbafonódása. A tudományok újabb eredményeit felhasználva egyre finomabb kísérleti- és mérőeszközöket lehet létrehozni, amelyek viszont újabb jelenségek elemzését teszik lehetővé stb.

Az "anyag" felépítésének kérdése már jóval az időszámításunk kezdete előtt is foglalkoztatta a kor tudósait. Voltak akik - a feldarabolhatóságban korlátot nem találva - azt a nézetet képviselték, hogy az anyag folytonos felépítésű, de olyanok is akadtak, akik tisztán spekulatív uton az anyag atomos szerkezetét vallották. Az elmélet legjelentősebb képviselője a görög Demokritosz volt, aki szerint csak ür és az ebben mozgó - tovább már nem osztható - atomok léteznek. A tárgyak különbözősége az atomok számbeli, nagyságbeli, alaki és elrendeződés szerinti különbözőségéből fakad. Tanát - melyet i.e. 400 körül fejlesztett ki - atomisztikának nevezték. E tan szerint az atomok kölcsönhatásának problémája tisztázatlan maradt. Később Epikurosz az atomok egymáshoz kapcsolódását apró horgokkal képzelte el. Ezen elképzelésnek a korba illő megcáfolását a tanulók is elvégezhetik!

Ezt követően több mint 2000 évig lényeges előrelépés a tudomány e területén nem történt. A XIX. század elején a kémia fejlődésével - Dalton munkássága alapján - tisztázódott, hogy az egyes vegyületek mindig meghatározott, állandó súlyarányú elemekből tevődnek össze. Különböző vegyületeket tekintve - melyekben szerepel azonos elem - a közösen tartalmazott elem súlya egész számú többszöröse egy legkisebb súlynak. Ezek a tények az oszthatatlan atom hipotézisének helyességét valószínűsítették. Itt hatásos lehet a Millikan-kísérlettel való hasonlatosságokat részletezni.

Ezt követően több mint 2000 évig lényeges előrelépés a tudomány e területén nem történt. A XIX. század elején a kémia fejlődésével - Dalton munkássága alapján - tisztázódott, hogy az egyes vegyületek mindig meghatározott, állandó súlyarányú elemekből tevődnek össze. Különböző vegyületeket tekintve - melyekben szerepel azonos elem - a közösen tartalmazott elem súlya egész számú többszöröse egy legkisebb súlynak. Ezek a tények az oszthatatlan atom hipotézisének helyességét valószínűsítették. Itt hatásos lehet a Millikan-kísérlettel való hasonlatosságokat részletezni.

Dalton úgy gondolta, hogy az atomok egymásba nem alakulhatnak át, de már ekkor is akadtak olyanok, akik - a sokféle elem létét egy egyszerű és egységes világkép szempont-

jából ellentmondásosnak találva - az atomok oszthatatlanságát tagadták. Az atomok összetett voltát látszott alátámasztani, hogy a különböző elemek atomsúlyai közel egész számok.

1869-ben Mengyelejev orosz kémikus fedezte fel, hogy az elemeknek - a növekvő atomsúly szerint rendezett sorozatában - a jellemző kémiai és fizikai tulajdonságai periodikusan ismétlődnek. Ez alapján alkotta meg a /később róla elnevezett/ periódusos rendszert, amelyben az egyes periódusok egy-egy vízszintes sorban, az egymáshoz hasonló tulajdonságú elemek pedig egy-egy oszlopban vannak. Az akkor még nem ismert elemek helyét a táblázatban üresen hagyta.

Azok a jelenségek, amelyek alapján az elektronok léteire következtethetünk /elektrolízis, gázok elektromos vezetése, katódsugárzás, Edison-hatás, fényelektromos hatás stb./, egyúttal az atomok összetett voltát is alátámasztották, hiszen a semleges atomokból pozitív ion lett azáltal, hogy belőlük negatív töltésű elektron távozott.

Miután nyilvánvalóvá vált, hogy az atomok valóban összetettek, felvetődtek a szerkezetére vonatkozó kérdések.

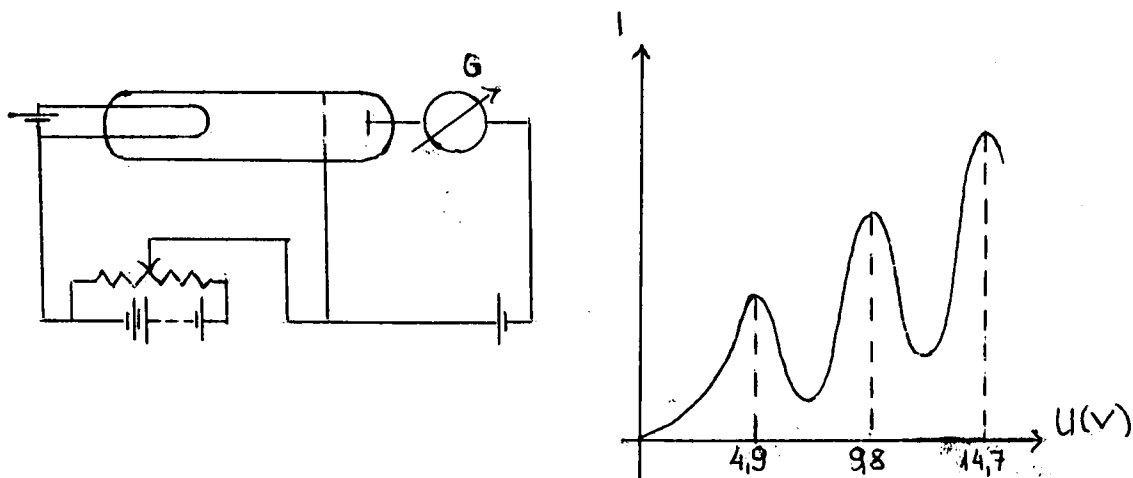
Thomson az atomot úgy képzelte el, mint egy pozitív gömböcskét, amely beljében helyezkednek el az elektronok. Elméleti megfontolásai alapján az atomok sugarára 10^{-8} cm adódott, amit a kinetikus gázelmélet is alátámasztott.

Rutherford α -részecskéket bocsátott aranyfűst lemezre. Tapasztalata szerint az α -részecskék nagy hányada kis eltéréssel jutott a lemez mögé, míg a sugárzás igen kis része visszapattant a lemezről. Ez a kísérlet a Thomson-moddal tarthatatlanságát igazolta. Rutherford mérései szerint az atomok tömege a 10^{-8} cm-es nagyságrendhez képest igen kis térfogatba koncentrálódik. Ezt atommagnak nevezte. Modelljében a pozitív töltésű atommag körül az elektronok bolygók módjára keringenek. A klasszikus fizika alapján ez az elképzelés közelíti legjobban az atom felépítését annak ellenére, hogy több nehézséget rejt magában. A keringő - és így gyorsuló mozgást végző - elektronoknak ugyanis

elektromágneses sugárzást kellene kibocsátaniok, így energiájuk fokozatosan csökkenne, míg spirális pályán az atommagba nem zuhannának. Az atomok vonalas szinképe sem magyarázható e modell alapján, hiszen eszerint csak folytonos változások mehetnének végbe az elektronok energiája szempontjából.

A nehézségeken Bohr segített, a klasszikus fizika törvényeinek ellentmondó posztulátumok megadásával. Ezek szerint az elektronok csak jól meghatározott sugarú körpályákon keringhetnek az atommag körül, miközben az energiájuk nem változik. A különböző sugarú pályákhoz különböző energiaértékek tartoznak. A pályák közötti átmenet csak ugrászerű lehet, amelynél a két energiaszint különbségének megfelelő energiaadagot az elektron foton formájában kisugározza, vagy elnyeli, aszerint, hogy a végső állapot energiája kisebb, vagy nagyobb.

Franck és Hertz kis nyomású higanygőzt tartalmazó - a vákuumtriódához hasonló - elektroncső anódfeszültségét növelve azt tapasztalta, hogy az áramerősség a VI.15. ábra grafikonja szerint változik.



VI.15. ábra

A Franck-Hertz-kísérlet kapcsolási rajza és
I-U grafikonja

A jelenséget úgy magyarázhatjuk, hogy a csőben mozgó elektronok a hozzájuk képest igen nagy tömegű Hg-atomokkal

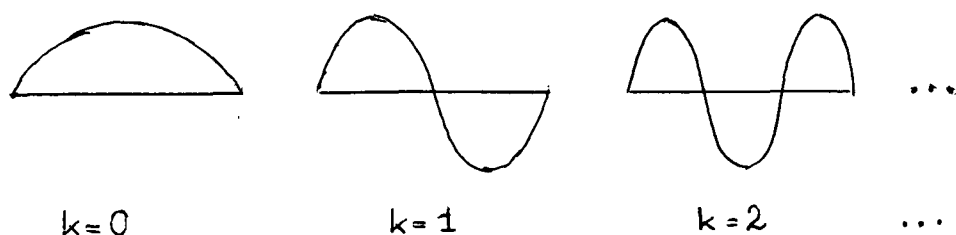
sokszor összeütköznek. Mivel az ütközés rugalmas, az elektronok mozgási energiájukat megtartják. Ha az elektronok energiája eléri a 4,9 eV-ot, akkor ezt az energiát képesek átadni a Hg-atomoknak, vagyis az ütközés rugalmatlanná válik. Ez, és az egyéb gázokkal is elvégzett Franck-Hertz-kísérletek szerint az atomok az elektronoktól csak pontosan meghatározott energiaadagokat képesek átvenni, ami a Bohr-elmélet szerinti dikschrét energiaszintek létezését támasztja alá. Bohr elmélete alapján jól értelmezhető a H-atom vonalas szinképe, és a H-atom magjának a sugarát kiszámítva a tapasztalattal egyező értéket kapunk.

Az elmélet hiányossága, hogy a nagyobb rendszámú elemek és a molekulák szinképének leírására nem alkalmas, és vele a kémiai kötések sem értelmezhetők. A modell felemás, olyan értelemben, hogy klasszikus és kvantumfizikai elemeket egyaránt tartalmaz.

A fenti hiányosságok miatt a Bohr-moddellen is túl kellett lépni, így jött létre a már tisztán kvantummechanikai modell. /A Sommerfeld-féle - elleipszispályákat is megengedő - modellt gimnáziumban nem érdemes részletezni./
/5., 22./

A mikrorészecskék terjedése közben azok hullámszerű tulajdonságai dominálnak, így az atommag körül "nyüzgő" elektronokhoz is hullámmoddellt alkothatunk. Ekkor viszont csak az állóhullámok jöhetnek szóba. Az elektron atomon belüli elképzelése érdekében kezdjük a tárgyalást a legegyszerűbb esettel: képzeljük az elektront lineáris állóhullámmal jellemezhetőnek /ami hosszú láncmolekulák esetén megfelelő elképzelés is/.

Tegyük fel, hogy az elektront az a hosszúságú szakaszon egy λ periodusú állapotvonallal jellemezhetjük. E szakaszon kívül $\Psi = 0$. /VI.16. ábra/



VI.16. ábra

Az "a" hosszúságú húron kialakuló állóhullámok

Ha a csomók számát k -val jelöljük ($k = 0, 1, 2, \dots$), akkor a szakaszon levő félhullámok száma $k + 1$, tehát

$$(k + 1) \lambda / 2 = a.$$

Mivel a de Broglie-féle összefüggésből

$$p = h(k + 1) / 2a$$

impulzus adódik, a k csomós állapot energiája

$$E_k = p^2 / 2m = h^2 (k + 1)^2 / 8ma^2.$$

A legkisebb energiájú állapotot ($k = 0$) alapállapotnak nevezzük, a magasabb energiájú állapotok pedig a gerjesztett állapotok. A k csomós állapotú elektron eggyel magasabb energiájú állapotba viteléhez

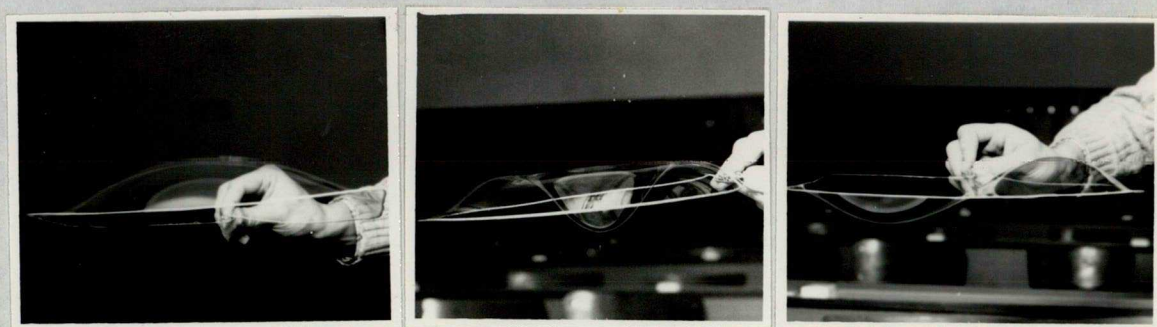
$$\Delta E = E_{k+1} - E_k = h^2 (2k + 1) / 8ma^2$$

energia szükséges. Ehhez a gerjesztéshez annál nagyobb energia kell, minél rövidebb az a szakasz, rögzített a esetén pedig az egyre magasabb energiaszintek közötti energiakülönbségek növekednek.

A gerjesztéshez szükséges energiát fényelnyeléssel vagy az atomokkal, vagy a molekulák közötti ütközésekkel lehet biztosítani. Az elektronok csak a megfelelő energianívók közötti energiakülönbséget képesek elnyelni, így fehér fénnel való megvilágításakor a szinképben a megfelelő frekvenciáknál sötét vonalak láthatók. Az ilyen szinképet elnyelési szinképnek nevezzük.

Ha az elektronok gerjesztett állapotban vannak, onnan foton kisugárzásával kerülnek alacsonyabb energiaszintekre. Az így létrejövő fényes vonalakból álló szinkép a kibocsátási szinkép.

Míg az egydimenziós hullámoknál csomópontok vannak, a téglalap, illetve kör alakú síkhullámoknál csomóvonalakat /egyenes, kör/, a térbeli hullámoknál pedig csomófelületeket /melyek közül a legegyszerűbb a sík és a gömbhéj/ figyelhetünk meg. A síkhullámoknál kialakuló egyszerűbb csomóvonalakat bemutathatjuk megfelelő drótkerettel és szappanhártyával. /VI.17. ábra/ /42./



VI.17. ábra

Drótkeretre feszülő szappanhártyával kialakítható állóhullámok

Képzeljünk el két azonos abszolút értékű, de különböző előjelű pontszerű töltést egymástól olyan távol, hogy egyik a másik erőterét gyakorlatilag ne befolyásolja. Ha ezeket közelítjük, akkor egymás erőterét környezetük nagyobb részében fokozatosan lerontják. Ezzel az elektromos mező energiaszegényebb lesz, így - mérhetetlenül kis mértékben - kevesebb anyagot képvisel. A természet a proton és az elektron "összeragasztásakor" nemhogy hozzátesz azok tömegéhez, hanem elvesz belőle. A H-atom tehát szigorú értelemben nem egy protonból és egy elektrontól áll, csupán ezekből kelet-

kezik. Az elektron és a proton végtelen távolból közeli-
tésekör és H-atommá való egyesülésekor 2,2 aJ energia sza-
badul fel, az alapállapot energiája így $E_0 = -2,2 \text{ aJ}$.

A kötési energiát a fizika iránt érdeklődőbb és a mate-
matikailag az átlagosnál képzetesebb osztályokban a követke-
ző gondolatmenet alapján határozhatjuk meg.

