



**TÁJÉKOZTATÓ A BME  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KARÁRA  
FIZIKUS MESTERSZAKRA  
FELVÉTELT NYERT  
HALLGATÓK SZÁMÁRA**



**2013**

## **Tartalomjegyzék**

1. Dékáni köszöntő
2. Tájékoztató a Fizikus mesterképzésről
3. A Fizikus mesterképzési szak mintatanterve
4. Tantárgyleírások
5. A Természettudományi Kar Dékáni Hivatala és Hallgatói Képvisellete
6. A Természettudományi Kar intézetei és tanszékei

# Kedves Fizikus Hallgató!

Szeretettel köszöntöm abból az alkalomból, hogy a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME vagy népszerű nevén a Műegyetem) polgára lett. Külön örülök annak, hogy tanulmányaihoz a Természettudományi Kart választotta, hiszen hosszú évek óta nagy hangsúlyt fektetünk arra, hogy a tőlünk kikerülő hallgatók világszínvonalú tudással bárhol megállják a helyüket és itthon vagy akár külföldön öregbítsék országunk jó hírét. Nemzetközi hírű professzorainkkal, kutatásban és oktatásban kiterjedt tapasztalatokkal rendelkező tanártársaimmal arra törekszünk, hogy Önnel együttműködve, közös erőfeszítéssel, a tudása mélyüljön, látóköre szélesedjen és képzése során sok hasznos ismeretre tegyen szert. A karhoz tartozó oktatási egységek igen sok külföldi egyetemmel alakítottak ki élénk és nagyon eredményes oktatási és kutatási együttműködést. Ennek révén a magasabb évfolyamos hallgatók egy részének lehetőséget nyújtunk arra, hogy tanulmányaik bizonyos szakaszát külföldi egyetemeken folytathassák.

Célunk, hogy amikor majd kézhez veszi MSc diplomáját, az elhelyezkedés ne jelenthessen gondot és olyan munkát választhasson, ami nemcsak biztos megélhetést nyújt, hanem érdeklődésének megfelelő is.

A Fizikus mesterképzés másfél évtizedes éves múltja tekint vissza a Műegyetemen. Ez idő alatt a képzés nagy elismertséget és tekintélyt vívott ki magának. Eddigi tapasztalataink szerint a hallgatóink érdeklődőek és teljesítményorientáltak. Kívánjuk, hogy minél inkább járuljon hozzá ahhoz, hogy hallgatótársai között kialakuljon az egymást segítés és egymással versengés egyensúlya.

Az egyetemi évek mindenki életében meghatározóak, nemcsak a megszerzett ismeretanyag tekintetében – hiszen manapság a tanulás egy életre szóló program –, hanem az egyetemi életben való részvétel, az itt létrejövő személyes kapcsolatok és az itt kialakuló tudományos szemlélet miatt is. Arra biztatom, hogy használja ki jól a BME nyújtotta lehetőségeket! Tájékozódjék, keresse a kapcsolatokat a felsőbb éves hallgatókkal, professzoraival és tanáraival! Nem fog csalódni, ha esetleges problémáival hozzájuk fordul.

Most azonban nem a problémák, hanem az öröm perceit éljük: örülünk, hogy csatlakozott hozzánk, a felvételéhez szívből gratulálok!

DR. PIPEK JÁNOS  
dékán

# TÁJÉKOZTATÓ A FIZIKUS MESTERKÉPZÉSRŐL

## Miért ajánljuk a Műegyetemi fizikusképzést?

A pályaválasztás során célszerű az egyéni érdeklődést és a várható társadalmi igényeket egyaránt figyelembe venni. Gyorsan változó világunkban különösen nehéz előre látni, hogy milyen speciális szaktudás lesz jól hasznosítható 5, 10 vagy 15 év múlva. Ha a diplomás szakemberek széles alapon nyugvó, kiterjedten alkalmazható tudással rendelkeznek, könnyebb lesz az új kihívásoknak megfelelniük. Kétszintű képzésünket is ezen szemlélet alapján alakítottuk ki.

