

+++++

**©OROSZ L: " Kvantummechanika és szilárdtestfizika
Előadás vázlat és munkafüzet szöveges kiegészítése "
 villamosmérnök hallgatók számára**

Frissítve:2003.október

+++++

B E K Ö S Z Ö N T Ő

Tisztelt Kollegák !

Üdvözölöm Önöket abból az alkalomból, hogy az eddigi sikeres tanulmányi eredményeik következtében elkezdhetik a **FizikaC3. tantárgy** tanulását.

Bevezetőként néhány gondolatot szeretnék közölni Önökkel, melyek remélhetőleg könnyítenek a kezdeti nehézségeken azáltal, hogy segítenek lerombolni bizonyos előítéleteket. Nem titkolt célom az, hogy felhívjam az Önök figyelmét a tantárgy jellegéből fakadó kétségtelenül meglévő **nehézségekre**, amelyek ugyanakkor a "kihívás" izgalmát jelentik és így egyúttal a tantárgy "szépségét" is adják. Mindezen információk segítenek elhelyezni ezt a tantárgyat egyrészt a mérnökké válás, másrészt az általános, modern természettudományos műveltségünk kialakításának a folyamatában. Ez az út kétségtelenül sok munkával, szellemi fáradozással jár. A **sikeres végeredmény** azonban mindenért kárpótolja majd Önöket.

Az érzékszerveink által érzékelt és az agyunkban leképzett klasszikus fizikai világ fogalmai a megszokott, változatlan formában használhatatlanok az atomi skálán lezajló fizikai folyamatok megértésében.

Ezért a Fizikában egy valódi szellemi "forradalom" zajlott le a XX. század első harmadában. A "paradigma váltás" ténylegesen megtörtént. Mindez reflektálódik a klasszikus fizikai szemléletünkben is. Ezért ma már a természettudós teljesen másképpen látja a világot, mint a száz évvel ezelőtt élt kollegája. Szétteltekintve a mindennapokban tapasztalhatjuk azt, hogy egy átlagos középfokú műveltséggel rendelkező ember fizikai szemlélete jó esetben is a XIX. század közepének megfelelő szinten van. Az a hatalmas technikai fejlődés, amely az elmúlt másfél száz évben végbement (a gőzgépektől a számítógép vezérelt űrhajókig és atomreaktorokig, a postakocsitól a mobiltelefonig) egyértelműen a kvantummechanika megszületésének a következtében volt lehetséges. Elmondhatjuk tehát, hogy a **kvantummechanika** mint kezdetben "tiszt elméleti tudomány" olyan gyakorlati eredmények sokaságát produkálta, amelyek a technikai fejlődést alapvetően befolyásolták. Mindez átformálta mindennapjainkat is és így a "Kvantummechanika" a XX. századi civilizációnk és így egyéni **életünk szerves részévé** vált akár tudatában vagyunk ennek, akár nem. A XXI. században dolgozó és alkotó mérnöknek valamilyen szinten igenis ismernie kell ezt, a klasszikus szemléletünk számára idegen és furcsa, sokszor igen meghökkentő elméletet. A FizikaC3 tantárgynak éppen ez a feladata.

Ezt teljesíteni egyáltalán nem könnyű és mindezzel tisztában vannak a tantárgy előadói is. A kitzűzött úton azonban Önöknek is végig kell menni ! Ez **kemény szellemi munkát** jelent, de ugyanakkor **intellektuális örömet** is nyújt. Remélhetőleg átéljük majd Önök is a Természetre való "rácsoálkozás" felemelő érzését. Megérzik a kvantummechanikában rejlő lenyűgöző szellemi teljesítményt amely képes arra, hogy az Univerzum végtelennek tűnő bonyolultságában valamiféle rendet és szerkezetet fedezzen fel. Mindez természetesen csak gondolkodásunknak egy **magasabb absztrakciós szintjén** lehetséges. Tehát a használt fogalmakat Önöknek pontosan meg kell ismerniük. Azokat be kell építeniük a gondolkodásukba és ezáltal egy modern természettudományos szemléletet kell, hogy kialakítsanak önmagukban. Ezt **mindenkinek önmagának kell elvégeznie**.

