

Tanulmány

A modern fizika alapjainak oktatása a műszaki menedzser képzésben

készítette Márk Géza

tudományos munkatárs

MTA Anyagtudományi Kutató Intézet -- BME Fizikai Intézet

mark@mfa.kfki.hu

www.nanotechnology.hu

Budapest, 1997.

Megjelent a Fizikai Szemle 1997. szeptemberi számában

http://www.nanotechnology.hu/reprint/FizSzemle_1997_09_MenedzserKepzes.pdf

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés
 - 1.1. A társadalmi-gazdasági feltételek
 - 1.1.1. Katasztrófa, vagy kibontakozás? -- A harmadik évezred kihívásai
 - 1.1.2. Fejlődés, stagnálás, vagy visszafejlődés? -- A kutatás-fejlesztés föladatai
 - 1.1.3. Az első, vagy a harmadik világhoz közeledik-e Magyarország? -- Az innováció szükségessége Magyarországon
 - 1.2. A jövő műszaki menedzsere
 - 1.2.1. Ha meguntuk, el vele? -- Szemléletváltás a termelésben
 - 1.2.2. Figyeljünk egymásra! -- A két (vagy több?) kultúra közti falak átjárhatóvá tétele
2. A modern fizika oktatásának céljai a műszaki menedzser képzésben
 - 2.1. Szépség -- A modern fizika, mint a műveltség része
 - 2.2. Modellek alkotása, használata és korlátai -- A modern fizika, mint példa
 - 2.3. Hasznosság -- A modern fizika, mint a modern technológia (egyik) alapja
 - 2.4. Biztos alapok -- A modern fizika, mint mérnöki (és közgazdasági!) szaktárgyak megalapozó tárgya
3. Mit tanítsunk a modern fizikából (és mit ne)?
 - 3.1. Nagy sebesség -- Speciális relativitáselmélet
 - 3.2. Nagy sokaság -- Statisztikus fizika
 - 3.3. Pici méret -- Kvantummechanika
 - 3.4. Sűrű anyag -- Szilárdtestfizika
 - 3.5. Tűnékeny fény -- Kvantumelektronika
 - 3.4. Mít ne oktassunk?
4. Hogyan tanítsuk a modern fizikát a műszaki menedzsereknek?
 - 4.1. Világosság, megvilágosítás vagy inkább megvilágosodás? -- Gondolkozni tanítás
 - 4.2. Mire jó mindez? -- A technikai hasznosítás bemutatása
 - 4.3. Erről jut eszembe... -- Kapcsolat a közgazdaságtannal, illetve egyéb tudományokkal
 - 4.4. Hol volt, hol nem volt... -- Történeti megközelítés
5. Oktatási segédeszközök
 - 5.1. Szellemi valóság -- A matematika célirányos használata
 - 5.2. Magánvaló valóság -- Számítógépes szimulációk alkalmazása
 - 5.3. Virtuális valóság -- Multimédia és Internet használata
 - 5.4. Kézelfogható valóság -- Látogatás valamely, modern fizikán alapuló üzemben

1. Bevezetés

A Budapesti Műszaki Egyetemen terv szerint az 1996/97-es tanévben indul a **műszaki menedzser képzés**. Ez a képzés hézagpótló szerepet kíván betölteni, mert olyan -- manapság fehér holló ritkaságú -- szakembereket bocsát majd ki, akik mind a mérnöki tudományok, mind a közgazdasági, jogi (és a menedzsmenthez szükséges egyéb) ismeretek terén járatosak.

A tervezett oktatás első hat félévére esne a természettudományok oktatása, mert ezek elsősorban a későbbi (illetve részben már az első hat félévben oktatott) szakmai tárgyak megalapozására szolgálnak. Ezen belül a fizika oktatása két tárgyra oszlana.