A fejlett országokban tág körben alkalmaznak olyan fizikusokat, akik a természet- és a műszaki tudományok alapját képező fizika köré csoportosítva matematikát, számítástechnikát, mérés-technikát tanulnak és elsajátítják a problémamegoldás hatékony módszereit.

A Műegyetemen végző fizikusok éppen ezekre a jól hasznosítható alapokra építve olyan szakemberekké válnak, akik a tudományos kutatás, a műszaki fejlesztés vagy akár a gazdasági és az üzleti élet legkülönbözőbb területein megállják a helyüket. A fizikusok az új anyagok és technológiák kifejlesztésében úttörő szerepet játszanak azáltal, hogy a „*hogyan*” mellett mindig a „*miértre*” is figyelnek. A modern üzemekben anyagtudományi és mérés-technikai tudásukat kamatoztatják, a környezetvédelemben a nukleáris folyamatokról és a komplex rendszerekről tanultakat hasznosítják, de modellalkotási és matematikai ismereteik akár a gazdasági folyamatok elemzésénél is bevethe- tők.

Örvendetes tény, hogy a multinacionális nagyvállalatok mellett egyre több, innovációval foglalkozó hazai kisvállalkozás keres fizikusokat. Eddig végzett hallgatóink itthon vagy az Európai Unióban jó állásokban tudtak elhelyezkedni, vagy a doktori képzés keretében tanulnak tovább.

A 2006-tól induló kétszintű szerkezet rugalmasabb és sokoldalúbb képzést tesz lehetővé. Közben megőrizzük az eddigi sikeres ötéves mérnökfizikus szak előnyeit, az érdeklődő hallgatók számára lehetőség nyílik gyakorlatibb és már az alapidiploma megszerzése után valamilyen gyakorlati módon hasznosítható tudás megszerzésére.

A szak széleskörű természettudományos, matematikai és számítástechnikai alapok, valamint fontos műszaki-technológiai alkalmazások elsajátítását teszi lehetővé. A képzés célja, hogy a végzett mérnök-fizikusok munkájuk során szakterületük kísérleti és elméleti módszereit egységben tudják alkalmazni a természeti jelenségek vizsgálatára, értelmezésére és a kutatás-fejlesztés gyakorlati feladatainak megoldására, továbbá képesek legyenek szakterületük fejlődésének naprakész nyomon követésére és az új eredmények saját munkájukban történő hasznosítására.

A BME Természettudományi Karának fizikus mesterképzési (MSc) szakát a kar két intézete, a Fizikai Intézet és a Nukleáris Technikai Intézet gondozza. A Fizikai Intézetben a kísérleti és elméleti szilárdtestfizika, az optika, a felületfizika és a komplex rendszerek területén nemzetközi mércével kiemelkedő műhelyek működnek. A Nukleáris Technikai Intézetben kiemelkedő színvonalúak a reaktorfizikával, a termohidraulikával, a fúziós technológiával, a radiokémiával, valamint a sugár- és környezetvédelemmel kapcsolatos kutatások, és itt működik az ország egyetlen oktatóreaktora is. A négy szemeszteres (120 kreditpontos) mesterszak a kutatóműhelyek tapasztalataira, az ott dolgozó kiváló oktatókra épül. A képzés szorosan kapcsolódik a nemzetközi együttműködésekben végzett projektekhez, így lehetőség van külföldi részképzésre is.

– A szakon négy irányban lehet szakosodni. **Kutatófizikusnak** azokat várjuk, akik a fizika kísérleti és elméleti alapkutatói problémái iránt érdeklődnek. A Fizikai Intézet kutatási irányaihoz

kapcsolódva mély ismeretekre tehetnek szert a szilárdtest-fizika, a statisztikus fizika területén, megismerkedhetnek a modern elméleti fizika eszköztárával és a legkorszerűbb kísérleti technikákkal.