Ehhez mi megadunk **minden segítséget**: előadást, írásos anyagokat, ajánlott irodalmat, szóbeli konzultációt. De a munka java része Önökre hárul! Az előadáson hallottakon eltöprengeni, az olvasottakon rágódni, a minimálisan szükséges információkat memorizálni csak Önök tudják. **Ezt Önök helyett senki sem végezheti el!** De a végeredményt: a Siker és a Tudás örömét sem veheti el senki!

Másképpen látni a dolgokat mint azok a felszínen látszanak, bepillantani a hétköznapi szemléletünk függőnye mögé az ember egyik alapvető pszichikai igénye. Ez az Ősi Szellemi Kíváncsiság az amely civilizációnk egyik hajtó motorja volt évezredek át. Sajnos ezt lovagolják meg az áltudományok hangos profétái is. Ugyancsak erre alapoznak azok a „szellemi” szélhámosok is, akik a létünk értelmét feszegető gyötrő kérdéseinkre, megnyugtatóan egyszerű válaszokat ígérnek. Cserében a vágyott „lelki nyugalomkért” csupán

csak „válaszkeresés örök szellemi nyugtalanságát” rabolják el tőlünk. „Mert a létben legnagyobb csalás az Ember, aki él és megkérdézheti: Miért?” (Váci Mihály)

Nos első pillanatra a kvantummechanika kijelentései (is) eléggé misztikusnak tűnnek. De a kvantummechanika megérthető, ellenőrizhető, alkalmazható és objektivitása a mai mérnöki gyakorlatban az elektronikus alkatrészek előállításakor minden nap tapasztalható.

Talán bízni lehet abban, hogy mindez igen vonzóvá teszi ezt a tantárgyat az Önök számára is!

A tantárgy főleg **szemléletében** nyújt merőben **újat**. A használt matematikai apparátus lényegében megmarad az Önök által már megismert klasszikus analízis és lineáris algebra keretei között. A nehézség inkább abban van, hogy a klasszikus fizikai szemlélet számára szokatlan kijelentéseinket az egzakt matematika nyelvén kell megfogalmazni. Ez megkívánja a matematikai jelrendszer rutinos ismeretét és annak "könnyed" használatát. Ennek a készségnek a kialakításához pedig állandó gyakorlás és nem kevés idő kell. Erre nem elég a vizsgára való felkészülés néhány napja!

Ezért nagyon ajánlatos az előadások rendszeres látogatása.

Az egyszeri vizsgaalkalommal nyújtott pillanatnyi teljesítmény sokszor nem tükrözi a tananyagban való jártasság megbízhatóságát és a megszerzett tudás elmélyültségét. Erre csak a tananyaggal való rendszeres foglalkozás alapján lehet valamelyest következtetni. Még ha ez foglalkozás csak az előadások idejére korlátozódik is. Ezért azok a hallgatók, akik az előadásokat rendszeresen látogatják előnyben vannak az előadásokon részt nem vevő kollegáikkal szemben. Ezek a hallgatók a tananyagot könnyebb értik meg és a megszerzett tudásuk is mélyebben beépül a gondolkodásukba. Ezt természetesen csak az elkövetkező évek igazolhatják, ugyanakkor a tudás szintjét a vizsga idején kell megmérnünk. Az elmondottak alapján kézenfekvő az, hogy az előadásokon rendszeresen és vélhetően aktívan részt vevő hallgatók formális előnyhöz is jussanak. Ezért minden előadáson kiosztásra kerül egy nyomtatott névsor, amelyet az előadáson megjelent hallgatók aláírnak. Hangsúlyozni kell, hogy itt valóban **ALÁÍRÁS**RÓL van szó. Tehát az okiratokon is használt egyéni kézjegyről, amelynek más által történt használata, enyhén fogalmazva, nem illendő (bizonyos esetekben pedig **HAMISÍTÁS**nak tekinthető, annak minden erkölcsi és jogi következményével!)