- Az **Általános fizika** (FI, FII, FIII) három féléves tárgy, a 2.,3. és 4. szemeszterben kerülne sorra. (Az első szemeszterből teljesen kimaradna a fizika oktatása, mert a fizika hatékony oktatásához szükséges az a matematikai előképzettség és felzárkóztatás, melyet az első szemeszter *Lineáris algebra és egyváltozós függvények* c. alapozó matematika tárgya nyújt.)
- A **Modern fizika alapjai** (F2) c. tárgy (melyről jelen tanulmány szól) a 6. szemeszterben kerülne sorra. (Azért nem az 5. szemeszterben, mert célszerű bevárni az 5. szemeszterben sorra kerülő *Differenciál-egyenletek és vektoranalízis* tárgyat.) A *Modern fizika alapjai* a 20. század fizikájának eredményeit ismerteti, hangsúlyosan azokat, melyek a modern technológiában már most, vagy a közeljövőben várhatóan alkalmazásra kerülnek.

1.1. A társadalmi-gazdasági feltételek

Az oktatás föladata, hogy a múlt oktatóival a jelenben képezzen a jövő számára szakembereket. Ehhez -- az első látásra lehetetlen -- föladathoz valamilyen jövőképre van szükség. Az alábbiakban a közeljövő -- mint az az idő, mikor a ma képzett szakemberek dolgozni fognak -- lehetséges (és általunk kívánatosnak tartott!) fejlődési irányait próbáljuk kitapintani.

1.1.1. Katasztrófa, vagy kibontakozás? -- A harmadik évezred kihívása

Az emberiség válaszüthöz érkezett. Az utóbbi évszázadokban a technológia egyre gyorsulva fejlődik, minek következtében egyre javulnak az emberi faj (anyagi) létfeltételei, ezért egyre gyorsabban szaporodunk. A fejlődés viszont erősen féloldalas: az emberek tudati, társadalmi, lelki és testi fejlődése nem követi az életfeltételek egyre gyorsuló változását. Ennek az aszimmetriának a folyamánya a világ megosztottsága (kevesek pazarolnak, sokak nélkülöznek), a környezetszennyezés, a természet egyensúlyának fölborulása, a lelki bajok (értékvesztés, elbizonytalanodás, elidegenedés és testetlen szorongás), a deviáns

viselkedés térhódítása és piederstálra emelése. Ez az egyre nagyobb aszimmetria egyre nagyobb feszültséget teremt a világban.

Ezen a válaszúton vagy sikerül a tudati változás irányába fordulnunk, vagy -- a múlt században már leigázottak hitt -- Természet törvényei egyre inkább ellenünk fordulnak.

1.1.2. Fejlődés, stagnálás, vagy visszafejlődés? -- A kutatás-fejlesztés föladatai

A 21. század kulcsszava a *fönntartható fejlődés*. Ehhez az iparban elsősorban szemléletváltás szükséges (ne a rövidtávú haszon, a negyedéves profitráta legyen az elsődleges!) , de a kutatás-fejlesztésnek kell megteremteni a fönntartható fejlődés technológiáját. Ennek néhány fontos tényezője¹:

- Újrafölhasználhatóság. Az elhasznált termékek minél kevésbé szennyezzék a környezetet.
- Energiahatékonyság. A civilizáció működése kevésbé legyen energiapazarló, csökkenjen a káros anyagok kibocsátása.
- Anyagtudomány. Az anyagtudománynak² a véges nyersanyagkészletek, extrém igénybevételek, gazdaságosság és környezetvédelem kihívásaira válaszként *un. tervezett anyagokat* kell előállítania.
- Számítástechnika. A fönnti három cél megvalósításához is elengedhetetlen az automatikus irányítási rendszerek és a szimulációs módszerek nagyarányú fejlesztése. A számítógépes modellezés egy fönntartható gazdaságban kulcsfontosságú.