A H-atomban a +e töltésű mag /proton/

$$E_{kh} = - e^2 / 4\pi \epsilon_0 r$$

Coulomb-vonzásból származó kölcsönhatási energiával tartja
az elektront. Ha a H-atom sugarát r -nek vesszük, a $\Delta x = r$
és $\Delta p = p_0$ jelölésekkel az $rp_0 = \hbar$ Heisenberg-reláció
alapján az elektron mozgási energiája

$$p_0^2 / 2m = \hbar^2 / 2mr^2,$$

a teljes energia pedig

$$E = \hbar^2 / 2mr^2 - e^2 / 4\pi \epsilon_0 r.$$

A H-atom elektronjának legmélyebb energiájú állapotát tel-
jes négyzetté alakítással nyerjük:

$$E = \frac{\hbar^2}{2m} \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{e^2 m}{4\pi \epsilon_0 \hbar^2} \right)^2 - \frac{e^4 m^2}{(4\pi \epsilon_0)^2 \hbar^4} \right].$$

Az energia akkor a legkisebb, ha

$$1/r = e^2 m / 4\pi \epsilon_0 \hbar^2,$$

vagyis

$$r_0 = 4\pi \epsilon_0 \hbar^2 / e^2 m \approx 0,05 \text{ nm}.$$

Ekkor

$$E_0 = - e^4 m / 32 \hbar^2 \pi^2 \epsilon_0^2 \approx - 2,2 \text{ aJ}$$

A gerjesztett állapotok megtalálásához az elektront is-
mét r sugarú tömbbe zárvaképzeliük el. Változatlan bezárá-
si tartomány esetén 1 csomós állapotban a hullámhossz a
csomómentes állapothoz képest feleződik, ez pedig - a

$\lambda = h/p$ összefüggés alapján - az impulzus kétszereződését
vonja maga után. Ha a csomók száma k , az alaphullám hossza
($k + 1$) -ed részére csökken, amiből

$$p = (k + 1) p_0 \approx (k + 1) \hbar / r$$

következik. A k-csomós állapotban

$$E_k = (k+1)^2 \hbar^2 / 2mr^2 - e^2 / 4\pi\epsilon_0 r.$$

Teljes négyzetté alakítás után a sugárra

$$r_k = r_0 (k+1)^2,$$

az energiára pedig

$$E_k = E_0 / (k+1)^2$$

adódik.

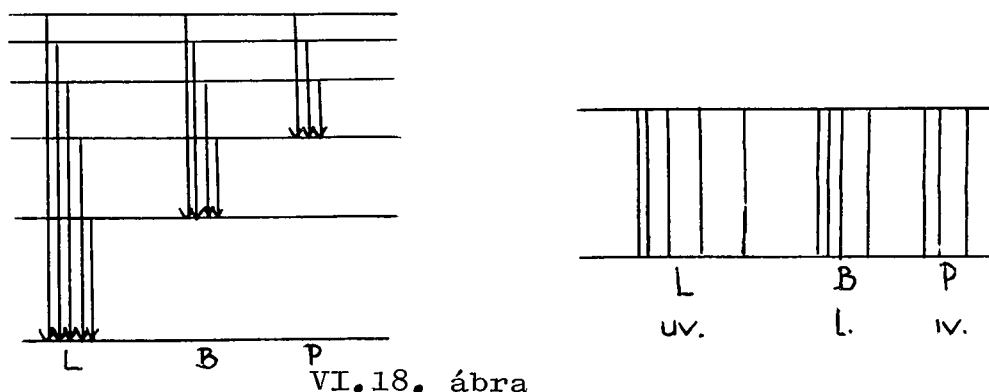
Az alapállapotban levő H-atom sugara kb. 0,05 nm, ami azt jelenti, hogy az elektron az $r_0 = 0,05$ nm sugarú gömbön belüli megtalálási valószínűsége kb. 90 %.

Ehhez a csomómentes állapothoz képest a gerjesztett állapotok magasabb energiaszinteket jelentenek. A k csomós állapot energiája

$$E_k = E_0 / (k+1)^2.$$

A k+1 számot n-nel szokás jelölni és ezt főkvantumszámnak nevezzük.

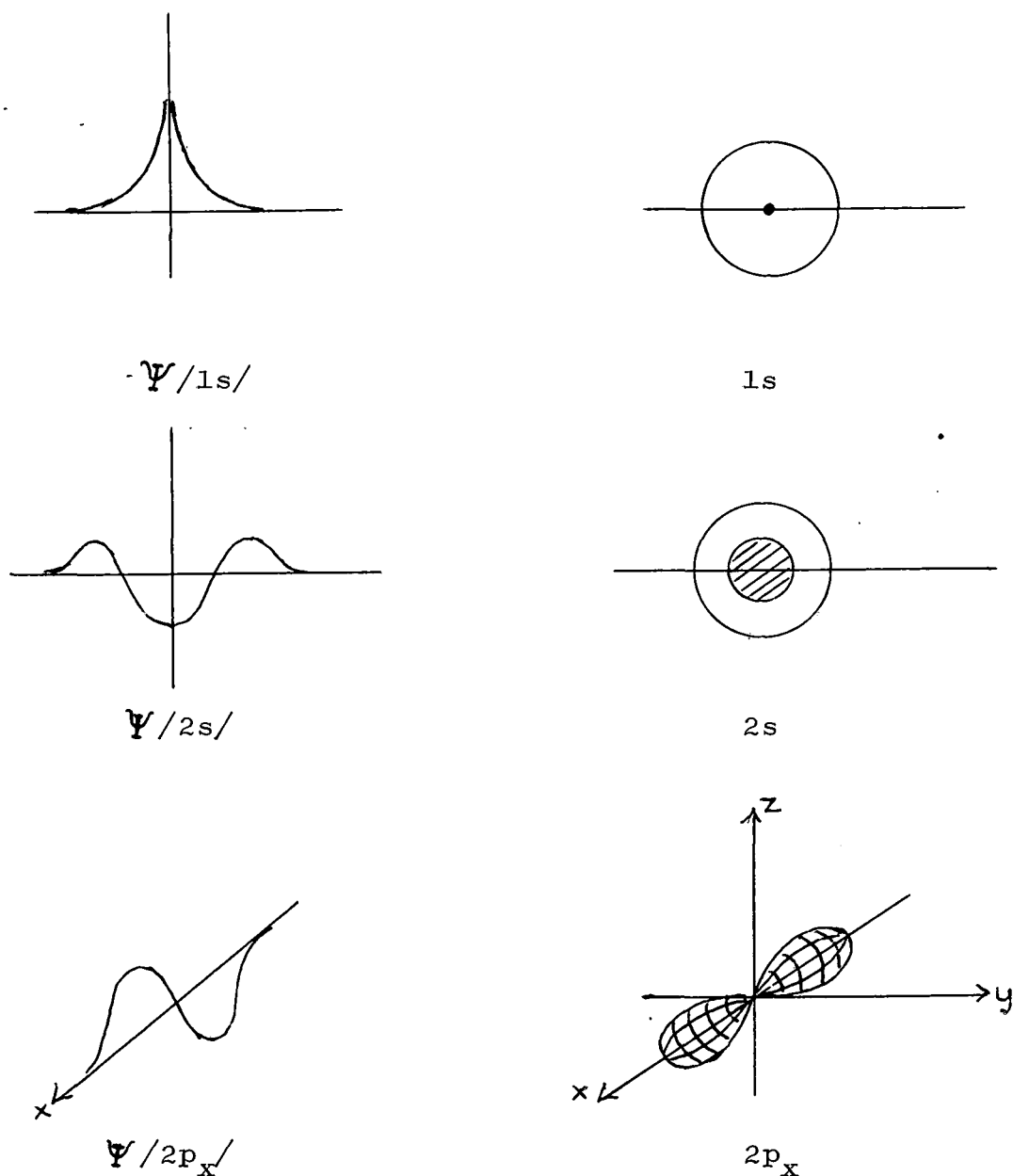
A képletből leolvasható, hogy az egyre nagyobb főkvantumszámú - egymást követő - állapotok közötti energiakülönbség egyre csökken. A H-atom vonalas szinképében egymástól jól elkülöníthető vonalsorozatokat figyelhetünk meg, aszerint, hogy a végállapot főkvantumszáma mennyi. /Emissziós szinképről van szó./ Az $E_k \rightarrow E_1$ átmeneteknek megfelelő vonalsorozatot Lyman-sorozatnak nevezzük, ez az ultraibolya tartományba esik. Az $E_k \rightarrow E_2$ sorozat a Balmer-sorozat, az idetartozó vonalak a látható tartományban vannak. A további $n \geq 3$ végállapothoz tartozó sorozatokat az infravörös tartományban találjuk. /VI.18. ábra/



A H-atom energiaszintjei és azok közötti átmenetek. L-Lyman-, B-Balmer-, P-Paschen-sorozat

A szinképek vizsgálatával foglalkozó tudományág /spektroszkópia/ eredményeit egyre több területen használják fel. Spektroszkópiai vizsgálatokkal következtettek - a különböző égitestek anyagának elemzése során - a világ anyagi egységére, de segítségével igen nagy jelentőségű eredményeket értek el a biológia, az orvostudomány, az élelmiszerkutatás, sőt még a krimonológia területein is.

A H-atom gerjesztett állapotaiban a csomófelületek lehetnek gömbhéjak és síkok. Az első gerjesztett állapotban a csomófelület vagy gömbhéj - ilyenkor az atom továbbra is gömbszimmetrikus -, vagy bizonyos irányt kitüntető, de tengelyszimmetrikus atomállapotot biztosító sík. A csomósíkok iránybeli elhelyezkedése alapvetően háromféle lehet: az x, az y és a z tengelyre merőleges. Ha két csomófelület van, ezek eloszlása lehet két gömbhéj, egy gömbhéj és egy sík, vagy két sík. A gömbszimmetrikus elektronállapotokat "s" állapotoknak, az egy csomósíkos állapotokat p állapotoknak, a két csomósíkos állapotokat pedig d állapotoknak nevezzük. Mivel az egyes elektronállapotoknál fontos az összes csomófelület száma, amit főkvantumszámmal jellemezhetünk $k+1 = n$, az alapállapot jele 1s, az első gerjesztett állapotok 2s, vagy 2p /VI.19. ábra/, a második gerjesztett állapotok pedig 3s, 3p, vagy 3 d állapotok lehetnek.



VI.19. ábra

Az elektron állapotfüggvényei és térbeli elhelyezkedése a H-atomban

Ezeket célszerű a táblára felrajzolni, vagy írásvetítővel kivetíteni. Az elektronpályák alakját jellemző s, p, d, f... állapotoknak megfelelő $\ell = 0, 1, 2, \dots, n-1$ kvantumszámokat mellékkvantumszámnak nevezzük.

A különböző alakú csomófelületekhez tartozó energiaszintek kissé eltérnek egymástól. A síkcsozó esetén igaz, hogy az állapotfüggvény görbültsége - vagyis a mozgási energia - kisebb, de mivel a csomósík az atommagon áthalad,

a kölcsönhatási energia szempontjából legkedvezőbb helyeken nem fordulhat elő az elektron. Ezért igaz az, hogy a csomógömbös állapot a hozzá tartozó nagyobb mozgási energia ellenére is mélyebben van, mint az ugyanilyen főkvantumszámhoz tartozó csomósikos állapot.

A több elektront tartalmazó atomoknál az elektronok között fellépő taszító hatás jelentősen befolyásolja az atomok energiaszintjeit. Erre vonatkozóan általában igaz, hogy /ha értelmé van/ az ns , $(n-1)d$, $(n-2)f$ állapotok energiája nem lényegesen különböző, de mindig kisebb az np állapot energiájánál.

A térbeli irányultságot jellemző ún. mágneses kvantumszám /jele m / úgy változhat, hogy közben $-\ell \leq m \leq \ell$, így egy adott ℓ mellékkvantumszámhoz $2\ell+1$ mágneses kvantumszám tartozik /a p állapotból $3, d$ -ből ötféle irányítású létezik/.

Az elektronoknak a maggal való kölcsönhatásától függetlenül létezik saját impulzusmomentuma, ez a spin. A spin csak $\pm \hbar/2$ értéket vehet fel, a hozzá tartozó spinkvantumszám értéke csak $s = \pm 1/2$ lehet.

Ezek alapján valamely n főkvantumszámhoz tartozó különböző elektronállapotok száma $\sum_{\ell=0}^{n-1} 2(2\ell+1) = [2+2(2n-1)] n/2 = 2n^2$ /8, 22., 27., 42./

A természetben mindig érvényesül az energiaminimumra törekvés elve. Bármely rendszer az adott lehetőségekhez képest a legalacsonyabb energiájú állapotát igyekszik megvalósítani. Ez alapján arra gondolhatnánk, hogy a nagyobb rendszámú elemek elektronjai mind az $1s$ állapot megvalósítására törekednek. A tapasztalat azonban mást mutat. Pauli /1925-ben/ fogalmazta meg, hogy az elektronokat tartalmazó rendszerben nem lehet két, vagy több olyan elektron, amelynek mind a négy kvantumszáma megegyezik. Az energiaminimumra törekvés elve tehát csak a Pauli-elv által meghatározott korlátok között érvényesülhet.

További tapasztalati törvény az un. Hund-szabály, mely szerint az elektronok úgy helyezkednek el az atomokban, hogy - a Pauli-elv és az energiaminimumra törekvés elve keretein belül - a lehető legnagyobb legyen az eredő spin, tehát az azonos energiaszintet kijelölő elektronpályák úgy töltődnek fel, hogy először mindegyikbe azonos spinkvantum-számmal lépnek be az elektronok. E három szabály figyelembevételével a Mengyelejev-féle periódusos rendszer már felépíthető. Az első néhány elem felépítését célszerű írásve-títő transzparens-sel bemutatni.

Az atomok kémiai minőségét az atommagban levő protonok száma határozza meg.

Az elektronszerkezet legkülső - általában még le nem zárt - héját vegyértékhéjnak nevezzük. Itt a leggyengébb az elektronok maghoz való kötődése, így főleg ez a héj határozza meg a kémiai sajátosságokat. Azok az elemek, melyek atomjainak vegyértékhéja azonos szerkezetű, hasonló kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. A nemesgázok - a He kivételével - 8 elektront tartalmaznak a vegyértékhéjukon. Ez az un. nemesgázszerkezet rendkívül stabilis, ezért a nemesgázok csak nehezen vihetők kémiai reakciókba. /8., 22., 42./

Az állandó mozgásban levő atomok más atomokkal találkozáva, azokkal kölcsönhatásba léphetnek, összekapcsolódhatnak, miközben energiát adnak le. Az így létrejövő molekulák vizsgálatát a közülük legegyszerűbb H_2 molekula kialakulásával célszerű kezdeni.

Ha egy H-atom közelébe egy proton kerül, akkor ez a H-atom elektronját vonzza, míg a H-atom protonját taszítja. Az energetikailag legkedvezőbb állapotban az elektron főként a protonok között, de mindenképpen a két H-mag együttes vonzástartományában található. A H_2^+ -ion szerkezetét az elektron és az atommagok között fellépő vonzás, az elektron bezártságából adódó nyüzsgése és a két atommag kölcsönös taszítása alakítja ki. Az ilyen állapot, amikor egy elektron

több atommag vonzástartományában mozoghat s így több maghoz tartozik, a molekulaállapot. Az egyetlen atommaghoz tartozó elektronállapot neve atomállapot. A molekulaállapotban levő elektron energiája általában kisebb az eredeti atomállapot energiájánál. Az atomok olyan kapcsolódását, amelyet molekulaállapotban levő elektron létesít, kovalens kötésnek nevezzük.

A H_2^+ -ion - pozitív töltése miatt - újabb elektron megkötését teszi lehetővé. Az újabb elektron is csomómentes állapotba kerülhet, ha spinje ellentétes a már ottlevő elektron spinjével, /Pauli-elv/. Ezek szerint két H-atomból csak akkor alakulhat ki H_2 -molekula, ha elektronjaik spinje ellentétes. Az így létrejövő H_2 -molekulában mindkét elektron energiája mélyebb lesz, mintha egy H-atomban lenne.