A jelenlegi Kari szabályoknak megfelelően a tantárgyat több független előadó fogja tanítani. A tantárgy jellegéből fakad, hogy az előzőekben vázolt, kitűzött cél elérésére nem csak egyetlen mód van. Ugyanahhoz az eredményhez sokféle gondolatmenettel és tantárgyi felépítéssel is el lehet jutni. A téma univerzalitása és természetfilozófiai sokszínűsége miatt az előadások nem nélkülözhetik az előadó egyéni szemléletét, érdeklődését és intellektuális kötődéseit. Az előadó "egyéni szellemi szabadsága" azonban a törzsanyagot nem érinti. A különböző kurzusok a további szakmai előrehaladás szempontjából ekvivalensek egymással. Szeretnénk azt is elérni, hogy a hallgató félévvégi érdemjegye lehetőleg ne függjön attól, hogy az illető melyik kurzus előadásait hallgatta. Azaz azonos relatív teljesítmény azonos osztályzatot jelentsen. Ezért az előadók ügyelni fognak arra, hogy a ZH-osztályzatok átlaga a kurzusokban közel egyenlők legyenek.

Az oktatás minőségének a megfelelő szinten tartása érdekében az egyes kurzusok hallgatói létszámát korlátoznunk kell. Természetesen egyedi, **különleges esetekben** az érdekelt előadók közösen engedélyt adhatnak az átjelentkezésre. Ekkor, ha az indokoltnak látszik, a hallgató egy közös beszélgetésre hívható, ahol a hallgató elmondhatja az átjelentkezésére vonatkozó indokait.

Reméljük, hogy örömeiket lelik majd a tárgy tanulásában és megsejtik a Világ egységének és harmóniájának filozófiai mélységeit. Mindezek mellett olyan praktikus ismeretek birtokába is jutnak, amelyek elkísérik Önöket mérnöki pályafutásuk során és megmentik Önöket hamis elméleteken alapuló hamis nézetek zsákutcáitól.

Ehhez kívánok erőt, kitartást és szellemi örömet !

OROSZ LÁSZLÓ előadásához készült egy

"Előadás vázlat és munkafüzet"

is.

Ennek az a célja, hogy az előadást látogató hallgatót **megkímélje** a megértéshez szükséges hosszadalmas matematikai levezetések gépies másolásától. Reményeink szerint így az előadáson jobban lehet majd koncentrálni a fizikai gondolatok és modellek **megértésére**. Az otthoni felkészülést segíti az, hogy a hallgató hozzáférhet a magyarázó szöveg rövidített, de a lényeget tartalmazó írásos változatához is. Ez a **számítógép hálózaton keresztül** történik.

Végül felhívjuk a Tisztelt Olvasó figyelmét a következőkre .:

A file-okban található szöveg, mint szellemi termék, ugyanazon szerzői jogvédelem alá esik, mint bármely más jegyzet, vagy tankönyv. Ez azt jelenti, hogy a file-ok tartalma csak egyénileg használható fel. Annak (vagy bármely részletének) a sokszorosítása, terjesztése csak a szerző engedélyével lehetséges.

BEVEZETŐ MESE ÉS BÖLCSELKEDÉS A VILÁGRÓL ÉS A RÓLA VALÓ ISMERETEINKRŐL

***” One of the principal objects of
theoretical research in any point
of knowledge is to find the point
of view from which the subject
appears in its greatest simplicity ”
J.W.GIBBS***

Egyszer, nagyon régen, egy fiatal, igen ambiciózus császár került a távoli Napkeleti Birodalom trónjára. Az ifjú császár udvarába rendelte tudósait és megparancsolta nekik, hogy gyűjtsék össze azokat a könyveket egy könyvtárba, amelyekben a Világ összes tudása megtalálható.

A tudósok 20 éven át dolgoztak szorgalmasan, amíg kialakították a „Minden Tudás Könyvtárát”.