1.1.3. Az első, vagy a harmadik világhoz közeledik-e Magyarország? -- Az innováció szükségessége Magyarországon

A KGST és Varsói Szerződés megszűntével, a COCOM falak leomlásával megszűnt az igény arra a fajta követő fejlesztésre, melyből a magyar tudományos-technikai közösség nagyrészt megélt az elmúlt évtizedekben. A Nyugat most Magyarországot ma csak (kicsi) felvevőpiacnak, (nem nagyon) olcsó, de (viszonylag) képzett munkaerőforrásnak és (egyik) bázisának tekinti a Kelet felé. A világon -- és Magyarországon is -- magasra értékelt (anyagi és szellemi) termékek közül igen

¹Gyulai József: Akadémiai székfoglaló előadás, 1996

²Lendvai János: Anyagfizika az ezredfordulón; Fizika Szemle 1996 február

kevés az, aminek előállításában Magyarország egyáltalán labdába tud rugni. Ez a helyzet újratermeli önmagát, növeli a lemaradást.

Javítani pedig ezen a helyzeten szemléletváltoztatással lehet, elsősorban az oktatás javításával (mert a fiatalok szemlélete még formálható). Olyan mérnököket kell képezni, akik nem csak a fejlett ipari technológiák átvételére és üzemeltetésére képesek, de azok adaptációjára a hazai viszonyoknak megfelelően, sőt, fejlesztésekre, nemzetközileg is versenyképes új technológiák kidolgozására.

1.2. A jövő műszaki menedzsere

A műszaki menedzser képzés -- mint a Bevezetőben már utaltunk rá -- hézagpótló. Ugyanis igen kevés az olyan szakember, aki a közgazdasághoz is ért és műszaki ismeretei is vannak. A gyakorlatban azok, akik ilyesféle munkákat végeznek -- pl. mérnök-üzletkötők, vállalkozók -- valamelyik irányú alapképzettséggel rendelkeznek és a másik oldal tudnivalóit autodidakta módon, vagy egyenetlen színvonalú gyorstalpaló tanfolyamokon sajátították el jól-rosszul. Gyakran még egy cégen belül sem értik meg egymást a kereskedők és a műszakiak!

1.2.1. Ha meguntuk, el vele? -- Szemléletváltás a termelésben

Mint fentebb utaltunk már rá, az emberiség katasztrófa nélküli túlélési esélye a fönntartható fejlődés. Ehhez a társadalomban, ezen belül az iparban is szemléletváltás szükséges. A rövidtávú profitkényszer³ helyett a hosszútávú gondolkodásnak, a környezettudatos szemléletnek szükséges tért hódítania. Ez úgy valósulhat meg, ha a döntéshozók képesek döntéseik következményeinek előzetes, folyamatos és utólagos elemzésére.

1.2.2. Figyeljünk egymásra! -- A két (vagy több?) kultúra közti falak átjárhatóvá tétele

Egy tudóst megkérdezve^{4,5}, hogy milyen könyveket olvasott, határozottan és magabiztosan ezt felelte: "Könyveket? én a könyveimet inkább eszközként használom." Nehéz megállni, hogy ne eresszük szabadjára fantáziánkat -- vajon milyen eszközként használható egy könyv. Talán kalapács vagy primitív áószerszám?...

³Deák Péter: Az alkalmazott fizika perspektívái; Fizikai Szemle 1996 február

⁴C.P.Snow: The two cultures and a second look

⁵Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete. A *dölt betűvel* szedett idézetek mind ebből a "bibliából" származnak.

Egy, a tradicionális kultúra szempontjából igen művelt társaságban feltettem a kérdést, hogy közülük ki tudná elmondani a termodinamika második tételét. A kérdés fogadtatása hűvös volt, és a válasz teljesen negatív. Pedig én olyasmit kérdeztem tőlük, ami tudományos vonalon annak a kérdésnek megfelelője: Olvasta ön Shakespeare valamelyik munkáját?

A fenti idézetekkel szemléltetett kulturális hasadást, szakadékot a pedagógia tehetetlensége^{6,7} tartja nyitva.

