

## 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 megsemmisítette 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 lényegét 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 fekvé, 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 elgondolkodott, 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 múló epizód csupán a Földtörténet évmilliárdos időskáláján.

A mesebeli Főtudósunk 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!

## ELŐSZÓ

" 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 színesebbé 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 tudósegényisége, neves csillagász volt. Ő vezette 1919-ben azt az afrikai csillagászati expedíciót, amely teljes napfogyatkozáskor 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 megértésében 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 joggal 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!

## **TANANYAG**

### **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

### **2.1. 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**

OROSZ LÁSZLÓ  
BME  
FIZIKA INTÉZET  
FIZIKA TANSZÉK