A Császár megszemlélte azt és rájött arra, hogy bokros uralkodói teendői miatt nem igen lesz elegendő ideje arra, hogy azt a rengeteg sok könyvet áttanulmányozza. Ezért arra utasította tudósait, hogy próbálják meg a lényeget egyetlen könyvbe összefoglalni. A tudósok újabb 20 éven át keményen dolgoztak, mire megszületett a kívánt egykötetes mű. A Császár azonban addigra már jócskán megöregedett és belátta, hogy bizony néki már nem lesz ereje még ennek az egy könyvnek az elolvasására sem. Kiadta tehát az utasítást, foglalják össze egyetlen mondatba a könyv lényegét. Újabb 20 évi kemény munka következett, de végül is megszületett „A MONDAT”, amely a világról szóló ismereteket foglalta össze.

A Császár ekkor már nagyon öreg volt és ágyában fekvve, türelmesen várta a halált.

A Főtudós elébe állt és kimondta a kért mondatot:

- A VILÁG BONYOLULT!

A Császár mélyet sóhajtott és minden erejét összeszedve halkán csak ennyit motyogott:

- És egy kissé bővebben?

A Főtudós elgondolkozott, majd pár perc múlva megszólalt:

- A Világ NAGYON bonyolult!

A Főtudósnak úgy rémlett, mintha a Császár halovány arcán a belenyugvó kiábrándultság fáradt mosolya suhant volna át. De lehet az is, hogy mindez csak a trónterembe beszűrődő fény játéka volt.

Még kívánt volna valami megnyugtatót mondani, szeretett uralkodójának, de mire megtalálta a megfelelő szavakat és mire azt kimondhatta volna, a nagy Császár szép csöndesen átlépett az örökkévalóság időtlenségébe.

Eddig szól a mese.

De vajon milyen biztató szavakat mondhatott volna egyáltalán a buzgó Főtudósunk?

Talán arra gondolt, hogy a Világ valóban mérhetetlenül bonyolult ugyan, de úgy tűnik, hogy fokozatosan megismerhető! Bár valójában sosem fogjuk megismerni, hiszen az Emberiség léte múltó epizód csupán a Földtörténet évmilliárdos időskáláján.

A mesebeli Fő tudósunk természetesen nem ismerhette Albert Einsteint. De bizonyára egyetértett volna a XX. század egyik legzseniálisabb természettudósával aki azt mondta egyik híressé vált aforizmájában, hogy:

„A Világban az a legérthetlenebb, hogy megérthető.”

Mindezekből a tanulság talán csak annyi, hogy:

- a.) A Világ kiábrándítóan és véghetetlenül bonyolult ugyan, de a „megismerésének a célja” valódi emberi cél és a „megértés öröme” valódi öröm.
- b.) **Óvakodjunk azoktól, akik egyszerű magyarázatokat ígérnek!** Mert lehet ugyan, hogy saját kicsinységünk felismerésétől menekülve szívesen elfogadjuk ezeket, de az önbecsapásunk, e nemesnek gondolt Hazugság (bármilyen szép is legyen az) előbb vagy utóbb a fejünkre omlik majd.

A Természet nem kegyelmez!

Rossz döntéseinkér a felelősség csak minket terhelhet!

E L Ő S Z Ó

" A tudomány története maga a tudomány " szoktuk mondani és ez különösen érvényes akkor, amikor egy eddig még ismeretlen , számunkra új területtel ismerkedünk meg. Nincsen ez másképpen a ma már több mint 100 éves kvantummechanikával sem. Az elmúlt 100 év hosszú idő a mindennapi életünket alapjaiban meghatározó technikai fejlődés skáláján . Gondoljunk csak arra, hogy a XIX század végén mennyire más volt az élet a mi kultúrkörünkbe tartozó Európában és Amerikában. A XX-ik század döntő változást hozott a fizika tudományában. A Világról alkotott képünk alapjaiban változott meg. Ezért a XIX.-XX. századforduló előtti fizikát "klasszikus fizikának", az azt követő időszakét pedig "modern fizikának" szoktuk nevezni. A relativitáselmélet és a kvantummechanika az a két jellegzetes tudományterület, ahol szakítani kellett évszázadokon át jól bevált gondolati sémákkal és természetesnek tűnő szemléletekkel.