De még a természettudományos kultúrán belül is megfigyelhető, hogy egyrészt a különféle szaktudományok művelői (fizika, biológia, stb.), másrészt egy adott tudományterületen belül az alapkutatók, alkalmazott kutatók és fejlesztők egyre kevésbé értik egymás nyelvét és egyre kevésbé érdeklődnek egymás munkája iránt. Sőt, manapság már egy tudomány különféle ágainak művelői (pl. részecskefizikus és biofizikus) is egyre kevésbé értenek szót egymással.

2. A modern fizika oktatásának céljai a műszaki menedzserképzésben

2.1. Szépség -- A modern fizika, mint a műveltség része

Meglátni a szépséget⁸ az általános relativitáselméletben, egy szoborban, vagy egy versben -- mindegyikhez készség a befogadásra és értelmi erőfeszítés szükséges. A felírt képletből -- amely a tér geometriáját a tömeggel hozza kapcsolatba -- csodálatos ismeretek bonthatók ki univerzumunk egészére vonatkozólag.

Ha feltesszük⁹ ... azt a kérdést, hogy melyiket nevezzük hasznos kutatási témának: a félvezető-kutatást vagy a kozmosz görbületére vonatkozó elméleti megfontolásokat, akkor mindenki egyértelműen azt válaszolja, hogy az előbbiek a hasznosak. Meg is indokolhatjuk mondjuk azzal, hogy a félvezetők felhasználásával olcsó rádióvevőkészülék gyártható. És miért hasznos a rádiókészülék? Többek között azért, mert izgalmasan érdekes előadást hallgathatunk a kozmosz felépítéséről, annak görbületi viszonyairól.

⁶Németh László: Kétféle műveltség. Levél Marx Györgyhöz

⁷Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete

⁸P.A.M.Dirac; Unesco Courier 1979

⁹Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete

2.2. Modellek alkotása, használata és korlátai -- A modern fizika, mint példa

A modern fizika egyik legfontosabb üzenete az, hogy a természeti törvények -- mint pl. a mechanika Newton féle törvényei --, melyeket korábban korlátozás nélkül érvényesnek vélték -- csak bizonyos, jól meghatározott feltételek között érvényesek.

Egy fizikai probléma intellektuális megragadásának legfontosabb lépése a modellalkotás, a valóság absztrakciója. Példaképp említhető a lejtő¹⁰, mellyel Galilei demonstrálta az egyenletesen gyorsuló mozgás törvényét. Galilei nagy tette ugyanis az volt, hogy vett egy kísérleti eszközt, és olyan formában, amilyen formában az a természetben sehol, soha nem található. A szituációteremtés, a lényeges jellemzők megtalálása és a lényegtelenek elhanyagolása a döntő lépés.

A modellalkotás -- a bonyolult, minden-mindennel összefügg típusú valóság adott szempontból lényeges elemeinek¹¹ magtálálása, valamint a modellek kritikikai vizsgálata -- a közgazdaságban és az üzleti életben is igen fontos, tehát a modern fizika tanulmányozása során elsajátított modellalkotási készség ezeken a területeken is jól kamatoztatható.

2.3. Hasznosság -- A modern fizika, mint a modern technológia (egyik) alapja

Az ember eszközkészítő állat. Civilizált, mesterséges környezetünk eszközei egyre többet használnak föl a modern fizika eredményeiből. Egy átlagos lakásban lehet pl. rádió (félvezető eszközök: *kvantummechanika, szilárdtestfizika*), TV (elektronoptika: *speciális relativitáselmélet*), CD játszó (lézer: *kvantumelektronika*). Hovatovább már a legmindennapibb eszközökben -- pl. egy karórában, telefonban -- is valamilyen mikroszámítógép rejtőzik. A többi természettudomány -- pl. kémia, biológia -- mindennapi életünket áldásos és átkos eszközökkel ellátó fejlődését is nem kis részben olyan eszközök, mérés-technikák megjelenése tette lehetővé, melyek léte a modern fizikának köszönhető. De még nem természettudományokban -- pl. orvoslás, régészeti kormeghatározás, kriminalisztika -- is lényeges a modern fizika hatása.