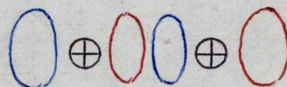
A H_2 -molekulában két H-atom ls állapotából alakul ki a molekulapálya, ami a két atommagot összekötő ún. molekulatengely körül forgásszimmetrikus. Az ilyen molekulapálya által létesített kötést σ -kötésnek nevezzük /VI.20. ábra/. Az atommagokon átmenő csomósikkal rendelkező molekulapálya létesíti a π -kötést /VI.21. ábra/.

Bonyolultabb molekuláknál olyan elektronállapotok is megvalósulhatnak, melyeknek az atommagok között csomófelülete van. Ezt lazító molekulaállapotnak nevezzük. Ha a molekulaállapotnak nincs a két atommag között csomófelülete, kötő molekulaállapotról van szó. Kötő elektronpár akkor alakul ki, ha mindkét atomban van páratlan /egy atomállapotban magányosan tartózkodó/ elektron. Ekkor a két atompálya egybeolvad, a létrejövő kötő molekulapályán pedig mindkét elektron elfér /Pauli-elv/. Az elektron mind a σ -, mind a π -kötésben lehet lazító és kötő állapotban is.



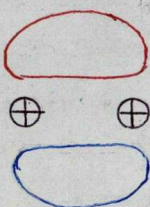
VI.20/a. ábra

Kötő σ -állapot



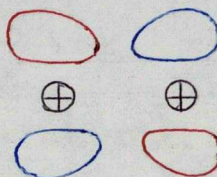
VI.20/b. ábra

Lazító σ -állapot



VI.21/a. ábra

Kötő π -állapot



VI.21/b. ábra

Lazító π -állapot

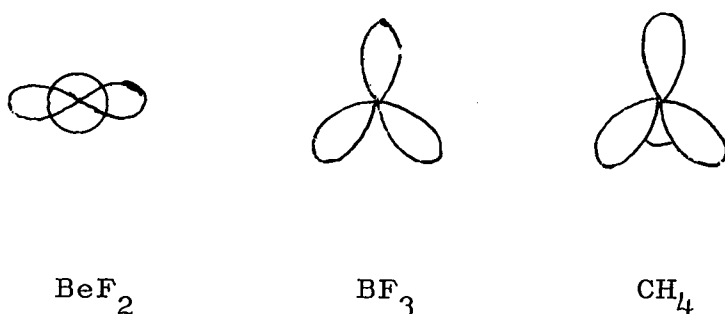
Az atomállapothoz viszonyítva a kötő molekulaállapot energiája mélyebb, a lazító molekulaállapotáé pedig magasabb. Így világos, hogy a molekulákban mindig csak a kötő molekulaállapot fordulhat elő nagyobb számban.

A nagyobb atomokból felépülő molekulákban az elektron-szerkezetet leíró elektronállapotokat újabb és újabb csoport betételével kereshetjük meg. Az egyes elektronok jelenlétsűrűségéről részletesebb képet kaphatunk, ha az eredeti atomállapotoknak megfelelő állapotfüggvények előjeles összegét vesszük, a szuperpozíció elvének megfelelően.

A bonyolultabb molekulák alakját a Gillespie-modell segítségével tehetjük szemléletessé. A modell megalkotásához a következőket kell tudni. A centrális atomtörzs körüli elektronpárok taszítják egymást, ezért úgy helyezkednek el a rendelkezésükre álló térben, hogy egymástól minél távolabb kerüljenek. A magános /nem kötő/ elektronpárok és a

többszörös kötések taszító hatása jobban érvényesül, vagyis térigényük nagyobb, mint az egyszeres kötésben levő elektronpároké.

Kettő, három, illetve négy kötő elektronpár elhelyezkedését a BeF_2 , a BF_3 és a CH_4 példáján mutathatjuk be.
/VI.22. ábra/



VI. 22. ábra

Kettő, három, illetve négy kötő elektronpár
elhelyezkedése

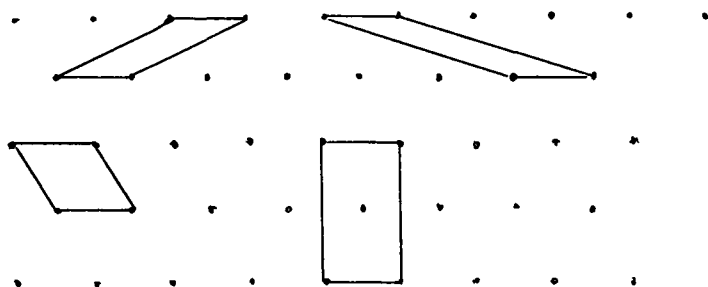
A vízmolekulaalakját az oxigén nem kötő elektronpárja úgy befolyásolja, hogy a két hidrogén az oxigén helyéről nézve kb. 105° -os szögben látszik. Mivel a kötő elektronpárok nagyrészt a H és az O közötti térrészben találhatók, a vízmolekula H-ek felé eső része enyhén pozitív, míg a O felé eső része enyhén negatív töltésű. A vízmolekulák között tehát ún. másodlagos kötés jöhet létre, melynek neve hidrogénhidkötés. Energetikailag az olyan elrendeződés a legkedvezőbb, melyben bármely két O-t összekötő szakaszra egy H esik. Az ilyen elrendeződés térigénye nagyobb más állapotokéhoz képest. Ez alapján magyarázható, hogy a víz sűrűsége 4°C -on a legnagyobb, és a fagyás közben tágulás következik be, ami biológiai szempontból is alapvető fontosságú jelenség.

Érdeklődőbb osztályban a hibridpályák kialakulását is részletezhetjük. Ez sem terheli meg túlságosan a tanulókat, mert a periódusos rendszer felépítésével kezdődően igen sok olyan ismeret szerepel, amelyet már az első osz-

tályos kémia keretében is hallottak. Ott azonban kevésbé részletesen és - véleményem szerint - eléggé megalapozatlanul kellett ezt az anyagot feldolgozni. Az anyagrész jól mutatja a kémia és a fizika szoros kapcsolatát, emellett hozzájárulhat a tanulók kémiai műveltségének fejlesztéséhez is. /3., 8., 22., 27./

A fémek, a félvezetők és a szigetelők elektromos vezetőségének magyarázatához szükséges sáv szerkezet megértése szempontjából fontos, hogy a tanulók tisztában legyenek a szilárdtestek kristályszerkezetének főbb kérdéseivel. Ezért az ide vonatkozó - az első osztály fizika tananyagában szereplő - részek átismétlése, pontosítása és kiegészítése jelentős mértékben járulhat hozzá az anyagrész sikeres feldolgozásához.

A kristályos anyagokat felépítő egységek /atomok, molekulák, ionok/ szabályos térbeli elrendeződését pontrácossal modellezhetjük. A ponthálózat pontjait párhuzamos egyenes-seregekkel összekötve ún. elemi cellákat kapunk. /VI.23. ábra/



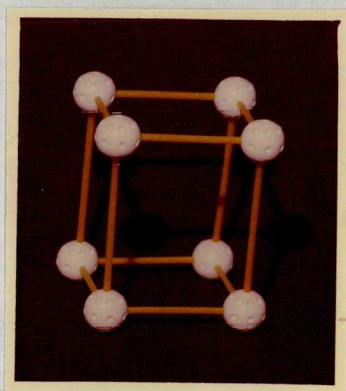
VI. 23. ábra

Adott pontrácshoz rendel-
hető elemi cellák

Egy-egy konkrét pontrács esetén az elemi cellák meghatározását egyértelművé kell tenni. Az elemi cellákat min-

dig úgy kell meghatározni, hogy oldalai minél rövidebbek legyenek, szögei minél jobban közelítsék a 90° -ot, forgási és tükrözési szimmetriájuk pedig a ponthálózat szimmetriájának feleljen meg. Ha ezek a szempontok ütköznének, a választás a szimmetriának megfelelően történik. Ha a megfelelő elemi cella kiválasztásakor egy cellára átlagosan egy rácspont jut, akkor primitív elemi celláról, ha több rácspont tartozik hozzá, akkor többszörösen /2-szeresen, 3-szorosan stb./ primitív elemi celláról beszélünk.

Bravais francia matematikus mutatta ki, hogy bármely térbeli pontrács 14 féle elemi cellából felépíthető. Ezeket "Babilon" építőjátékból elkészített modellekkel be is mutathatjuk /VI.23-36. ábra/.



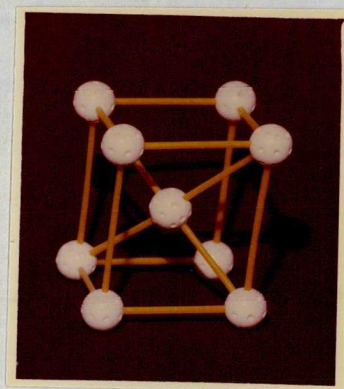
VI.23. ábra

Rombos

$$a_1 \neq a_2 \neq a_3 \neq a_1;$$

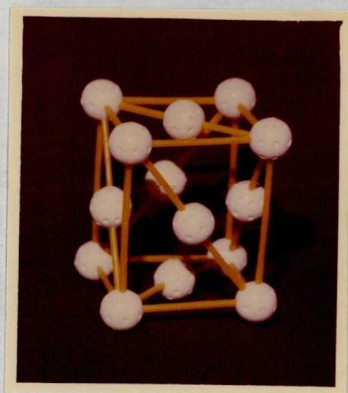
$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90^\circ$$

/primitív/

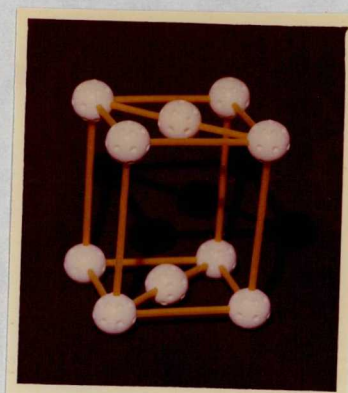


VI.24. ábra

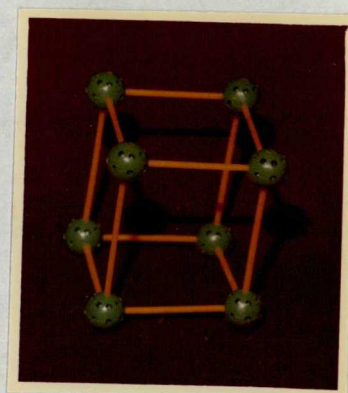
Rombos /tércentrált/



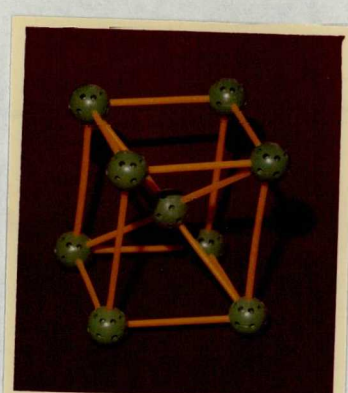
VI. 25. ábra
Rombos /lapcentrált/



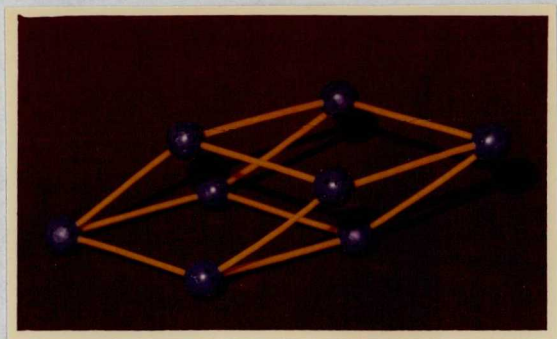
VI. 26. ábra
Rombos /lappáron
centrált/



VI. 27. ábra
Tetragonális
 $a_1 = a_2 \neq a_3$;
 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90^\circ$
/primitív/



VI. 28. ábra
Tetragonális
/tércentrált/



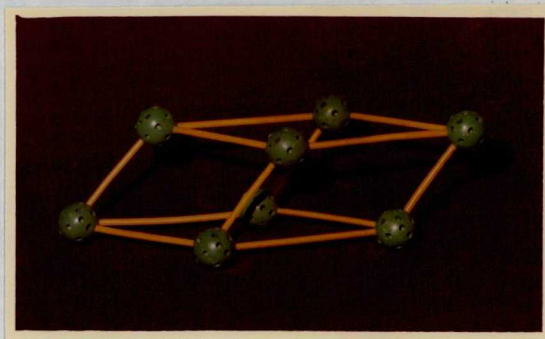
VI. 29. ábra

Romboéderes

$$a_1 = a_2 = a_3;$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \neq 90^\circ$$

/primitiv/



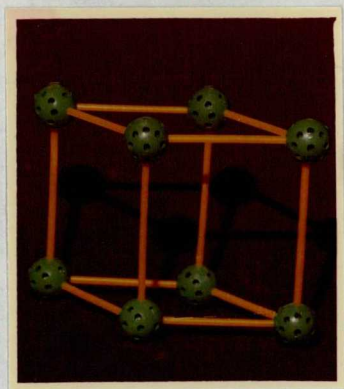
VI. 30. ábra

Trinklin

$$a_1 \neq a_2 \neq a_3 \neq a_1$$

$$\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_1$$

/primitiv/

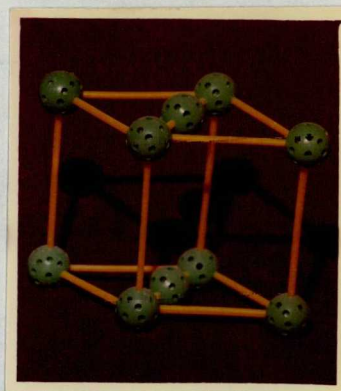


VI. 31. ábra

Monoklin

$$a_1 \neq a_2 \neq a_3 \neq a_1;$$

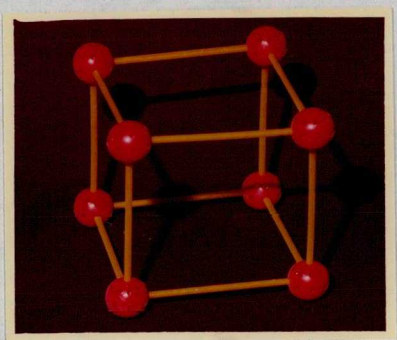
$$90^\circ = \alpha_1 = \alpha_2 \neq \alpha_3$$



VI. 32. ábra

Monoklin

/lappáron centrált/



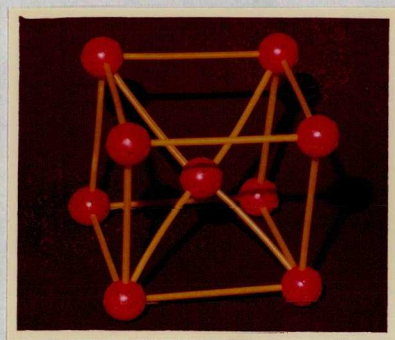
VI. 33. ábra

Köbös

$$a_1 = a_2 = a_3;$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90^\circ$$