A fizikatörténet tele van csattanós anekdotákkal és a tudományt "csináló" zseniális elmék szellemes mondásaival. Mindezek nemcsak színesebb és játékosabbá teszik a tudományt de mély bölcsességgel a dolgok lényegét üzenik meg számunkra. Valószínűleg ezért is maradtak fenn.

A XX-ik századi fizikát találóan jellemzi az alábbi kis történet :

Az Einstein által kidolgozott relativitáselmélet megszületésekor nagy vihart kavart. Állandó beszéd és vitatéma volt nemcsak a fizikusok, de a laikusok népes táborában is. Minden, magára valamit is adó gondolkodó elme erről beszélt. Érvelt mellette vagy ellene, hitt benne vagy nem, nevetett a képtelenségein vagy komolyan vette. A jellemző az volt, hogy sokan beszéltek róla, de valójában szinte senki sem értette meg. Ekkor mondotta Einstein, hogy talán ha hárman értik az új elmélet lényegét.

Sir Arthur Eddington a századforduló nagy tudósegyénisége, neves csillagász volt. Ő vezette 1919-ben azt az afrikai csillagászati expedíciót, amely teljes napfogyatkozásakor mérésekkel bizonyította, hogy a Nap gravitációs tere valóban eltéríti a fénysugarakat. Egy munkatársa beszámolt Eddingtonnak Einstein megjegyzéséről , majd hozzáfűzte :

- Ön minden bizonnyal a három ember egyike!

Látván azonban Eddington arcán a megütközést és a kételyt, így folytatta:

-Professzor úr, azt hiszem ön túlságosan is szerény. Einstein mellett ön érti az általános relativitáselméletet.

Erre Eddington megszólalt .

- Azt én is tudom. Csak azon gondolkodom, hogy ki lehet a harmadik?

Ez az anekdota akkor válik még érdekesebbé, ha elolvassuk századunk egyik zseniális "fizikacsinálójának" , a kvantumelektrodinamika egyik kidolgozójának, Richard Feynmannak a gondolatait

RICHARD P. FEYNMAN (1918-1988)

Amerikai fizikus. A XX. század egyik legzseniálisabb tudósa volt. Színes egyéniségéről sok legenda kering. Híresek voltak a California Institute of Technology-n tartott fizika előadásai. Részt vett az atombomba létrehozásában. A kvantumelektrodinamika egyik kidolgozója, munkásságáért 1965-ben megkapta a fizikai Nobel-díjat

Nézzük tehát, mit is gondol Feynman a kvantummechanikáról:

" Egy időben az újságok azt írták, hogy a világon csak tizenkét ember érti a relativitás-elméletét. Nem hiszem, hogy valaha is lett volna ilyen időszak. Elképzelhető egy olyan időpont, amikor csak egyetlen ember értette, mert ő volt az aki kitalálta, de még nem írta le. Amint azonban az emberek elolvasták a közleményét, ilyen vagy olyan módon sokan megértették. Bizonyosan többen mint tizenketten. Ugyanakkor viszont azt hiszem, nyugodtan elmondhatom: A KVANTUMMECHANIKÁT SENKI SEM ÉRTI."

Elgondolkoztató vélemény és őszintén meg kell mondanunk, hogy valószínűleg igaz is! Annak ellenére azonban, hogy valójában "nem értjük" , meglepő leleménnyel és sikerrel alkalmazzuk, nemcsak az elektronikus eszközökben, de az Univerzum születése titkának a megfejtésében is. Elképzelhető, hogy a "megérteni" (!) fogalmunkat kellene átértelmeznünk ?

Jogosan merül fel a kérdés a Tisztelt Hallgatóban : "Hát ha az sem érti ezt az egészet, aki csinálta, akkor milyen jogon várható az el egy villamosmérnök hallgatótól, hogy valamit is megértsen belőle, sőt még le is vizsgáljon ?" A dolog természetesen nem ilyen egyszerű!