A körülöttünk lévő eszközök működését azért is jó legalább alapszinten megérteni, mert a megértés hiánya óhatatlanul misztifikációhoz, félelemhez, áltudományhoz vezet.

¹⁰Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete

¹¹Marx György: Atomközelen

2.4. Biztos alapok -- A modern fizika, mint mérnöki (és közgazdasági!) szaktárgyak megalapozó tárgya

A mérnök olyan eszközöket fejleszt és működtet, melyek működése a természeti törvények célirányos kihasználásán alapul. A technológiai fejlődés gyorsulásával egyre rövidebb idő telik el egy kutatási eredmény megszületése és gyakorlati alkalmazása közt. A ma tudománya a holnap technikája, tehát érdemes ma tudományt tanulnia annak, aki holnap versenyképesen alkalmazni szeretné.

A modern fizika -- a fõnt már említett modellalkotáson keresztül -- a közgazdaságtan tanulásában is segíthet. A statisztikus fizika pl. a nagy számú részbõl álló -- általában véletlen -- rendszerek jelenségeit tárgyalja. A statisztikus fizika -- és a rá épülõ termodinamika -- számos összefüggése közvetlenül, vagy közvetve használható¹² közgazdasági, szociológiai folyamatok modellezésére, megértésére.

3. Mit tanítsunk a modern fizikából (és mit ne)?

3.1 Nagy sebesség --Speciális relativitáselmélet

A modern fizika megalapozásának elengedhetetlen komponense a **speciális relativitáselmélet alapjainak** ismerete, mivel ennek megértése nélkül a modern fizika egyes eredményei érthetetlenek maradnak.

Az Einstein-féle relativitáselvre vezetõ *kísérletek*, az annak leírásához szükséges *Lorentz-transzformáció* tárgyalását követõen a *relativisztikus kinematika és dinamika* (relativisztikus tömeg, impulzus, energia, megmaradási tételek) ismertetése következik. Részletesen célszerû megbeszélni a kísérleti bizonyítékokat.

3.2. Nagy sokaság -- Statisztikus fizika

A fizika egyik lényeges módszere a soktestrendszerek leírásához szükséges **statisztikus fizikai tárgyalásmód**. A *klasszikus statisztikus fizika alapfogalmainak* ismertetését követi a *termodinamikai valószínűség fogalma és a termodinamikai egyensúly* közötti kapcsolat bemutatása, valamint a *termodinamika és a statisztikus fizika viszonyának* áttekintése. Ezt a *Boltzmann-statisztika*, valamint a *kvantumstatisztikák* alapvetõ összefüggéseinek tárgyalása követi.

¹²Martinás Katalin: A fenntartható fejlődés termodinamikája -- avagy etikus-e takarítani?; Fizikai Szemle 1995 május

3.3. Pici méret -- Kvantummechanika

A **kvantummechanika** eredményeinek megértéséhez szükséges az *operátorkalkulus alapjainak* ismertetése. A kvantummechanika axiomatikus felépítéséhez ismertetni kell a *Hilbert-tér* fogalmát, tárgyalni a *fizikai mennyiségeket, mint operátorokat*, és foglalkozni a *méréselmélettel, a csererelációkkal és a bizonytalansági relációkkal*.

A kvantummechanika módszereit és eredményeit az *egyszerû egyrészeckserekszerkek, a szabad részecske, a hullámcsomag, a harmonikus oszcillátor, az alagútjelenség* tárgyalásával lehet kezdeni. Ezt követheti az *impulzusmomentum kvantumelméletének, valamint a hidrogén-atomnak* a tárgyalása.