- Az **alkalmazott fizika szakirányon** az anyagvizsgálati módszerek és az anyagtudományi, optikai tárgyak mellett tervező-fejlesztő ismeretek oktatására is sor kerül, mivel itt a cél, hogy a hallgatók a fizikát a gyakorlati problémák megoldására legyenek képesek felhasználni.
- A **nukleáris technika szakirány** – kihasználva karunk egyedülálló lehetőségeit – nukleáris szakembereket képez számos terület, így az energetika, az orvostudomány, a sugár- és környezetvédelem számára.
- Az **orvosi fizika szakirányt** olyan BSc-vel rendelkező hallgatóknak ajánljuk, akik a fizikai alapismeretek gyakorlati alkalmazásai iránt érdeklődnek. Tudásukat elsősorban olyan interdiszciplináris területeken tudják kamatoztatni, ahol egészségügyi és műszaki szakemberekből álló csoportok kutatói, fejlesztői és alkalmazói munkát végeznek az orvostudomány és sikeres gyógyításhoz kapcsolódó ipari kutatás területén.

A szakra vonatkozó szabályozásokat (pl. a záróvizsga letételének feltételeit, a diplomamunka elkészítését) a szak **tanrendje** tartalmazza. Az ütemes előrehaladás garanciája, ha a hallgatók a **min-tatanterv** szerint veszik fel a tantárgyakat. Az egyes tantárgyak felvételéhez szükséges kötelező előismereteket az **előtanulmányi rend** tartalmazza. *Felhívjuk a figyelmet, hogy a következő információk tájékoztató jellegűek.* Kisebbségi módosítások, kiegészítések a Hallgatói Képviselőtestület, a Fizikus Szakbizottság és a Kari Tanács egyetértésével a tanulmányok során előfordulhatnak. A dokumentumok mindenkor aktuális változata a kar honlapján, a <http://www.ttk.bme.hu> címen olvasható.

# A FIZIKUS MESTERKÉPZÉSI (MSC) SZAK MINTATANTERVE

			Szemeszter				
Tárgynév, kód, tárgytípus			1	2	3	4	óra/kr
<b>Alapozó ismeretek (6 kredit)</b>							
1	Matematikai problémamegoldó gyakorlat, BMETE95MF00	K	0/2/0/f/2				2/2
2	Műszaki és fizikai problémák számítógépes megoldása, BMETE11MF01	K	0/0/2/f/2				2/2
3	Befektetések, BMEGT35M004	K		2/0/0/f/2			2/2
<b>Szakmai törzsanyag (23 kredit)</b>							
4	Atom- és molekulafizika, BMETE15MF02	K	2/1/0/f/3				3/3
5	Fizikai anyagtudomány, BMETE12MF02	K		2/0/0/f/3			2/3
6	Magfizika, BMETE80MF02	K		3/0/0/v/4			3/4
7	Részecskefizika, BMETE13MF00	K			4/0/0/v/4		4/4
8	Számítógépes szimuláció a statisztikus fizikában, BMETE15MF03	K	2/0/0/v/3				2/3
9	Fizikai laboratórium, BMETE11MF02, 12MF03, 80MF01, 80MF80	K	0/0/6/f/6				6/6
<b>Differenciált szakmai ismeretek (85 kredit)</b>							
10	Szeminárium 1-4, BMETE11MF03-06, 12MF04-07, 80MF02-05, 80MF81-84	K	0/2/0/f/2	0/2/0/f/2	0/2/0/f/2	0/2/0/a/0	8/6
11	Önálló laboratórium 1-2, BMETE11MF07-08, 12MF08-09, 80MF06-07, 80MF85-86	K		0/0/7/f/7	0/0/12/f/12		19/19
12	Szakirány tárgyak	KV	7/0/0/v/10	7/0/0/v/10	7/0/0/v/10		21/30
13	Diplomamunka-készítés, BMETE11MF10 12MF12, 80MF10, 80MF89	K				0/0/10/v/30	24/30
<b>Szabadon választható tárgyak (6 kredit)</b>							
14	Szabadon választható tárgyak 1-3	SZV	2/0/0/f/2	2/0/0/f/2	2/0/0/f/2		6/6
<b>Kritérium tárgyak (0 kredit)</b>							
15	Szigorlat, BMETE15MF04, 12MF10, 80MF08, 80MF87	KR		0/0/0/s/0			0/0
16	Szakmai gyakorlat, BMETE11MF09, 12MF11, 80MF09, 80MF88	KR			0/0/9/a/0		9/0
<b>Nyelvtanulási lehetőség</b>							
17	Idegen nyelv	KR	0/4/0/a/0	0/4/0/a/0			8/0
<b>Összes heti óra (kritérium tárgyak nélkül)</b>			26	25	27	12	90
<b>Összes kredit</b>			30	30	30	30	120
<b>Vizsgaszám</b>			4	4	4	1	13
<b>Szigorlatszám</b>			0	1	0	0	1

A szakmai gyakorlatot a 2. félév után, nyáron minimum 3 hét időtartamban kell teljesíteni, magát a megfelelő tárgyat pedig a 3. félévben kell felvenni.