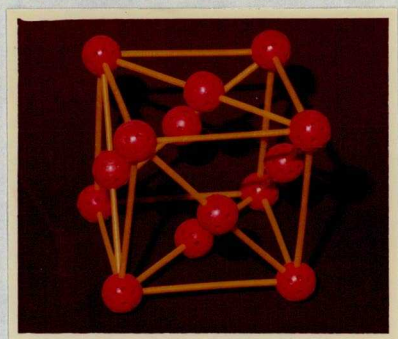
/primitív/



VI. 34. ábra

Köbös

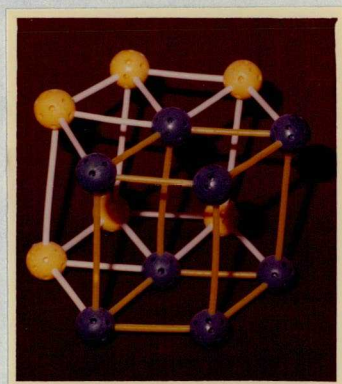
/tércentrált/



VI. 35. ábra

Köbös

/lapcentrált/



VI. 36. ábra

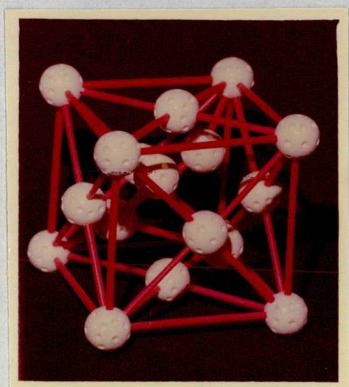
Hexagonális

$$a_1 = a_2 \neq a_3;$$

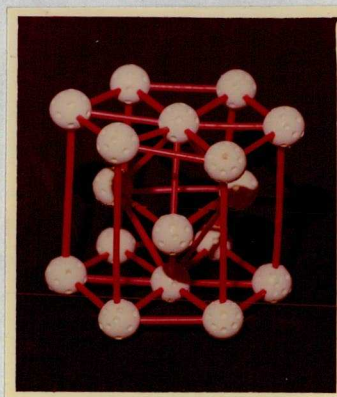
$$\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ;$$

$$\alpha_3 = 120^\circ \text{ /primitív/}$$

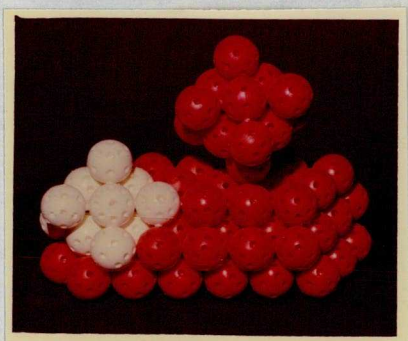
A leggyakrabban előforduló elemi cellák a lapcentrált köbös /VI.35. ábra/, a tércentrált köbös /VI.34. ábra/, a legszorosabb illeszkedésű hatszöges /VI.38. ábra/ és a gyémántszerkezet /VI.37. ábra/. Az utóbbi két szerkezet elemi cellája több Bravais-cella egymásba tolásával alakítható ki. A legszorosabb térkitöltést biztosító lapcentrált köbös és legszorosabb illeszkedésű hexagonális szerkezetet a legszorosabb illeszkedésű kristálytani síkok egymásra helyezésével lehet felépíteni. Ezt is célszerű modellel szemléltetni. /VI.39, 40. ábra/



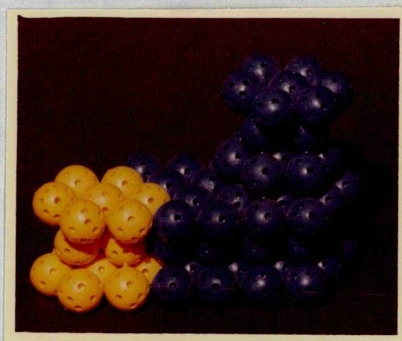
VI.37. ábra
Gyémántszerkezet
elemi cellája



VI.38. ábra
Legszorosabb illesz-
kedésű hexagonális
szerkezet elemi cel-
lája



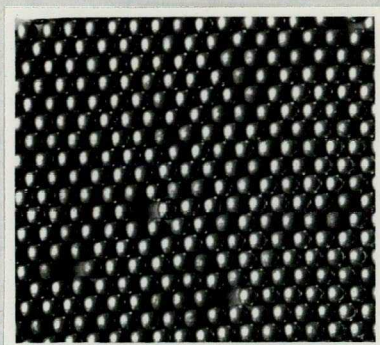
VI. 39. ábra
Lapcentrált köbös
szerkezet felépi-
tése



VI.40. ábra
Legszorosabb illeszkedésű
hexagonális szerkezet fel-
építése

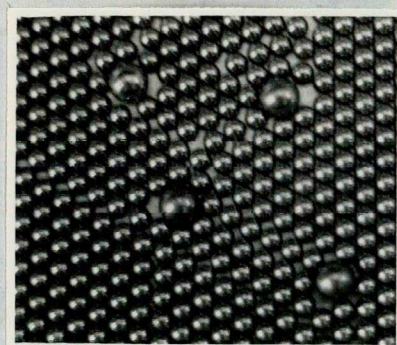
A valóságban előforduló kristályok kisebb-nagyobb eltéréseket mutatnak az ideális kristályhoz képest. Már csak azért sem alakulhat ki ideális kristály, mert ennek végtelen kiterjedésűnek kellene lennie. Az ideális szerkezettől való eltéréseket kristályhibáknak nevezzük annak ellenére, hogy ezek az eltérések az adott kristály felhasználása szempontjából gyakran kívánatosak.

A kristályhibákat kiterjedésük szerint osztályozzuk. A vakanciát /VI.41.ábra/, az intersticiális és a szubsztituciós /VI.42.ábra/ szennyezést ponthibának nevezzük. Vonalhibák az él- és a csavardiszlokációk /VI.43., 44. ábra/, felületi hibák a szemcsehatárok /VI.45.ábra/, a rétegződési hibák és a kristályt határoló felületek, térfogati hibák a fáziskiválások és a makroszkópikus repedések, sérülések. A vakanciát, a szubsztituciós szennyezést és a szemcsehatárokat pl. üvegcsészébe helyezett golyókkal modellezhetjük, a diszlokációkat és az intersticiális szennyezést Babilon játékból készült modellekkel mutathatjuk be.



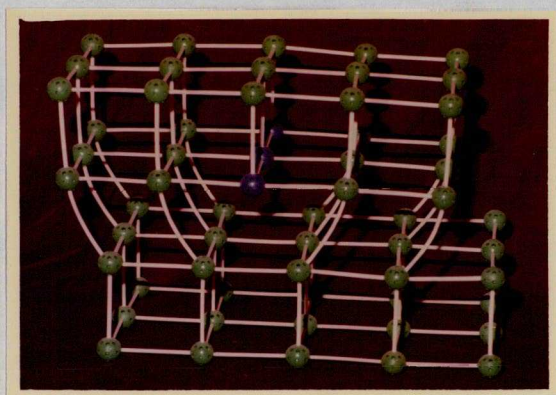
VI. 41. ábra

Vakancia

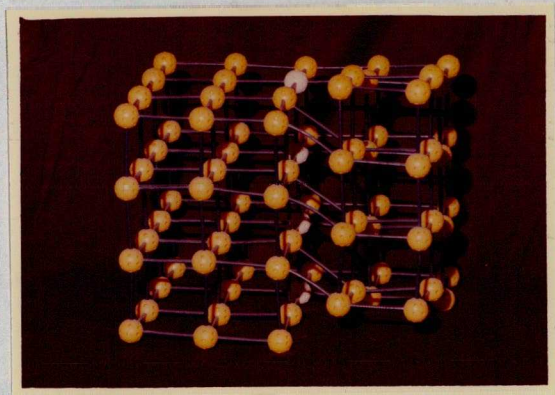


VI. 42. ábra

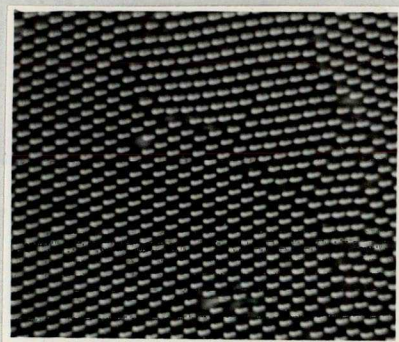
Szubsztituciós
szennyezés



VI. 43. ábra
Éldiszlokáció



VI. 44. ábra
Csavardiszlokáció



VI. 45. ábra
Szemcsehatár

A rácshibáknak azért van különös jelentőségük, mert megváltoztatják a kristály bizonyos /pl. mechanikai, vagy elektromos/ tulajdonságait. Gyakran ilyen hibák előidézése a feladat, hogy ezáltal a kristály tulajdonságai éppen a kívánatossá váljanak.

Sok diszlokációvonal kialakításával kristályunkat merevebbé tehetjük. Ezt demonstrálja az a kísérlet, mely során a sokszor megcsavart rézdrót egy darabját puhafába szögként beverhetjük, míg maga a drót hasonló hosszúságú darabja elgörbül. A diszlokációvonalak megszüntetését felhevitéssel érhetjük el /ujrakristályosodás/.

A kovácsolt vasat is a sok ütés nyomán kialakuló diszlokációvonalak teszik merevvé.

A szennyező atomok is rideggé tehetik a különben rugalmas kristályt /ilyen eredetű az acél és az öntött vas közötti különbség/.

Az elektromos tulajdonságok szennyezésekkel történő befolyásolása a félvezetők tanulmányozásakor még részletezésre kerül. /18., 21./

Mivel az anyagok fizikai tulajdonságai erősen függenek azok szerkezeti felépítésétől, fontos, hogy a kristályszerkezetek néhány vizsgálati módszerét megismerjék a tanulók.

A tér-elektronmikroszkóp egy olyan vákuumcső, amelyben katódként finom fémcsúcsot alkalmaznak. Ez kb. 10^{-5} cm sugarú félgömbnek felel meg. A csúcson jelentkező igen nagy térerősség onnan elektronokat vált ki /téremisszió/, melyek a csúcs felületére merőleges irányban egy fluoreszkáló ernyőre jutnak. Így az ernyőn kb. milliószeres nagyításban jelenik meg a csúcs kristályszerkezetét, vagy a csúcsra gőzölögtetett anyag szerkezetét jellemző kép.

A kristályok szerkezete térbeli ráccsal jellemezhető, így megfelelő hullámhosszú sugárzást átbocsátva rajtuk, a rácsra jellemző interferenciakép alakul ki. A sugárzás hullámhosszának az 1-2 Å-ös rácsállandó nagyságrendjébe kell esnie. Az alkalmazható sugárzások közül a röntgensugarak az atomok elektronburkával, az elektron- és a neutronsugarak pedig az atommaggal lépnek kölcsönhatásba. Gimnáziumokban elegendő a gyakorlatilag legjelentősebb röntgendiffrakciós módszerrel foglalkozni.

A kristályra beeső és a kristály atomjain minden irányban szóródó koherens röntgensugarak - a kristály periódikus felépítésének megfelelően - bizonyos irányokban erősítik egymást. Az elhajlási kép felfogható úgy, mintha a sugarak a kristály atomsíkjairól - mint siktükrökről - verődénének vissza. A maximális erősítés feltétele

$$2d \sin \alpha = n \lambda ,$$

ahol d a kristálysíkok távolságát, α a beesési szög pót-szögét, λ pedig a sugárzás hullámhosszát jelenti. Ez az ún. Bragg-feltétel. Az eltérülés szöge mindig mérhető, ezért ha ismert a rácsállandó, akkor a sugárzás hullámhossza, ismert hullámhosszú sugárzás esetén a kristálysíkok távolsága határozható meg. "Fehér" /nem monokromatikus/ röntgensugarakat alkalmazva csak a szimmetriaviszonyokra lehet következtetni.

A polikristályok megfelelő hőkezelés és mechanikai beavatkozások alkalmazásával reális egykristállyá tehető, ezért elegendő az egykristályok szerkezetét vizsgálni.

A Laue-féle eljárás során adott helyzetű kristályt adott irányítású "fehér" röntgenfénnel világítanak meg, így van a különböző kristálysíkokhoz a Bragg-feltételt kielégítő hullámhosszú röntgensugár. Az egyes kristálysíkok különböző intenzitású foltokat eredményeznek, de mert az ezekhez tartozó hullámhosszak nem ismertek, a módszer csak a szimmetriaviszonyok megállapításához elégséges. A Laue-diagramok kiértékelése a szakemberek számára is igen nehéz feladatot jelent.

A Bragg-féle forgókristály módszer lényege, hogy adott hullámhosszú, monokromatikus röntgensugarakkal világítják meg a forgatott, vizsgálandó kristályt. A Bragg-feltételnek megfelelő beesési szögnél a visszavert sugárzás megjelenik az ernyőn, vagy a fotolemezen. A különböző hullámhosszaknak különálló vonalak felelnek meg, az optikai szinképekhez hasonlóan.

A Debye-Scherrer-féle kristálypor módszernél a préselt kristálypor a forgatást kűszöböli ki, hiszen ebben mindenféle irányítással szerepelnek az egyes kristálysíkok. A keletkező elhajlási kép koncentrikus körökből tevődik össze. /5., 18., 30./

A kristályos szerkezetű anyagok között a fémek a legjelentősebbek, mivel mechanikai, termikus és elektromos tulajdonságaik igen széleskörű felhasználásukat teszik le-

hetővé. A fématomok vegyértékhéján kevés elektron található, amelyek az atommagtól viszonylag messze vannak, így csak lazábban kötődnek a maghoz. Ezek az elektronok a fématomok kapcsolódásakor leszakadnak, és az összes atommag vonzó hatása alá kerülnek. Az így létrejövő ún. delokalizált elektronok valamennyi atommaghoz egyaránt tartoznak, és az általuk létesített fémes kötés tartja össze az atomokat.

A delokalizált elektronok lehetséges állapotainak jobb megértéséhez hasznos az elemzést egy igen egyszerű, képzeletbeli esettel kezdeni. Tekintsünk egy egyenes mentén elhelyezkedő 4 db H-atomból álló "kristályt"! A négy proton vonzástartományában a delokalizált elektronok energiaszintjeit a csomómentes, az egycsomós, a kétcsomós és a háromcsomós állapotok jelölik ki. A Pauli-elvnek megfelelően mindegyik energiaszinten két-két elektron fordulhat elő. Alapállapotban a csomómentes és az egycsomós állapotot tekintené a négy elektron. Mivel csomómentes állapotban az elektronok a szomszédos protonok között mindehol előfordulhatnak, három kötésnek megfelelő állapot alakul ki. A csomók belépése egyrészt cifrább állapotvonalat - így nagyobb mozgási energiát - jelent, másrészt a magok elektromos vonzása szempontjából kedvező helyekről szorítja ki az elektronokat. Egy csomó esetén két kötés és egy lazítás, két csomó létrejöttével két lazítás és egy kötés, míg három csomós állapotban 3 lazítás alakul ki. A két alsó energiaszint tehát az 1s atomállapotnak megfelelő energiaszint alatt helyezkedik el, míg a másik kettő ennél nagyobb energiaértéket jelöl ki. A lehetséges molekulaállapotok pontosabb leírása az atomállapotok előjeles összegzésével nyerhető. További atomoknak a kristályba épülése eggyel növeli a lényegesen különböző molekulaállapotok /csomók/ számát, így n atomból felépülő kristálynál a fémes kötésben résztvevő elektronok energiaszintjei n db, egymáshoz igen közel eső energiaszintre hasadnak fel. Mivel az atomállapotok felhasadt energianívói igen közel esnek egymáshoz, ezek egy folytonosnak tekinthető, ún. megengedett sávot határoznak

meg. A fémes kötést nem létesítő elektronok - amelyek csupán egy-egy mag vonzástartományába esnek - energiaszintjei is felhasadnak, hiszen a véges kiterjedésű kristályban az egyes atomok környezete nem egyezhet pontosan. Így a delokalizált elektronok alkotta "elektrongázban" elhelyezkedő, nemezgáz-szerkezetű pozitív ionok minden egyes ionra kissé különböző elektromos mezővel hatnak, tehát annak energiaszintjeit különbözőképpen befolyásolják. Ezek a szintek is megengedett sávokat alkotnak.

A kristály elektronjainak energiája csak a megengedett sávokon belüli értékeket vehet fel. A megengedett sávokat un. tiltott sávok választják el egymástól.