Összetett rendszerekre felhasználhatóak a kvantumstatisztikák eredményei. Az *elektronspin, a Pauli-elv és a periodusos rendszer* példáin keresztül válik érthetővé a kvantummechanika módszere. Az itt megismert fogalmak alkotják az elméleti kémia -- a modern anyagtudomány, gyógyszer- és műanyagvegyészet egyik pillére -- fogalmi alapját.

A kvantummechanika képezi a jövő egyik ígéretes technikájának, az un. nanotechnológiának¹³ az alapját is.

3.4. Sûrû anyag -- Szilárdtestfizika

A *szilárdtestek elektronszerkezete* egyfelöl további példa a kvantummechanika eredményeinek alkalmazására, másrészt azonban az ennek keretében megismert vezetési mechanizmusok (*fémek, félvezetők, szupravezetők*) szükségesek ahhoz, hogy megértsük századunk elektronikai forradalmát.

3.5. Tûnékeny fény -- Kvantumelektronika

Az elektromágneses tér kvantumos tulajdonságainak rövid ismertetése ugyancsak szükséges ahhoz, hogy az elektromágneses sugárzás természetét pontosabban megértsük, és a *lézerek* működésének alapjait elsajátítsuk.

¹³Beke Dezső: Nanofizika, nanotechnológia; Fizikai Szemle 1996 február

3.4. Mit ne oktassunk?

Részben időhiány, részben a szükséges (főleg matematikai) ismeretek magas szintje miatt a modern fizika egyes fontos részeit ki kell hagynunk a tárgyalásból. Teljesség nélküli felsorolunk néhány kimaradó részt: atommagok szerkezete, részecskefizika, kozmológia, általános relativitáselmélet. Kimarad ezeken kívül számos speciális alkalmazott fizikai szakterület említése, de a fizikai alapismeretek birtokában később megszerezhetők (az amúgy is gyorsan változó) speciális ismeretek.

4. Hogyan tanítsuk a modern fizikát a műszaki menedzsereknek?

4.1. Világosság, megvilágítás vagy inkább megvilágosodás? -- Gondolkozni tanítás

A régi tanmese szerint nagyobb jót tesz az éhezővel az, aki megtanítja halászni, mint az, aki egy halat ad neki. Ennek felel meg az a pedagógiai megfigyelés¹⁴, hogy a világos, kristálytisztá tanítás gyakran nem hatékony. Ugyanis az ember hibákon, tévutakon keresztül tanul, alakít ki a fejében modellt a világról. Ezért célszerű nem azonnal kész magyarázatot adni valamely felvetett problémára, hanem hagyni, hogy a hallgatók kialakítsanak valamilyen -- általában helytelen, vagy legalábbis csak részben helyes -- elképzelést, majd hozzásegíteni őket az előre vivő út megtalálásához.

4.2. Mire jó mindez? -- A 20. század fizikája, mint a 21. század technológiája

Az előadások során időről időre célszerű rámutatni, a jelen, vagy a jövő technológiájában hol használatos az adott fizikai jelenség. Minél hétköznapibb, mindenki által ismert eszközt hozunk föl példának, annál jobb.

4.3. Erről jut eszembe... -- Kapcsolat a közgazdaságtannal, illetve egyéb tudományokkal

Célszerű megmutatni, az adott jelenség, modell, illetve eszköz hol használatos más tudományokban, illetve a fizika hol használja föl más tudományok eredményeit. (Ld. 2.2, 2.4.)

¹⁴Robert H. Romer: Is clear teaching good teaching? A tale of two teachers; American Journal of Physics, Vol. 58, No. 12, December 1990 Pages 1129 - 1130

4.4. Hol volt, hol nem volt... -- Történeti megközelítés

Egy tudományos teljesítmény nagyságát¹⁵ igazában csak a történelmi körülmények ismeretében lehet méltányolni; elsősorban abból az ellenállásból, amelyet az elismertetéséért le kellett győzni. ... Ismét a fizikatörténet lehet alkalmas arra, hogy humanizálja magát a fizikát; más szóval: beépítse a fizikát a bölcsésztagyrok közé.