A kvantummechanikát "nem érteni" többféleképpen lehet. Mi ezen tantárgy keretei között nem tudunk olyan mélységig eljutni , hogy bátran elmondhassuk: "*mi már nem értjük a kvantummechanikát.*" A mi szintünkön még minden "érthető" kell, hogy legyen! Ami azt jelenti, hogy az alaptörvények megtanulhatók, a belőle levonható következtetések megtehetőek és sikeresen alkalmazhatók konkrét "egyszerű" problémák megoldásában és (például a villamosmérnöki gyakorlatban előforduló) alapvető elektronikus effektusok megmagyarázásában. Kialakítható az a gondolkodásmód (paradigma) amely segítségével mindez "könnyedén" és "szemléletesen " végrehajtható. Számunkra ez jelenti a "megértést". Mindez megtanulható és számonkérhető. Ennek a tantárgynak ez a feladata! Mivel ez a szemlélet gyökeresen eltér a klasszikus fizikában megszokottól, ezért a feledat nem is olyan könnyű.

A megszerzett tudásunk arra is elég, hogy az érdeklődő hallgató továbblépjen és próbálja megérteni azt, hogy Feynman mit gondolt akkor, amikor a meghökkentő kijelentését tette. Ez azonban már nagyon messze vezet és nem nélkülöz alapvető kognitív-pszichológiai és filozófiai megfontolásokat sem. De Önök előtt az Élet ! A fiatalság itt nagy előny!

Mindez azt jelenti, hogy az elvárható "kvantummechanikai szemlélet" kialakítása nem megy egyik napról a másikra . Ez mindenkitől kemény szellemi erőfeszítést, kitartást és időt követel. Ne féljünk szembesülni jelenlegi szemléleti korlátainkkal és lerombolni azt bármilyen csábító is a vélt szellemi biztonsága!

Végül rátérve prózaibb dolgokra ki kell mondanunk, hogy sem a kézbevett előadás vázlat, sem a hozzájuk fűzött szöveges kiegészítés nem pótolja a rendszeres előadás látogatást és a hallottakon való állandó töprengést.

Bárhogyan is alakuljon a mérnöki szakma egy biztos, a XXI-ik század mérnöke nem nélkülözheti a modern természettudományos gondolkodást, aminek szerves része a kvantummechanika.

A FIZIKA C3 TANANYAGA

BEVEZETŐ Klasszikus fizikai kiegészítő

1. KVANTUMMECHANIKA

Bevezető (Történeti áttekintés)

1.1. Hullámmechanika

- 1.1.1 A Schrödinger egyenlet és a hullámfüggvény
- 1.1.2. A hullámfüggvény matematikai tulajdonságai
- 1.1.3. Egyszerű példák kötött állapotokra
 - 1.1.3.1. Az egydimenziós potenciálvölgy.
 - 1.1.3.2. A potenciáldoboz
 - 1.1.3.3. A harmonikus lineáris oszcillátor
- 1.1.4. Nem kötött állapotok tárgyalása
 - 1.1.4.1. A valószínűségi áramsűrűség
 - 1.1.4.2. Áthaladás potenciálgáton (közelítő számítás)
 - 1.1.4.3. Áthaladás potenciálgáton, potenciálvölgyön

1.2. A kvantummechanika axiomatikus felépítése

- 1.2.1. A kvantummechanika matematikai eszközei
- 1.2.2. Az operátorok felcserélési törvényei
- 1.2.3. A kvantummechanikai méréselmélet alapjai
- 1.2.4. A koordináta és az impulzus kvantummechanikai tárgyalása
- 1.2.5. A határozatlansági reláció
- 1.2.6. A klasszikus mechanika és a kvantummechanika kapcsolata
 - 1.2.6.1. Az Ehrenfest tétel
 - 1.2.6.2. A klasszikus mechanika mozgásegyenlete
 - 1.2.6.3. Az energia és az idő közötti határozatlansági reláció