A kristályokat alkotó atomok elektronjainak minden energiaszintje annyi diszkrét energianivóból összetevődő sávvá szélesedik, ahány atomból épül fel az adott kristály. A megengedett sávon belüli energiaszintek különbsége 10^{-23} aJ nagyságrendű. Minél nagyobb kiterjedésű egy adott felépítésű kristály, a határoló felületek által okozott aszimmetria annál jelentéktelenebb, így a megengedett sávok energiaszintjei annál kisebb mértékben különülnek el.

Az egyes energiaszintek felhasadásának mértékét a kristályszerkezet is befolyásolja. Ha kisebb a kristályt felépítő szomszédos atomok távolsága, akkor egy belépő csomó jobban megemli az elektrosztatikus energiát, így a felhasadás kifejezettebbé válik.

Az alsó sávok szélessége éppen azért kisebb, mert a belső elektronpályákon levő elektronokra nézve egyre inkább csak a hozzátartozó mag hatása a jelentős.

Az egyes atomok egyre magasabb szomszédos energiaszintjei közötti különbség egyre kisebb, az egyre magasabb energianivók felhasadása viszont egyre erőteljesebb, így a nagyobb rendszámú, szoros illeszkedésben kristályosodó elemek felső energiasávjai át is fedhetik egymást /pl. Mg/. /42./

A kristályokra vonatkozóan is érvényes az energiaminimumra törekvés elve és a Pauli elv. Minden egyes energia-

szinten két elektron tartózkodhat, és az elektronokkal teljesen betöltött sávokban $2n$ elektron van $/n$ a kristályt felépítő atomok száma/. Egy szabad sáv /alapállapotban/ lehet üres, betöltött, vagy félig betöltött. Félig betöltött sáv akkor alakul ki, ha a kristályt felépítő atomok alapállapotához tartozó felső energiaszinten csak egy elektron van /pl. Na/.

A legfelső teljesen betöltött sávot valenciasávnak nevezzük, az e feletti sáv a vezetési sáv, amely vagy üres, vagy félig betöltött. Ha a vezetési sáv félig betöltött, vagy a valenciasáv és a vezetési sáv átlapolja egymást, roppant kis energia elegendő az ott elhelyezkedő elektronok elmozdításához. Az ilyen anyagok nemcsak jó elektromos vezetők, hanem a kis energiájú elektromágneses hullámok elnyelésére is alkalmasak. Ez magyarázza, hogy a kis elektromos ellenállású anyagok a látható fényt is elnyelik, vagy visszaverik. A sávmodell alapján világos, hogy az elektronok energiaváltozása a megfelelő betöltetlen szabad sávokon belül folytonos lehet, így érthetővé válik a szilárdtestek folytonos szinképe is.

Ha a vezetési sáv üres, és ezt kb. 1 aJ szélességű sáv választja el a valenciasávtól, akkor a kristály elektronjai csak viszonylag nagy energiával mozdíthatók el. Ezek a szigetelők. A gyémánt esetén a valenciasávot a vezetési sávtól $0,96 \text{ aJ}$ szélességű tiltott sáv választja el. Ez az energia ultraibolya foton energiájának felel meg, így a gyémánt átlátszó, hiszen elektronjai látható fotonokkal nem gerjeszthetők.

A jó vezetők és a szigetelők között átmenetet képeznek a félvezetők, amelyeknél a vezetőképességet meghatározó tiltott sáv szélessége $0,05\text{--}0,5 \text{ aJ}$ közötti érték. Ezek az anyagok alacsony hőmérsékleteken szigetelőként viselkednek, de már szobahőmérsékleten is előfordulhat, hogy termikus gerjesztés folytán elektronok lépnek át a valenciasávból a vezetési sávba, így az elektromosságot kismértékben vezetik. Ezen anyagok vezetőképessége a hőmérséklettel növekszik.

szik, ellentétben a fémeknél tapasztaltakkal. A félvezetők valenciasávjának elektronjait a látható fény is gerjesztheti, így ezen félvezetők is átlátszatlanok, továbbá megvilágításuk erősítésével is növelhető a vezetőképességük.

A vegyileg tiszta félvezetőkben az elektromos áramot a gerjesztéssel keletkező töltéshordozópárok vezetik. Ekkor ugyanannyi elektron vesz részt a vezetésben, mint amennyi lyuk. A gerjesztett állapotban levő elektronok bizonyos hányada visszatér az alapállapotba, így ezek mennyiségének megfelelő töltéshordozópár megszűnik. Ez a folyamat a rekombináció.

A félvezető kristályok vezetőképességét szennyezéssel is lehet befolyásolni. Ha a négy vegyértékű germániumot öt vegyértékű arzénal szennyezzük, akkor egy-egy As atom egy-egy Ge atom helyére épül be /szubsztitúciós szennyezés/, és így az As egy vegyértékelektronja nem tud a szomszédos Ge atomokkal kovalens kötést létesíteni, ezáltal könnyen leszakadhat, és részt vehet az elektromos vezetésben. Az ilyen többletelektronok energiaszintjeinek tehát közel kell lenniök valamilyen betöltetlen megengedett energiaszintekhez. Ezek az energianívók csak közvetlenül a valenciasáv alatt /kb. 0,01 aJ "távolságra/ helyezkedhetnek el. Az elektron-többletet adó szennyezést donor, vagy n-típusú szennyezésnek, az ujonnan kialakult energiaszinteket donornívóknak nevezzük.

A szintén négy vegyértékű szilíciumot három vegyértékű indiummal szennyezve ismét a vezetőképesség növekedését lehet elérni. A rácspontokba beépülő In-atom mindhárom elektronja kovalens kötésbe lép a szomszédos Si atomokkal, sőt ha volna még egy negyedik vegyértékelektronja, az is alkalmas lenne erre. Ezért az In képes felvenni további egy elektront, amely csak valamelyik Si atomtól származhat, így ott elektronhiány keletkezik, ahonnan a szóban forgó elektron távozott. Az ilyen elektronok elmozdulásához szükséges energia szintén kicsi. Olyan üres energiaszinteknek kellett tehát kialakulniuk, amelyek közel vannak a valenciasáv felső

széléhez. Ezek az akceptornívók, a szennyezés pedig az akceptor, vagy p-típusú szennyezés. A vezetést - bár elektronok elmozdulásával kapcsolatos - úgy tekintjük, hogy a pozitív töltésnek megfelelő lyukak végzik.

A kristályok elektromos vezetési tulajdonságait a valenciasáv és a vezetési sáv határozza meg. Fontos szerepe van annak a legmagasabb energiaszintnek, amelyet 0 K-nél az elektronok még teljesen betöltenek. Ezt Fermi-nivónak nevezzük. A Fermi-nivónak más definíciója is lehetséges: az az energiaszint, amely fölött egy adott hőmérsékleten ugyanannyi energianívó van betöltve, mint amennyi üres alatta. A Fermi-nívó meghatározása pl. a kilépési munka mérésével lehetséges. A módszer szigorú értelemben csak a gerjesztés nélküli elektronokat tartalmazó kristálynál adna pontos eredményt. A pontosságot befolyásolja a termikus gerjesztés is, különböző hőmérsékleteken más és más értéket kapnánk a Fermi-nivóra, pedig ez a hőmérséklettől független. Különböző Fermi-szintű vezetőket érintkezésbe hozva - az energiaminimumra törekvés elvének megfelelően - a magasabb Fermi-nivójú anyagból elektronok lépnek át a másikba mindaddig, míg a két rész Fermi-nivója ki nem egyenlítődik. Persze két fém érintkezésbe hozásával nem nyerhetünk feszültségforrást, mert ehhez ismét érintkezésbe kellene hozni azokat /az áramkört zárni kellene/, ekkor pedig ellentétes irányú lenne az elektronok vándorlási iránya, így a két hatás kiegyenlítené egymást. Más a helyzet, ha az érintkezési pontokat különböző hőmérsékleten tartjuk. A kétféle hőmérsékleten kétféle potenciál alakul ki, a potenciálkülönbség hatására pedig megindul az elektromos áram. Ez a termoelem működésének az alapja. A termoelemek felhasználásával igen széles tartományban lehet pontos hőmérsékletmérést végezni. /A különböző típusok 1-2 K-tól kb. 3600 K-ig használhatók./ Segítségükkel táv-hőmérsékletmérés is végezhető. /5., 21., 42./

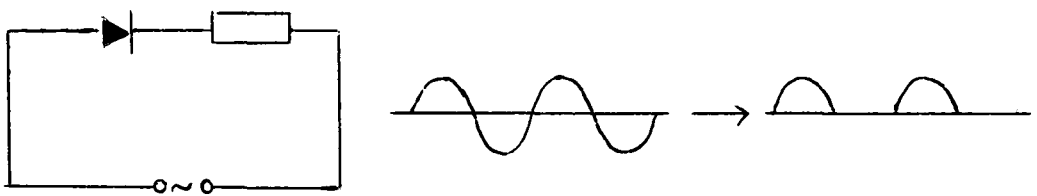
Ha egy félvezető kristály egyik felét donor, másik felét akceptor atomokkal szennyezzük, akkor a kétféle módon szennyezett félvezető Fermi-nivója úgy alakul, hogy az n-típusú részben a Fermi-szint magasabb mint a p-típusú részben. A p és az n típusú rész érintkezési felületénél /az ún. határrétegben/ a donor szinteken levő elektronok egy része átdiffundál a p típusú rész akceptor szintjeire. Így a p típusú rész negatív, az n típusú rész pedig pozitív többlettöltésre tesz szert, ami az n típusú rész energiaszintjeinek csökkenését, a p típusú rész energiaszintjeinek növekedését eredményezi. Az elektronok átáramlása addig tart, amíg a Fermi-szintek ki nem egyenlítődnek. Másképpen fogalmazva: az elektronok addig diffundálhatnak a p rétegbe, míg a két rész közötti potenciálkülönbség ezt meg nem akadályozza. A határréteg tehát a többségi töltéshordozókban szegénnyé válik. Az n-típusú részből átáramlottak a felesleges elektronok, a p-részben pedig az oda érkező elektronok a jelenlevő lyukakkal rekombinálódnak. Az igen vékony határrétegen kívül a p és az n típusú tartomány semleges marad.

Ha az n rétegre pozitív, a p rétegre negatív pólust kapcsolunk a létrehozott potenciálkülönbség - a határrétegben kialakuló feszültségnek megfelelően - a kisebbségi töltéshordozók folyamatos áramlását segíti elő, így azonban nem lehet komoly áramerősséget elérni, elektromos vezetést gyakorlatilag nem tapasztalunk.

Ha felcseréljük a pólusokat, ezzel a határrétegben kialakuló potenciálesést csökkentjük, amivel a többségi töltéshordozók átáramlásának engedünk szabad tutat, tehát az iménti eseténél lényegesen nagyobb áramerősséget tapasztalunk.

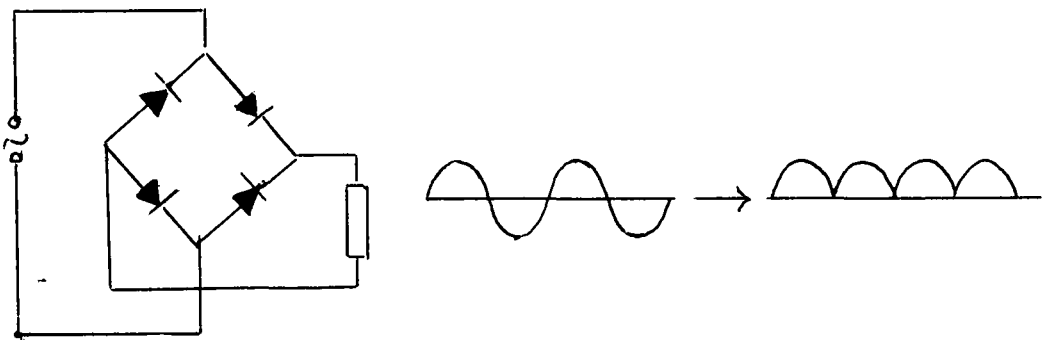
Az ilyen p-n átmenet csak egyik irányban vezeti az áramot, tehát, a vákuumdiódához hasonlóan - egyenirányításra alkalmas. Ez a kristályidóda, melynek a p+, n-kapcsolását nyitó, az ellentéteset pedig záró irányú kapcsolásnak mondjuk.

Egy kristálydiódát alkalmazva a szinuszos váltakozó áramnak csak a nyitó iránynak megfelelő félhullámait engedi át, a másik félhullámot levágja. /VI.46. ábra/ Mivel a szóbanforgó váltakozó feszültség 50 %-a így kárbavész, célszerűbb az un. Graetz kapcsolást alkalmazni, amelyhez ugyan négy kristálydióda szükséges, de vele mindkét félhullám hasznosítható. /VI.47. ábra/



VI.46. ábra

Egyenirányítás egy diódával



VI.47. ábra

Graetz-kapcsolás és egyenirányító hatása

A kristálydióda és a Graetz-kapcsolás egyenirányító hatását célszerű oszcilloszkóppal bemutatni. /5., 13./

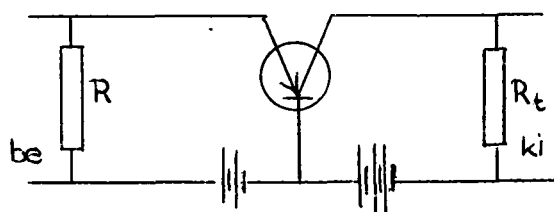
Félvezetőkkel nemcsak a váltakozóáram egyenirányítása oldható meg, hanem elektromos jelek felerősítésére is lehetőség nyílik. Ehhez három rétegre van szükség, melyek p-n-p, vagy n-p-n elrendezésűek lehetnek. Elegendő csak a

p-n-p tranzisztorokkal foglalkozni, mert az n-p-n típusú is hasonlóan működik, csak ennél mások a feszültség- és áramirány-viszonyok.

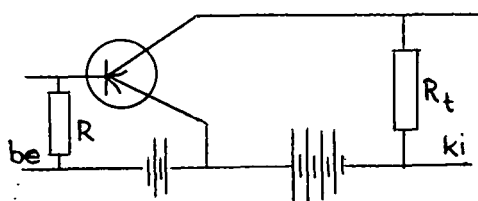
A p-n-p tranzisztorok két, viszonylag vastag p rétegből, ezek között egy vékonyabb, és kevésbé szennyezett n rétegből tevődnek össze. Egyik p réteget emitternek, az n réteget bázisnak, a másik p réteget kollektornak nevezzük.

A tranzisztor három kivezetéséből egy bemenő és egy kimenő kört alkothatunk, de minden esetben lesz egy olyan kivezetés, amely a további kettőhöz csatlakozik. Ez alapján megkülönböztetünk báziskapcsolást, emitter-, illetve kollektorkapcsolást. Minden esetben az emitter-bázis kört nyitó, míg a bázis-kollektor kört záró irányban kötjük be. Mivel a tranzisztorba befolyó eredő áramerősség megegyezik a tranzisztorból kifolyó eredő áramerősséggel - az áramerősségeknek irányt is tulajdonítva - fennáll az $I_E + I_B + I_C = 0$ összefüggés. Válasszuk a vezetékben folyó áram irányát pozitívnak, ha a tranzisztor megfelelő rétege felé irányul!

A tranzisztorok kapcsolása:



a./ báziskapcsolás



b./ emitterkapcsolás

Bármely kapcsolást tekintjük is, az $I_E > I_C > I_B$ reláció mindig teljesül.