5. Oktatási segédeszközök

5.1. Szellemi valóság -- A matematika célirányos használata

A modern fizika műveléséhez magas szintű matematikai ismeretek szükségesek¹⁶. Mai tudásunk szerint a fizika nyelve a matematika. A mérnök menedzserek modern fizika oktatása során viszont csak annyi matematikát érdemes használni, amennyi föltétlenül szükséges, de még nem megy az érthetőség rovására (nehogy ne lássák a hallgatók a fától az erdőt), mert ők maguk -- kevés kivétellel -- nem lesznek alkotó fizikusok, a modern fizika eredményeinek kvalitatív megértése más módokon (pl. analógiák, illetve grafikus-, illetve számítógépes szemléltetések^{17,18} segítségével) is lehetséges¹⁹.

5.2. Magánvaló valóság -- Számítógépes szimulációk alkalmazása

Az elméleti és kísérleti fizika mellett néhány évtizede megszületett az un. *számítógépes fizika*, mely napjainkra már fölnőtt²⁰, sőt, két idősebb társával már-már egyenrangú. Miért tekintendő önálló vizsgálati módszernek a számítógépes fizika? Azért, mert sajátos, az elméleti és a kísérleti fizikától különböző szemléletet, módszereket és eszközöket használ. Alkalmazási területe is sajátos, hézagpótló, mert olyan modelleket tud vizsgálni, melyek az elméleti fizikának már túl bonyolultak és ezért kezelhetetlenek, a kísérleti fizikának meg túl apróak, túl gyorsak, igen kis vagy nagy energiájúak, nagyon messze vannak, stb., ezért kezelhetetlenek. Jellegzetes alkalmazási példa a kvantummechanikai soktestprobléma. Ugyan mai tudásunk

¹⁵Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete

¹⁶Ez alól is van kivétel: Einstein a speciális relativitáselmélet fölépítéséhez a négy alapműveleten és a négyzetgyökvonáson kívül más matematikát nem használt. (De az általános relativitáselmélet már megint csak alkalmaz magas matematikát -- tenzoranalízist.)

¹⁷Ld. pl. Time development of quantum mechanical systems; <http://newton.phy.bme.hu:80/education/schrd/>

¹⁸Sisák Zoltán, Varga Zsuzsa: Speciális relativitáselmélet számítógépen; Fizikai Szemle 1995 július

¹⁹William Silvert: Down With Calculus!; Am. J. Phys., Vol. 40, No. 12, December 1972 Pages 1757 - 1762

²⁰Ezt bizonyítja a számítógépes fizika témájú nemzetközi folyóiratok jelentős és egyre növekvő száma. Pl: *Computer Physics Communications, Computers in Physics, Computational Materials Science*, stb.

szerint a kvantummechanika törvényei a sokelektronos rendszerek (atomok, molekulák, szilárdtestek) viselkedését pontosan leírják, de a fölállított differenciálegyenlet rendszer csak a legegyszerűbb esetekben (pl. hidrogén atom) oldható meg egzakt, vagy számítógép nélküli közelítő módszerekkel. Számítógépes közelítő módszerekkel viszont manapság már nagy molekulák és bonyolult szilárdtestek fizikai tulajdonságai is eredményesen tanulmányozhatóak. A modellek a futtatás során gyakran mintegy *önálló életre kelnek*, tanulmányozásuk új törvényszerűségek felismeréséhez is vezethet.

5.3. Virtuális valóság -- Multimédia²¹ és Internet használata

Az Interneten számos -- és egyre több -- modern fizikával kapcsolatos anyagot találhatnak a hallgatók.