1.3. A perdület és a mágneses momentum

- 1.3.1. A pályaperdület
- 1.3.2. A (zárt) pályamozgás mágneses momentuma
- 1.3.3. Mozgás centrális erőterben
 - 1.3.3.1. A pályaperdület meghatározása
 - 1.3.3.2. A sugárirányú (radiális) mozgás leírása
 - 1.3.3.3. A hidrogénszerű ion
 - 1.3.3.4. Az atomok elektronszerkezete
 - 1.3.3.5. Az Állapotfüggvények (atompályák) grafikus ábrázolása

1.4. Atomok mágneses térben

- 1.4.1. A mágneses tér hatása a pályamozgásból származó mágneses momentumra
- 1.4.2. Az elektron saját mágneses momentuma és az elektronspin
- 1.4.3. A spin-pálya kölcsönhatás

1.5. Sok (azonos) részecskéből álló rendszer vizsgálata

- 1.5.1. Az energia operátora és az állapotfüggvény
- 1.5.2. A Hartree közelítés és az SCF módszer
- 1.5.3. A Pauli elv
- 1.5.4. Kvantumstatisztikák
- 1.5.5. Bozonokból álló rendszer
 - 1.5.5.1. Fotongáz
 - 1.5.5.2. Fonongáz

1.6. A kovalens kémiai kötés

- 1.6.1. A molekulapályák
 - 1.6.1.1. Egydimenziós modell

- 1.6.1.2. A hidrogén molekula ion
- 1.6.2. A molekulapályák felépítése atompályákból
- 1.6.3. A hidrogénmolekula

2. SZILÁRDTESTFIZIKA

2.1. A fémek szabadelektron elmélete

- 2.1.1. A Sommerfeld fémmodell
- 2.1.2. A szabadelektron modell alkalmazásai
 - 2.1.2.1. A szabad elektrongáz fajhője
 - 2.1.2.2. A kontakt potenciál

2.2. Szilárd testek energiasáv elmélete

- 2.2.1. A periodikus potenciálú tér egydimenziós modellje
- 2.2.2. Az energiasávok és az atomi energiaszintek kapcsolata
- 2.2.3. Az energiasávok és a szabad elektrongáz kapcsolata

2.3. Az effektív tömeg közelítés

- 2.3.1. Az effektív tömeg fogalma
- 2.3.2. Szilárd testek sáv szerkezete és az elektromos vezetési tulajdonságok kapcsolata

2.4. Pozitív töltéshordozók szilárd testekben: a "lyukak"

- 2.4.1. A Hall effektus
- 2.4.2. A lyukak

2.5. Az elektromos vezetés fizikai alapjai szilárd testekben, az Ohm törvény

- 2.5.1. A relaxációs idő közelítés
- 2.5.2. A vezetőképesség számítása

2.6. Szilárd testek háromdimenziós modellje

- 2.6.1. Ideális kristályok leírása
- 2.6.2. Az elektronállapotok számítása
- 2.6.3. A sáv szerkezet (diszperziós reláció)
- 2.6.4. Az elektronok dinamikája
- 2.6.5. Az állapotsűrűség

2.7. Félvezetők általános tulajdonságai

- 2.7.1. A Fermi szint meghatározása szerkezeti félvezetők esetén
- 2.7.2. A fajlagos vezetőképesség számítása szerkezeti félvezetők esetén
- 2.7.3. Adalékolt félvezetők
- 2.7.4. A p-n átmenet

2.8. Félvezető kristályok

- 2.8.1. Általános tulajdonságok
- 2.8.2. A szilícium sáv szerkezete
- 2.8.3. A germánium sáv szerkezete
- 2.8.4. A Gallium-Arzenid kristály

2.9. Szilárd testek optikai tulajdonságai és a sáv szerkezet

2.10 Mikrostruktúrák: A jövő elektronikája

OROSZ LÁSZLÓ
BME
FIZIKA INTÉZET
FIZIKA TANSZÉK