Báziskapcsolás esetén $I_E > 0$, $I_B < 0$, $I_C < 0$. A nyitó-irányban kapcsolt E-B átmenetnél E-ből lyukak diffundálnak B-be, onnan pedig elektronok E-be. Az áramerősség viszonylag nagy. A B-C átmenetet külön tekintve, záró irányú terhelést találunk, ami a kisebbségi töltéshordozók áramlását biztosítja. Így a B-ből lyukak diffundálnak a C-be, onnan pedig elektronok a B-be. Ha a két kört együtt vizsgáljuk,

szembetűnő, hogy az E-B nyitó irányú kapcsolása miatt a B-ben felszaporodnak a lyukak. Ezek nagy hányada nem tud rekombinálódni, mert az egyébként is igen vékony B kisebb mértékben is szennyezett. Így a B-ben felszaporodott lyukak a B-C körben már kisebbségi töltéshordozónak számítva a C-n át fog távozni, hiszen a C negatív a B-hez képest. A kollektor-áram tehát majdnem olyan erős mint az emitter-áram. I_E változása a kollektorkörben közel azonos áramerősségváltozást eredményez. Az E-B /bemenő/ körben kicsiny, a BC /kimenő/ körben ehhez képest nagy ellenállást alkalmazva, jelentős feszültségerősítés érhető el: a bemenő körre kapcsolt feszültségingadozás a kimenőkörben felerősítve jelentkezik.

$$\Delta U_{ki}/\Delta U_{be} = \Delta(R_t I_C)/\Delta(R I_E) = R_t \Delta I_C / R \Delta I_E \approx R_t / R$$

A báziskapcsolás áramerősítésre nem alkalmas $0 < -\Delta I_C / \Delta I_E = \alpha < 1$. Közös emitterű kapcsolással viszont az áramerősítés és a feszültségerősítés egyaránt megoldható.

Áramerősítésre

$$-\Delta I_C / -\Delta I_B = -\Delta I_C / (\Delta I_C + \Delta I_E) = \frac{-\Delta I_C / \Delta I_E}{1 + \Delta I_C / \Delta I_E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} > 1$$

adódik.

Ha $R = R_t$, a feszültségerősítés ugyanakkora, $R_t > R$ esetén pedig ennél nagyobb.

A gyakorlatban legtöbbször a földelt emitteres kapcsolást alkalmazzák. Ezzel 10-200-szoros áramerősítés és néhány százszorostól néhány ezerszeresig terjedő feszültségerősítés érhető el.

Az elektroncsöves erősítőkkel szemben a tranzisztoros erősítők előnye a kis méret, a kisebb fogyasztás, a hosszabb élettartam, a jobb hatásfok és a jobb mechanikai állóképesség, hátránya viszont a nagy hőmérsékleti érzékenység és az erősíthető frekvenciasáv szűkebb volta.

A kisméretű kristálydiódák és tranzisztorok előállításával vált lehetővé az elektromos készülékek miniaturizálása.

Az un. integrált áramkörök igen kis helyen sok kapcsolási elemet tartalmaznak, köbcentiméterenként több százat is. Alkalmazásukkal kicsiny méretű, de nagy teljesítményű számítógépek állíthatók elő. /5., 15., 21./

A félvezető kristályok termikus gerjeszthetősége olyan kapcsolási elemek elkészítését teszi lehetővé, amelyekkel meghatározott hőmérsékleti tartományon pontos hőmérsékletmérést lehet végezni. A termisztor ellenállása a hőmérséklet növekedésével rohamosan csökken. A kis méretből adódóan igen kicsi a termisztor hőkapacitása, ez viszont a hőmérő kis tehetetlenségét biztosítja, vagyis a termisztor pontosan és gyorsan követi a hőmérsékletingadozásokat.

Mivel a félvezetők elektronjainak gerjesztése a látható fotonok elnyelődése által is lehetséges, a félvezetők ellenállása a megvilágítás erősségével csökken. Az ilyen, fényérzékeny ellenállást /fotoellenállás/ a fényerősség mérésére lehet alkalmazni. A fotoellenállások felhasználásával megoldható a városi közvilágítás be- és kikapcsolásának automatizálása, de más fénnel kapcsolatos automatikák vezérlése is lehetővé válik. A fotoellenállás elektromos vezetőképesége növekedésének mértéke a besugárzó fény hullámhosszától és a megvilágítás erősségétől függ.

Ha szennyezett félvezetőket megvilágítunk, a töltéshordozópárok keletkezése a kisebbségi töltéshordozók felszaporodását is eredményezi. Ezért a záró irányban bekapcsolt kristálydióda ellenállása megvilágításának erősségével rohamosan csökkenhet. /A záró irányban kapcsolt kristálydiódában az elektromos vezetést a kisebbségi töltéshordozók végzik./ Azokat a kristálydiódákat, amelyek záró irányú ellenállása erősen függ a megvilágításuktól, fotodiódának nevezzük. A fotodiódákat mindig záró irányban kell alkalmazni.

A fotodiódák áramforrásként is szolgálhatnak, ugyanis a zárórétegben szétválasztott töltéshordozók közül a kisebbségi töltéshordozók a potenciálesés irányát követve elmozdulnak, ami záró irányú áramot létesít. Ilyen áramforrások

- amelyek a fény energiáját elektromos árammá képesek alakítani - a fényelemek. A fotodióda és a fényelem között tehát nincs lényegi különbség. A fotodiódákat és a fényelemeket főként automatikák készítéséhez használják fel, de több fényelem egyidejű alkalmazásával elektromos áramforrások is készíthetők. Ezek gyakorlatban való széles körű elterjedéséhez a fény elektromos energiává alakításának jobb hatásfokát kellene megvalósítani. /5., 12., 21./

Mérési gyakorlatok

1./ Termisztor R-t és I-t karakterisztikájának felvétele

A termisztor merítsük egy lombik vizbe és a víz melegítésével változtassuk a hőmérsékletét. Mivel a termisztor igen kis tehetetlenséggel követi a víz hőmérsékletét, nem követünk el nagy hibát, ha a víz hőmérsékletét a termisztor hőmérsékletével azonosnak tekintjük. A víz hőmérsékletét - a termisztor közelében - hőmérővel mérjük.

2./ Ellenállás hőmérsékleti tényezőjének /temperatura koeficiens/ meghatározása

Közönséges hőmérsékleten és nem túl nagy intervallumban a legtöbb fém ellenállásának relatív megváltozása igen jó közelítéssel arányos a hőmérsékletváltozással.

$$(R_t - R_{20})/R_{20} = \alpha(t - 20^\circ\text{C}), \text{ vagy } R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20^\circ\text{C})]$$

ahol R_{20} a 20°C -on mért ellenállás.

R_t és R_{20} mérésével az $\alpha = (R_t - R_{20})/R_{20}(t - 20^\circ\text{C})$ értéke számítható. Célszerű a mérések abszolút és relatív hibáját is meghatározni.

3./ Kristálydióda U-I karakterisztikájának felvétele

Nyitó irányban 0,1 V-onként 1 V-ig, záró irányban 1,5 V-onként 6 V-ig célszerű változtatni a feszültséget és

ennek függvényében mérni, majd ábrázolni az áramerősséget.

4./ Fotodióda U-I karakterisztikái különböző megvilágításoknál

A fotodiódát csak záró irányban szabad bekötni! A dióda piros ponttal jelölt kivezetésére mindig a negatív pólust kell kapcsolni!

A fotodióda megvilágításnak erősségét a fotodiódának egy zseblámpaizzótól mért r távolságának változtatásával lehet szabályozni. A méréssorozatot $r = 2$ cm-nél és $r = 4$ cm-nél célszerű elvégezni. A két grafikon ábrázolása közös koordináta-rendszerben is lehetséges. A fotodióda átfolyó áram erősségét a fényforrástól való távolság függvényében is meg lehet határozni, hogy a később kimérendő fényelem hasonló karakterisztikájával összehasonlíthassuk.

5./ A fényelem áramerősségének meghatározása a fényforrástól mért távolságának függvényében

Az izzó és a fényelem távolságát 12 cm-től 2 cm-enként 2 cm-ig csökkentve elegendő változtatni.

6./ Fotoellenálláson átfolyó áram erősségének és a fotoellenállás ellenállásának meghatározása a fényforrástól mért távolság függvényében

Az első méréssorozatnál a feszültség állandó értéken tartandó, továbbá mindkét sorozatnál a távolságot elegendő 4 cm-ig csökkenteni.

7./ Mérések tranzisztorra

a./ Megállapítható, hogy a kiadott tranzisztor p-n-p vagy n-p-n típusú. A méréshez maximálisan 1 V feszültség használható!

b./ Közös bázisú kapcsolás feszültségerősítésének meghatározása

VII. A KVANTUMMECHANIKA ÉS A SZILÁRDTESTFIZIKA TANÍTÁSAKOR
SZERZETT TAPASZTALATOK, ILLETVE A REFORMMAL KAPCSOLA-
TOS ÉSZREVÉTELEK

A modern fizika oktatását a III. és a IV. fejezetben szereplő országokban jelentős eltérésekkel oldják meg. A különbségek ugyan az egyes tananyagok tartalmát tekintve is számottevőek, de elsősorban a feldolgozás módjában nyilvánulnak meg.

Ha csak a feldolgozott ismeretanyagot tekintjük, akkor a mellékletben közölt táblázat ad megfelelő útmutatást. Az ott felsorolt, összesen 23 kísérlet, fogalom, jelenség és összefüggés közül az NSZK-ban és Magyarországon 20-at, a Szovjetunióban 15-öt, az USA-ban, Csehszlovákiában és Jugoszláviában 13-13-at vizsgálnak. Minden ország tananyagában szerepel a foton energiájára vonatkozó $E = hf$ és a de Broglie-féle hullámhosszat megadó $\lambda = h/p$ összefüggés. A Rutherford-modellre, a Bohr-modellre, illetve a H-atom spektrumára vonatkozó ismereteket is mindenhol dolgoznak fel. A fotoeffektusról csak Csehszlovákiában, a Compton-effektusról, a Rutherford-kísérletről és a kristályrács fogalmáról csak Jugoszláviában nem tesznek említést. A Davisson-Germer-kísérletet csak a Szovjetunióban nem értelmezik, míg a Franck-Hertz-kísérletet csak az NSZK-ban nem tárgyalják.

A tárgyalta, illetve a nem tárgyalta részek jelentőségét illetően az egyes országokban nyilván eltérnek a vélemények, ahogy a feldolgozás legcélravezetőbb módszereit is különféleképpen ítélik meg. E tekintetben a legjelentősebb különbséget a vajdasági és a szlovák oktatásban találjuk. A Vajdaságban inkább csak a -különösebb indoklás nélküli - tényközlést tartják célszerűnek, míg Szlovákiában arra fordítják a legnagyobb gondot, hogy az ismertetett tananyag elsősorban matematikailag legyen megalapozva. Véleményem szerint ezeken a területeken kerülnek legnehezebb helyzetbe a tanárok, ha azt akarják elérni, hogy tanítványaik ma-

radandó ismeretekre tegyenek szert a modern fizika terén.

Sokkal érthetőbb az USA-ban folyó oktatás koncepciója. Bár a feldolgozott tananyag felépítése logikus és nem is kíván a középiskolában feltételezhető matematikatudásnál többet, komoly hiányosság, hogy a tárgyalásmód a fizika egyéb tantárgyakkal való kapcsolatát elhanyagolja, és az eredmények jelentőségére, valamint a gyakorlati alkalmazásokra sem hívja fel kellőképpen a figyelmet. A Heisenberg-féle határozatlansági reláció, az atomok hullámmechanikai modellje és a lézerek is említést érdemeltek volna.

A Szovjetunióban sem tárgyalják a Heisenberg-relációt és a hullámmechanikai modellt - a már említett Davisson-Germer-kísérleten kívül -, de a feldolgozott részek igen alaposak, annak ellenére, hogy itt is csak minimális matematikai apparátussal dolgoznak. Igen jól kihangsúlyozzák a fizikai tartalmat, szoros kapcsolatot tartva a többi tudománnyal, és a gyakorlati alkalmazások lehetőségeinek a bemutatása is alapos. Ez a módszer alkalmas arra, hogy a tanulók ne csak visszaadni tudják az elhangzottakat, hanem értsék is, és adott esetben képesek legyenek az ismeretek önálló alkalmazására. Valószínűleg a tananyag ilyen feldolgozásának időigénye és a rendelkezésre álló óraszám összehangba hozása indokolja, hogy a fent említetteken kívül kristályfizikával sem foglalkoznak.

A Magyarországon előírt tananyaghoz az NSZK-ban használatos Schreiner-könyv tartalma hasonlít legjobban. Felépítése logikus, és megfelelően él az egyéb tantárgyakkal való koncentrációs lehetőségekkel is. A középiskolásoktól elvárható matematikatudást feltételezve nyújt átfogó ismertetést a modern fizika jelenlegi eredményeiről. A fizika területén elért eredmények gyakorlati felhasználásáról is számot ad a könyv, ha nem is olyan sokoldalúan, ahogy a szovjet oktatásban tapasztalható.

A magyar tanterv által előírt tananyag is igen sokoldalú, de nem tesz említést a - napjainkban már széles körben alkalmazott - lézerekről. A tanterv csak tartalmi vonatkozásokban ad utasítást, a feldolgozás módját minden tanár maga

határozhatja meg. Végleges fizika tankönyvet még nem adtak ki a gimnáziumok IV. osztálya számára, így jelenleg nincs olyan irodalom, ami alapján az országban folyó általános tanítási módszerekről lehetne nyilatkozni. Azok az iskolák, amelyekben már az új tanterv szerint tanítják jelen tanévben is a IV. osztályos fizikát, kísérleti jellegű tankönyvet kaptak. Ennek gondolatmenetétől el lehet térni, ami helyenként célszerű is.

Bár az oktatási reform - felmenő rendszerben - csak az 1984-85-ös tanévben jut el a IV. osztályos gimnáziumi fizika tananyag megváltoztatásához, gimnáziumunk - a kecskeméti Katona József Gimnázium - már hat éve áttért a reform szellemében történő oktatásra, így az utóbbi két évben már a IV. osztályban is az új fizikát dolgoztuk fel.

Az adott anyagrészt két lényegesen eltérő képességű és érdeklődési körű osztályban tanítottam. Az egyes esetekben elért számszerű eredmények /osztályzatok/ közlése - a reform tananyag taníthatóságát illetően - még igen részletes elemzés mellett sem mondhat sokat. Igaz ugyan, hogy egy tanfolyam színvonalát - első közelítésben - lehet mérni azokkal a kérdésekkel, feladatokkal, amelyeket "fel mernek adni" a tanulóknak, de több olyan zavaró tényező jelentkezik, amely a kialakított kép meghamisítását eredményezi. Ilyen pl. az, hogy egy gyenge képességű tanulóval elért közepes eredmény lehet lényegesen nagyobb pedagógiai teljesítmény, mint egy igen kiváló képességű tanulóval elért teljes szint. Másik zavaró körülmény, hogy - mivel az osztályozás mindig szubjektív, így - ugyanazon produkció értékelése tanáronként változó. Messzemenő következtetéseket csak azokból a számadatokból lehet levonni, ahol az egyes zavaró hatások kiegyenlítődnek; jelen esetben sok tanár és igen sok diák munkájának együttes értékelése lehet csak mérvadó.

Az elért eredmények vázlatos értékelése mégis lehetséges, ha az adott osztály teljesítményét /ugyanazon tanár által tanított/ más fejezetekben tapasztalt előmeneteléhez viszonyítjuk.

Az új tanterv szerinti IV. osztályos fizika iránt az igen gyenge képességű osztályban - az előző évekhez hasonlóan - nem mutatkozott különös érdeklődés. Ezen tanulók többsége számára az érettségi vizsga sikeres letétele volt az elsődleges cél, amely elérését a lehetséges legkevesebb energia befektetésével óhajtották megvalósítani. Itt pozitívként könyvelhető el, hogy az anyagrészt mindenkinek sikerült legalább elégséges szinten elsajátítania. Igaz, jeles eredmény nem volt, de a dolgozatok átlaga 0,5-del, a témajegyek átlaga pedig 0,9-del volt magasabb, mint az előző fejezet /a statisztikus fizika/ megfelelő átlagai. A kvantummechanikával szoros kapcsolatban levő, illetve arra épülő magfizika rész megfelelő átlagai nem mutattak eltérést a vizsgált részhez képest.