- Egyre több folyóirat -- csak a tartalomjegyzék, vagy a teljes szöveg -- már ma is elérhető a hálózaton keresztül.
- Több, fizikával és alkalmazott fizikával kapcsolatos hírcsoport és levelezési lista létezik. Itt fővethetünk -- a lista témájába illő -- bármilyen problémát, a világ bármely sarkából -- pl. Hawaii-ról -- kaphatunk rá választ.
- Virtuális kísérletek²². Ez számítógépes szimulációk (ld. följebb) tárháza, melyek a WWW-ben Java Applet-ként futtathatók.

5.4. Kézzelfogható valóság -- Látogatás valamely, modern fizikán alapuló üzemben

A szemeszter során optimális lenne valamilyen high-tech intézmény -- pl. atomerőmű, chipgyár -- meglátogatása.

²¹Byron L. Coulter, Carl G. Adler, J. William Byrd: Experiences with a multimedia course and a nonscience majors course; Am. J. Phys., Vol. 43, No. 4, April 1975 Pages 312 - 314

²²<http://www.tp.umu.se/TIPTOP/VLAB/>

Irodalomjegyzék

Itt néhány, a folyó szövegben lábjegyzetként nem hivatkozott, de a téma szempontjából figyelemreméltó forrást sorolunk föl.

- ELFT munkabizottság: *A fizika felsőfokú oktatása Magyarországon -- Helyzetfelmérés, távlatok és javaslatok*; Fizikai Szemle 1995 május és július
- Art Hobson, Author, Elizabeth T. Kennan: *Physics and Human Affairs*; Am. J. Phys., Vol. 52, No. 3, March 1984 Pages 287 -287
- Leo Nedelsky: *Physics Taught as a Liberal Art*; Am. J. Phys., Vol. 41, No. 3, March 1973 Pages 364 -367
- Sheldon L. Glashow, A. John Mallinckrodt: *From Alchemy to Quarks: The Study of Physics as a Liberal Art*; Am. J. Phys., Vol. 62, No. 12, December 1994 Pages 1156 - 1157
- John R. Taylor, Author, Chris Zafiratos, Author, John Pribram, John Smedley, Mark Semon: *POST-USE REVIEW. Modern Physics for Scientists and Engineers*; Am. J. Phys., Vol. 62, No. 2, February 1994 Pages 189 - 190
- R. Cothorn: *Teaching Science to Nonscience Majors_ Some Attitudes Ideas, and Approaches*; Am. J. Phys., Vol. 41, No. 1, January 1973 Pages 8 -12
- W. Kammer, L. W. Shaltis: *Some Ideas for the "Poets' Physics" Laboratory*; Am. J. Phys., Vol. 41, No. 2, February 1973 Pages 178 - 180
- Roger Penrose, *A császár új elméje: Számítógépek, gondolkodás és a fizika törvényei* - Bp. : Akad.K., 1993.

Internet címek gyűjteménye

A folyó szövegben nem hivatkozott, de a téma szempontjából figyelemreméltó Internet címek²³ -- a teljesség²⁴ igénye nélkül.

The World Lecture Hall	http://www.utexas.edu/world/lecture/
Multimedia Physik	http://www.schulphysik.de/
The Internet Pilot to Physics	http://www.dominik.net/physics/tiptop.php3
<i>KFKI fizika tematikus honlap</i>	http://www.kfki.hu/physics/
<i>Időfejlődés a kvantummechanikában</i> Time development of Quantum Mechanical Systems	http://www.kfki.hu/~mark/physedu/schrodinger/
<i>Eötvös Loránd Fizikai Társulat</i>	http://www.kfki.hu/elft/

²³ Az Internet címek aktualizálva 2008. február 11-én!

²⁴Az *Internet* hatalmas mennyiségű, rendezetlen és állandóan változó anyagot tartalmaz (ez a rendezetlenség egyben hátránya és előnye is). Ebben az egyébként reménytelenül áttekinthetetlen dzsungelben komoly segítséget nyújtanak az ún. **keresőgépek**, melyek a ma elterjedt böngészőprogramokból (pl. *Netscape*) könnyen elérhetőek.