A másik, jó képességű osztályban többen választották felvételi tárgyként a fizikát /17 tanuló fakultative is tanulta/, így el lehetett volna vární, hogy - ennek megfelelően - sokkal nagyobb érdeklődéssel vegyenek részt a fejezet feldolgozásában. Sajnos itt is merültek fel zavaró tényezők. Az osztályt csak III. évfolyam végén kaptam meg, így először a tanárváltozás miatt fellépő problémákkal kellett megküzdeni /más óravezetési stílus, más követelményrendszer, stb./. A IV. év első félévében teljes egészében fel kellett dolgozni a IV. osztályos új témákat, mert ez a rész nem képezte a felvételi vizsgák anyagát, és a második félévben a fizikából felvételizőket különválasztották. Velük csak a felvételihez kapcsolódó témakörökben való ismétlést, illetve feladatmegoldást kellett megvalósítani - a sikeres felvételi érdekében.

A IV. osztályos tananyagból szerzett érdemjegy és tudás nem játszott szerepet a fizikából továbbtanulni vágyók felvételében, ami - véleményem szerint - negatív irányban befolyásolta az osztály érdeklődését. A kvantummechanika és a szilárdtestfizika témakörben írott dolgozatok átlaga 0,8-del, a témajegyek átlaga pedig 0,7-del volt jobb a statisztikus fizikában elért eredményeknél. A kvantummechanika, a szil-

lárddtestfizika és az atommagfizika fejezetekben a tanulók teljesítménye egyenletesnek mutatkozott. Ezen osztály fizika jegyeinek az átlaga 1,1-del volt magasabb a másik osztályénál.

Nem vitás, hogy egy-egy osztály tanulmányi előmenetelében döntő szerepet játszik a diákok adott tantárgyhoz való viszonya, éppen ezért ennek helyes kialakítására nagy gondot kell fordítani. Az oktatás hatékonysága szempontjából lényeges, hogy a növendékek milyen jelentőséget tulajdonítanak a tárgynak, hogyan értékelik azt, hiszen ez az értékelő magatartás - amely a tananyaggal és a tananyagban nyújtott teljesítményekkel kapcsolatos - az iskolai magatartás fontos motiválójává válik. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy a tudományos téren igen magas kvalitású Japánban a diákok inkább tartják a fizikát szellemi gyötrellemnek, semmint olyan tárgynak, amit élvezni is lehet. Abban viszont egyeznek a vélemények, hogy fontos tantárgy a fizika. /38./

Persze az sosem lehet cél, hogy a tanulók csak igen nagy nehézségek árán tudjanak valamit elsajátítani. Mindent meg kell tennünk annak érdekében, hogy diákjaink minél kisebb energiával minél jobb eredményt érjenek el. Ezért gondosan kell kiválasztani azt a módszert, amellyel tanítványaink tudását gyarapítani kívánjuk.

El kell érniünk, hogy a diákok a tanulási teljesítményekben ne egyszerűen a szülői vagy a tanári elismerés megszerezésének eszközét, de ne is csak a jó előmenetel feltételét lássák! Persze ezek a szempontok is elősegíthetik a tanulók fejlődését, hiszen ezeknek is eredménye lehet növendékeink óráközi un. szándékos fegyelme, amely az ember megismerő tevékenységében döntő szerepet játszik. /A szándékos figyelem esetén a szubjektum tudatosan választja ki azt az objektumot, amelyre a figyelem irányul./ Hatalmas energiamegtakarítást jelent a tanuló számára, ha a tananyag feldolgozásakor a szándékos figyelem átalakul öntétlen figyelemmé. /Az önkéntelen figyelem reflexszerű beállí-

tódásokkal kapcsolatos, az ember tudatos elhatározásától függetlenül jön létre./ Ennek motivumalapja a tantárgy iránti érdeklődés, amely hiányában sokkal nagyobb erőfeszítést igényel az anyag elsajátítása.

Az ismeretközlésnek mindig élményszerűnek kell lennie. Ez pszichológiai szempontból az értelmi és érzelmi hatások helyes, tudatosan irányított összekapcsolását jelenti. Értelmi síkon a kíváncsiság felkeltését, az okok feltárását követő felismerésélmény kiváltását, érzelmi síkon pedig a problémahelyzetet kísérő feszültség kialakítását, a megoldáskeresés izgalmát, a felismerések feletti örömet feltételezi. /1., 33./

Mivel a gimnáziumi fizika alapvetően kísérleti fizika, a lehetőségekhez képest minél több tanuló kísérletnek kell szerepelnie az anyag feldolgozásában. Vannak azonban olyan területek, ahol a tananyag természete még a tanári kísérletet sem teszi lehetővé. Ezen témák feldolgozásában a tanári magyarázat és az előadás az alapvető módszer. Természetesen itt is törekedni kell a megfelelő mértékű szemléltetésre, ami audiovizuális taneszközökkel oldható meg. Ezeknek az eszközöknek ugyanis - az általuk nyújtott ingerbőség révén - kiváló a motiváló hatásuk, és így a tanulók figyelve és tevékenysége is jól irányítható. Vigyázni kell azonban, hogy csak akkor használjuk ezeket az eszközöket, ha általuk lényegesen többet nyújthatunk diákjainknak, mert a segédeszközök indokolatlan használata éppen a kíváncsisággal ellentétes hatást is válthat ki: fásultságot, lustaságot is eredményezhet. Ha minden információt készen kapnak növendékeink, könnyen leszokhatnak a szellemi erőfeszítésekről és a problémák megoldásának örömét is megtagadjuk tőlük.

A hagyományos és a korszerű ismeretátadási módszereket együttesen alkalmazhatjuk legeredményesebben. Az a fontos, hogy a pedagógus az adott pedagógiai feladat megoldására mindig a megfelelő módszert és eszközt alkalmazza. Ahol csak lehetséges, gyakorlati példákból kell kiindulni, és az ismeretek alkalmazása is elsősorban ilyen példákban történjék. A tanításban és a tanulásban igen fontos a gyakorlás,

ami nemcsak elméleti feladatok kidolgozását jelenti, hanem kísérleti feladatok megoldását és a táblázatok, grafikonok használatának gyakorlatát is.

Ha szükségessé válik, hogy az ismereteket előadás formájában adjuk át, ne feledjük, a hallott dolgok csak akkor jelentenek információt a hallgató számára, ha az ismeretek kapcsolhatók a korábbi ismereteihez, és e kapcsolat létrehozásához mindig elegendő ideje van. Egy-egy osztály tudásbeli heterogenitása igen nehéz feladat elé állítja az előadót, mert egy adott előadási tempó a gyengébb tanulóknak gyors, ugyanakkor a jobbaknak lassú lehet, melyek közül egyik sem kívánatos. /29./

A fizika hátrányos helyzetben van a humán tárgyakhoz képest, mert pl. egy irodalomtanár valamely műalkotás olvasásakor kialakult érzelmekről és gondolatokról beszélve ugyanazokat a kifejezéseket használja, amelyeket maga a mű használ, míg a fizika fogalmi rendszere és nyelvezete /matematika/ a diákok többségétől - legalábbis kezdetben - idegen. Ezen nehézség leküzdésére több út is kínálkozik. Pl.: A tanulókkal megfelelő szinten el kell sajátíttatni a matematikát. Ez azért is kívánatos volna, mert a matematikai nyelv - Weiskopf szavaival - "... nemzetközi, kulturális, politikai és társadalmi környezettől független. Egyszer megtanulva nemcsak a természet megértését teszi lehetővé, de mint nemzetek közötti hid is szolgál, és így egy lépést jelent a sokkal egységesebb emberi nem felé." Sajnos ez az út - gimnáziumaink tanulói matematika tudásának színvonalát ismerve - csak nagyon távlati célkitűzést jelenthet. Másik, napjaink realitásához jobban igazodó megoldás, hogy megfigyeléseinket és magyarázatainkat nem a "teljes precizitás" jegyében /matematikailag/ fogalmazzuk meg, hanem inkább - némi pontatlanságot megengedve - a köznap nyelv segítségével. A köznap nyelvbe fokozatosan építjük be a fizikai terminusokat, azok értelmezését nem tekintjük véglegesnek, megváltoztathatatatlannak, hanem az újabb és újabb információk birtokában pontosíthatjuk azokat. A fogalmak fokozatos kialakításával, helyesbitésével kreativitásra nevelhetünk,

és megtaníthatjuk azt is, hogy "végső igazság" vagy egyáltalán nem létezik, vagy még igen messze vagyunk tőle.

R. Sexl szerint a fizikát már középiskolában egzakt tudományként kezelve, fennáll annak veszélye, hogy a tanulók a fizika legtöbb fogalmát képtelenek a mindennapos életben hasznosítani. Másik következmény lehet az az elképzelés, hogy a gimnáziumokban nem kell olyan problémákról beszélni, amelyek véglegesen nem jutottak nyugvópontra. Így nem említhetnénk nyitott kérdéseket, mert az megingatná a tanulóknak a fizika pontosságába vetett hitét. Nem szerepelhetne olyan /praktikus/ problémák megbecslése sem, amelyben nem ismeretes minden szükséges paraméter. Mindez akadályozza a fizikának a reális életszituációkban való alkalmazását. Ez káros volna, hiszen tudományos nevelésünk fontos célja a gyakorlatiasság /de nem prakticizmus, tehát nem a szűken értelmezett hasznosság előnyben részesítése/. Azoknak a tanulóknak, akik fizikai ismereteik elmélyítése érdekében ilyen irányú felsőfokú oktatásban vesznek részt, a továbbiakban kell megszokniuk a pontos fogalmak használatát. /24., 28., 44./

Az oktatás eredményességét veszélyeztetheti, hogy egyrészt a tanár gyakran túlságosan a tényanyagra, annak logikai strukturájára összpontosít, és hajlamos a tárgyról kialakított szemléletét - amelyet több évi tanulással szerzett meg - sokkal nyilvánvalóbbnak tekinteni, mint amilyen, másrészt az a tény, hogy a tanulók -életkori sajátosságainak megfelelően - másként gondolkodnak mint a felnőttek. Ezen veszélyek elkerülése érdekében is célszerű diákjainkban. aktiv tanulását szorgalmazni. Ez nem egyszerűen a tanuló-kísérletek számának növelését jelenti, hiszen előfordulhat, hogy növendékünk a kísérleti munka elvégzése ellenére sem fogja fel tevékenységének a célját.

A hangsúlynak át kell tevődnie azokról a kísérletekről, melyek bizonyos gondolatokat szemléltetnek, az olyan kísérleti munka felé, melynek célja, hogy gondolatokat váltson ki és válaszadásra ösztönözzön.

Ha a kísérletek fajtáinak szélesebb skáláját alkalmazzuk, az egyszerű feltáró játéktól az alapos kutatásig, ez több, a gyerekek elgondolásairól folytatott vitával jár együtt, ami a különböző tevékenységek szabadabb kölcsönhatását eredményezi, mint az elméleti és a gyakorlati munka egyszerű váltakoztatása. Így valósulhat meg az a cél, hogy tanítványaink az ismeretek elismétlése helyett el is tudják azokat magyarázni, a használt képletek mechanikus alkalmazása helyett azok értelmezését is magukévá teszik, és hogy meg tudják indokolni, miért éppen úgy végzünk el egy adott kísérletet, ahelyett, hogy csak a kísérlet lefolyását érzékeltetnék. /34./

A nem természettudományos érdeklődésű tanulókhoz érzelmileg közelebb hozhatjuk a fizikát, ha kihasználjuk a történelemmel való koncentrációs lehetőségeket. A tudósokat, mint egy-egy történelmi korban élő embereket mutathatjuk be. Életük megismerésekor nemcsak sikereiket, hanem kudarcaikat is ismertetve, reális, konkrét képet alakíthatunk ki magáról a fejlődésről. A történelmi út példája és tanulságai a töretlen fejlődés hamis illúziójának feladására, egyéni kudarcaik jobb elviselésére, saját munkájuk reálisabb értékelésére készítetik tanítványainkat. A történelmi megközelítés segíthet abban is, hogy megértsük azon speciális jelenségek tanulmányozásának szükségességét és fontosságát, amelyek csak a környezeti hatásoktól való szigorú elkülönítéskor jönnek létre. /37./

A fizika más tantargyakkal való kapcsolatának bemutatásával jól érzékeltethető, hogy a különböző tudományok ugyanannak az egységes egésznek /a világnak/ más és más szempontok szerinti megismerésére, megértésére hivatottak. Míg a társadalomtudományi tárgyak elsősorban abban segítik az embert, hogy felismerje helyét és kötelességét a társadalomban, hogy az emberi haladás ügye mellé álljon, hogy a természettudomány és a technika nagy eredményeit is az emberi haladás érdekében és ne ellene használja fel, a fizika egyik legfontosabb feladata, hogy a természettörvényeket feltárja, és ezekkel konkrét jelenségeket magyarázzon. /2./

Az egyes tudományok közötti éles határvonal elmosásával a komplex művelődési eszmény kibontakozását is elősegíthetjük, vagyis a sokoldalú és korszerű műveltség el-sajátításának olyan igényét teremthetjük meg, amelyben a tudásnak mint értéknek és mint a személyiség gazdagodási lehetőségének felismerése áll.

Különösen összefoglaláskor nyílik rá lehetőség, hogy az ismeretek felidézésén túl a tanulók világnézetét megfelelően fejlesszük tovább. Ez roppant fontos feladat, mert a világnézet a személyiség magatartásának és cselekvésének legfelsőbb szabályozója, és ennek megfelelően történik a valóság értékelése.

A gimnáziumokban tanítandó kvantummechanika és szilárdtestfizika igen jó koncentrációs lehetőségeket biztosít a többi tantárggyal, és kiválóan alkalmas világnézeti nevelésre is.

A fejezet tárgyalásakor alapvető cél annak felismertetése, hogy a kvantummechanika kialakulása milyen nagy előrelépést jelent a természetről alkotott egységes kép felé. Ehhez feltétlenül tisztázni kell a kvantummechanikának a klasszikus fizikához való viszonyát. A szinte elképzelhetetlenül nagy nagyságrendbeli eltéréseket konkrét példák-kal próbálhatjuk meg érzékeltetni. /24./

A folyamatos - esetleg felelés formájában történő - és az összefoglaló ismétléseknek itt is nagy jelentőséget kell tulajdonítanunk. Igaz, a mechanikus emlékezetbe vésés hát-térbe szorul a gondolati emlékezetbe véséshez képest /mely-nél a gondolkodási folyamatok a döntőek/, de - mivel a té-mában szereplő állítások a köznapi szemlélethez képest igen szokatlanok - az eredményesebb feldolgozás érdekében minél többször kell gyakoroltatnunk tanítványainkkal azokat a gondolatmeneteket, amelyeknek eredménye egy-egy fontos állítás. /7./

A rész egyaránt jó lehetőségeket kínál számításos és un. gondolkodtató feladatok feldolgozására. A számításos feladatoknál az alapszintet itt is azok a kérdések jelen-tik, amelyekre egy-egy képletbe való behelyettesítés után

válaszolni lehet, de nem szabad megelégednünk ezzel a szinttel, mert az igénytelen követelés alacsony fokon érlel, és nem alkalmas magasabb igényű érdeklődés felkeltésére.

A számításos és gondolkodtató feladatok helyes arányának kialakításakor figyelembe kell vennünk, hogy a gimnázium nemcsak általánosan művelő középiskola, de diákjait a felsőfokú továbbtanulásra is alkalmassá kell tennie. Igaz, jelenleg a felvételi tananyag még nem tartalmazza a vizsgált részt, de - a művelődésügyi miniszter 116/1973. MM. számú utasításának 7. bekezdése értelmében - a középiskolai tárgyakból tartott felvételi vizsgák követelményei a gimnáziumi tankönyvek törzsanyagához igazodnak, így várhatóan a reform befejeződésével ez is a követelmények közé tartozik majd. /4., 10., 45./

Ismeretes, hogy különböző egyetemek és karok a felvételi vizsgákon úgy súlyozhatják a tananyag megfelelő fejezeteit, hogy a vizsga alapján a céljainak legjobban megfelelő döntéseket hozhassák, de a középiskolai oktatásban egyik kar szempontja sem élvezhet elsőbbséget. Jó és modern fizikát kell tanítani, melyre mindenkinek szüksége van. /17./

A kvantummechanika gimnáziumi feldolgozásának célja az egyes országoknál eltérő, ennek megfelelően jelentős módszertani különbségek is észlelhetők, azonban a fejlettebb országok mindegyikében - társadalmi formára való tekintet nélkül - vagy máris tanítják, vagy az oktatásával kapcsolatos kísérletek folynak.

Érthető, hogy azon országok, ahol még nem tekintik befejezettnek a reformot, nagy érdeklődéssel fordulnak a többi országban végbemenő változások felé, hiszen sok értékes tapasztalatot szerezhettek, amivel saját ügyüket teszik könnyebbé és gyorsabban kivitelezhetővé. A nemzetközi kommunikáció tehát létfontosságú, annak ellenére, hogy a reformtantervek nem tekinthetők "exportálható cikkek"-nek. Bár az oktatott természettudomány nemzetközi, a különböző országoknak más és más társadalmi értékei vannak. Egyik az absztrakt ismereteket, másik a gyakorlati tudást értékeli

magasabbra. A társadalmi szükségletek is eltérőek: a fizikusok képzésének igénye lehet sürgető, de az is előfordulhat, hogy sok ilyen szakember található valahol. A tanárok képzettségében is jelentős lehet az eltérés. Néhány országban túl kevés a pedagógusok ismerete valamilyen reform végrehajtásához, máshol magasan képzett pedagógusokat találhatunk. Mindez jól szemlélteti, hogy egy eredményes reform végrehajtásához egy jó tananyagnak igen jól kell illeszkednie a helyi körülményekhez. /34./

Nem vitatható: ahhoz, hogy egy tanár jól tanítson, a tananyagot magasabb szinten kell alaposan ismernie. Ez különösen nagy problémát jelent egy olyan anyagrész bevezetésénél, amellyel a tanárok jelentős hányada még az egyetemi tanulmányok végzésekor sem foglalkozott. Ezért állapítja meg P.L. Lijense, hogy Hollandiában a tanárok többsége nem képes a kvantummechanika megfelelő tanítására, mert tájékozottságukban hiányosságok mutatkoznak, különösen ami az értelmezést és a filozófiai vonatkozásokat illeti. /23./ Lengyelországban az ilyen nehézségek enyhítésére a reformmal párhuzamosan folyt a tanárok önként jelentkezése alapján történő továbbképzése.

Mivel Magyarországon is sok olyan idősebb fizikatanár fogja oktatni a kvantummechanikát, aki még nem foglalkozott vele mélyebben, nálunk is fennáll annak a veszélye, hogy a fejezet feldolgozásának színvonala egyes helyeken nem éri el a kívánatosat. Ha azt is számításba vesszük, hogy gimnáziumainkból a /fizika szempontjából/ legjobb eredményt elérő tanulók általában nem a pedagógiai pályát választják, komoly harcot kell folytatni, hogy hazánkban ne alakuljon ki hasonló helyzet, mint amilyen T. Ryu - szerintem túlzottan pesszimista - következtetése alapján Japánban áll fenn: "... a következő évszázadban élő anyáknak egy része és az elemi iskolai tanárok többsége úgy fog fizikát tanítani a gyerekeknek, hogy nem érti azt." /38./

E helyzet elkerülésére megvannak a reális esélyeink. Ehhez egyrészt országos szinten szervezett és megfelelően

propagált tanári továbbképzéseket kell tartani, másrészt a reform tananyag mélységét a reális lehetőségekkel /pl. a tanárok felkészültsége, vagy a tanulók matematikai előképzettsége/ kell összhangba hozni. A lehetőségeket - véleményem szerint - több, az országos átlagszinvonalnak megfelelő gimnáziumban végzett felmérés alapján lehet reálisan értékelni.

Azért is nehéz a helyzet, mert tanítványaink döntő többsége a szülőktől nem kaphat semmiféle segítséget a téma feldolgozásakor. Nekik viszont már többé-kevésbé helyes elképzeléseik lesznek az anyagot illetően, így gyermekeik nevelésekor ezt a szemléletet adhatják tovább.

A fentiekből az a következtetés vonható le, hogy a megfelelő általános műveltséggel rendelkező egyének tudatába a kvantummechanikának a mindennapos élettől távol eső fogalmai csak fokozatosan építhetők be, pedig ez nagyon fontos feladat, hiszen a fizika fogalmi rendszere jelenti az ember és a természet közötti legalapvetőbb kapcsolatok egyik kifejezési módját.

F E L H A S Z N Á L T I R O D A L O M

- 1./ ÁDÁM P., DR. BALOGH L., MAILÁTH L-NÉ DR., NÁDUDVARI I-NÉ DR.: Általános pszichológia, Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
- 2./ DR. ÁGOSTON GY.: Neveléstudomány, Tankönyvkiadó, Budapest, 1970.
- 3./ BALOGH L-NÉ: A molekulageometria, Élet és Tudomány XXIX. 50.
- 4./ BERÉNYI D.: Fizikatanításunk koncepciójáról, Fizikai Szemle, 1982/10.
- 5./ BUDÓ Á., MÁTRAI T.: Kísérleti fizika III., Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
- 6./ DR. DIMIĆ G., POLZOVIC A.: Fizika a középiskolák II. osztálya számára, Tartományi Tankönyvkiadó Intézet, Ujvidék, 1976.
- 7./ DR. DURÓ L., DR. KELEMEN L., DR. RADNAI B.: Fejlődés és neveléstudomány, Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- 8./ ERDEY GRUZ T.: Az anyagszerkezet alapjai, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- 9./ FEHÉR M., NYIRI J., SAJÓ I., SCHILLER R., SZEMERÉDY P.: A fizika és a társtudományok, Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
- 10./ FODOR E.: Az írástudók felelőssége, Fizikai Szemle, 1982/10.
- 11./ FEYMAN R. P., LEIGHTON R. B., SANDS M.: Mai fizika 3. Optika. Anyaghullámok, 2. kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- 12./ FUCHS W. R.: Az elektronika világa, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.

- 13./ GAMOW G., CLEVELAND J. M.: Fizika, Gondolat Kiadó, Budapest, 1973.
- 14./ GAMOW G.: Tompkins úr kalandjai a fizikával, Gondolat Kiadó, Budapest, 1976.
- 15./ GESZTI T.: Vázlatok a szilárdtestfizika gimnáziumi tanításához, Fizikai Szemle, 1983/3.
- 16./ GILDE W., ALTRICHTER S.: A józan ész furcsaságai, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- 17./ GYŐRI J.: Gondolatok a felvételi vizsgáról, válasz Zawadowski Alfrédnek, Fizikai Szemle, 1982/11.
- 18./ DR. HEVESI I., DR. TÖRÖK M., DR. GYÉMÁNT I.: Anyagszerkezet I., Egyetemi jegyzet, Szeged, 1977.
- 19./ KABARGYIN O. F., ORLOV V. A., SEFER N. I.: Fakultativnyij kursz fiziki 10. klassz, Moszkva Prosvescsenyie, 1975.
- 20./ KÁROLYHÁZI F.: Igaz varázslat, Gondolat Kiadó, Budapest, 1976.
- 21./ DR. KOVÁCS L.: A szilárdtestek tulajdonságai, kísérleti tankönyv a gimnáziumok IV. osztálya számára, OPI, 1976.
- 22./ DR. KÖRÖS E., PINTÉER I.-NÉ: Kémia I., gimnáziumi tankönyv, Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
- 23./ LIJENSE P. L.: A kvantummechanika középiskolai bevezetésének holland programja, Fizikai Szemle, 1978/9.
- 24./ LORIA A., MALAGODI D., MICHELLINI M.: Iskolai kvantumfizika, Fizikai Szemle, 1980/5.
- 25./ MARANTZ S. A.: Brief Review in Physics, CEBCO Standard Publishing New York City, 1979.
- 26./ MARX Gy.: Kvantummechanika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.

- 27./ MARX GY.: Életrevaló atomok, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1978.
- 28./ MARX GY.: Egy bírálóat entropiája, Fizikai Szemle, 1982/10.
- 29./ MÁTÉ Z.: Előadáshiba, Fizikai Szemle, 1982/10.
- 30./ MJAKISEV G. J., BUHOVCEV B. B.: Fizika tankönyv a középiskolák 10. osztálya számára, Ragyanszka Skola Kiadó, Kijev, 1974. Uzsgorod.
- 31./ MTA.: Javaslat a természettudomány tanítására I., Fizikai Szemle, 1976/7.
- 32./ MTA.: Javaslat a természettudomány tanítására II., Fizikai Szemle, 1976/8.
- 33./ MURÁNYI M.: Az értékorientációk fejlesztése, Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
- 34./ OGBORN J.: Forradalom a természettudományos tantervben, Fizikai Szemle, 1979/1.
- 35./ OKTATÁSI MINISZTERIUM: A gimnáziumi nevelés és oktatás terve, Tankönyvkiadó, 1978.
- 36./ PHYSICS A syllabus for secondary schools,
The University of the State of New York
The State Education Department Bureau of Secondary Curriculum Development, Albany, 1976.
- 37./ DR. RADNAI GY.: A fizika fejlődésének bemutatása a középiskolában, A fizika tanítása, 1983/1.
- 38./ RYU T.: Felmérés a japán középiskolákban folyó fizika-oktatásról, Fizikai Szemle, 1978/10.
- 39./ SCHREINER J.: Physik für die sekundarstufe II.
Verlag: Moritz Diesterweg Frankfurt am Main, 1978.

- 40./ SZACSKOV J. V.: A kvantummechanika materialista értelmezéséről, Gondolat Kiadó, Budapest, 1961.
- 41./ SZÜCS E.: Technikai rendszerek I., Ideiglenes jegyzet, Budapest, 1979.
- 42./ DR. TÓTH E.: Fizika gimnázium IV. osztálya számára, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
- 43./ WEISSKOPF V. F.: Válogatott tanulmányok, Gondolat Kiadó, Budapest, 1978.
- 44./ WEISSKOPF V. F.: Humán tudomány-e a fizika, Fizikai Szemle, 1978/10.
- 45./ ZAWADOWSKI A.: Az új fizika tankönyvekkel szemben támasztott követelményekről, Fizikai Szemle, 1982/10.
- 46./ DR. FUKA J.: Kiegészítő tankönyv fizikából a gimnáziumok 4. osztálya számára, Szlovenszki Pedagogiki Nakladatel'stvo Bratislava, 1977.

Ország	A fény polarizációja, interferenciája, elhajlása	Fotoeffektus	Abszolút fekete test	Foton impulzusa, tömege, energiája	Compton effektus	Davisson-Germer kísérlet	De Broglie hullámok	Heisenberg-féle határozatlansági rel.	Tartózkodási valószínűségi sűrűség	Nullpontenergia	Thomson atommodell	Rutherford kísérlet
U	D.	D. É. $E_{\max} = hf - W$	F.	$E = hf$ $p = \frac{h}{\lambda}$	É.	É.	$\lambda = \frac{h}{p}$	-	-	-	-	É.
N	-	É. $E_{\text{kin}} = hf - W$	-	$E = hf$ $m = \frac{h}{c\lambda}; p = \frac{h}{\lambda}$	kval.	É.	$\lambda = \frac{h}{p}$	$\Delta x \Delta p \geq \hbar$	$v^2 = \frac{dP}{dV}$	F.É.	F.	É.
Sz	-	D. É. $hf = W + \frac{mv_{\max}^2}{2}$	F. $E = 6T^4$ $\lambda_{\max} T = \text{álland.}$	$E = hf$	mat. * levezetés	-	$\lambda = \frac{h}{p}$	-	-	-	F.	É.
J	-	É. $hf = W + \frac{mv^2}{2}$	F. $\lambda_{\max} T = \text{álland.}$ $E = 6T^4$ $\frac{e}{\lambda}, T = \text{álland.}$ $\frac{e}{a}, T = \text{álland.}$	$E = hf$	-	É.	$\lambda = \frac{h}{p}$	$\Delta x \Delta p \geq \hbar$	-	-	-	-
Cs	D.	-	-	$E = hf$ $m = \frac{hf}{c^2}; mc = \frac{hf}{c}$	É.	É.	$\lambda = \frac{h}{p}$	$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$	-	-	-	É.
M	D.	É. $hf = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 + W$	F. $\frac{e}{a} = E/\lambda, T = \text{álland.}$ $E = 6T^4$ $\lambda_{\max} T = \text{álland.}$	$E = hf$	É. *	D.É.	$\lambda = \frac{h}{p}$	$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$	kval. *	F.É. *	F.	É.
Ország	Rutherford-modell	Bohr-modell	Franck-Hertz-kísérlet	Hullámmechanikai modell	H-atom spektruma	Lézerek	Elemi részecskék rendszerezése	Kvarkok	Kristályrács	Sávmodell	Fermi-nívó	
U	F.	$mvv = \frac{nh}{2\pi}$ $E_1 - E_2 = hf$	F.	É.	-	B. L.	-	-	F.	-	-	
N	F.	F.	-	$E_1 = \frac{e^4 m_e}{8h^2 \epsilon_0^2}; E_n = \frac{E_1}{n^2}$ $\lambda_1 = 2r_1; \lambda_n = \frac{2\pi r_n}{n}$ $r_1 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi e^2 m_e}; r_n = r_1 n^2$	hullámmechanikai modell alapján	kval. *	Foton, leptonok, mezonok, hadronok	F.	F.	F.	F.	
Sz	F	F. $mvv = nh$ $hf_{kn} = E_k - E_n$	É.	-	$f = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)$ B.	kval.	Foton, leptonok, mezonok, baryonok	F.	F.	-	-	
J	F.	F. kval.	É.	-	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)$ L. B. P. Br. Pf. H.	kval. /rubin/	Foton, leptonok, me-	F.	-	-	-	
Cs	F	$f = \frac{E_n - E_s}{h}$ $m_e v = nh/2\pi$	É.	-	$\delta = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{s^2}\right)$	kval. /He-Ne/	-	-	F.	-	-	
M	F.	F.	É.	$r_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{e^2 m_e}; E_n = \frac{E_1}{n^2}$ $r_n = r_1 n^2$	L. B.	-	-	-	F.	F.	F.	

M E L L É K L E T

Kimutatás a kvantummechanika és a szilárdtestfizika fejezet feldolgozásakor szereplő fontosabb kísérletek, fogalmak, összefüggések tanításáról a vizsgált országok középiskolai oktatásában.

A táblázat rövidítései:

U - USA	L - Lyman-sorozat
N - NSZK	B - Balmer-sorozat
Sz - Szovjetunió	P - Paschen-sorozat
J - Jugoszlávia	Br - Brackett-sorozat
Cs - Csehszlovákia	Pf - Pfundt-sorozat
M - Magyarország	H - Hampfoy-sorozat
D - demonstrálva	
É - értelmezése	
F - fogalma	
K - kvalitatív	

A többi betűjel megfelel az adott fizikai mennyiségek disszertációbeli jelölésének.

A * -gal jelölt összefüggéseket a törzsanyag nem tartalmazza.

Köszönetet mondok témavezetőmnek, Dr. Dombi József egyetemi docens úrnak, hogy figyelemmel kísérte és irányította munkámat.

Köszönetemet fejezem ki Dr. Lang Jánosné és Dr. Papp Györgyné Dr. Papp Katalin egyetemi adjunktusoknak, akik segítségükkel szintén jelentős mértékben járultak hozzá dolgozatom elkészítéséhez.