A 9-13 és 15-16 sorokban a tárgyak kódja rövidítve szerepel, közös BMETE kezdetüket elhagytuk. A felsorolt négy kód (kódcsoport) rendre a *Kutató fizikus* (oklevélben nem nevesített), az *Alkalmazott fizika*, a *Nukleáris technika* és az *Orvosi fizika* szakirány megfelelő tárgyára (tárgyaira) vonatkozik.

## Jelmagyarázat:

### 1. Tárgyfelvétel típusa:

**K:** Kötelező tantárgy,

**KV:** kötelezően választható tantárgy,

**SZV:** szabadon választható tantárgy,

**KR:** kritérium feltétel.

**kv:** követelmény típusa: **a:** aláírás megszerzése,

**f:** félévközi jegy (gyakorlati jegy), **v:** vizsga,

**s:** szigorlat,

**kr:** kredit

### 2. Tárgyparaméterek (ea/gy/lb/kv/kr)

**ea:** előadások heti óraszám,

**gy:** gyakorlatok heti óraszám,

**lb:** laboratóriumi gyakorlatok heti óraszám

**A Kutatófizikus (oklevélben nem nevesített) szakirány  
kötelezően választható tárgyai:**

**Szilárdtestfizika tárgycsoport:**

A sűrűségfüggvény elméleti alapjai, BMETE15MF15, 2/0/0/v/3  
Bevezetés a szupravezetők elméletébe, BMETE11MF11, 2/0/0/v/3  
Csoportelmélet a szilárdtestkutatásban, BMETE11MF12, 2/0/0/v/3  
Kölcsönható spin-rendszerek valós anyagokban BMETE11MF30, 2/0/0/v/3  
Mágnesség elmélete 1-2, BMETE11MF13-14, 2/0/0/v/3, 2/0/0/v/3  
Mágneses rezonancia, BMETE13MF04, 2/0/0/v/3  
Mezozkópikus rendszerek fizikája, BMETE15MF16, 2/0/0/v/3  
Modern szilárdtestfizika, BMETE11MF15, 2/2/0/v/5  
Nanomágnesség, BMETE15MF17, 2/0/0/v/3  
Optikai spektroszkópia, BMETE11MF16, 2/0/0/v/3  
Szilárdtestek elektronszerkezete 1-2, BMETE15MF18-19, 2/0/0/v/3, 2/0/0/v/3  
Új kísérletek a nanofizikában, BMETE11MF18, 2/0/0/v/3  
Töltés- és spinsűrűség hullámok, BMETE11MF17, 2/0/0/v/3  
Waveletek, koherens állapotok és változó felbontású analízis, BMETE15MF20, 2/0/0/v/3

**Statisztikus fizika tárgycsoport:**

Dinamikai rendszerek, BMETE14MF02, 2/0/0/v/2  
Evolúciós játékelmélet, BMETE15MF11, 2/0/0/v/3  
Fázisátalakulások, BMETE15MF12, 2/0/0/v/3  
Komplex hálózatok, BMETE15MF38, 2/0/0/v/3  
Nemegyensúlyi statisztikus fizika, BMETE15MF13, 2/0/0/v/3  
Skálázás és kritikus jelenségek, BMETE15MF14, 2/0/0/v/3  
Számítógépes szimulációk laboratórium, BMETE15MF36, 0/0/2/f/2  
Transzportfolyamatok, BMETE14MF03, 2/0/0/v/2  
Véges hőmérsékletű és nem egyensúlyi térelméletek, BMETE15MF33, 2/0/0/v/3

**Kvantumrendszerek fizikája tárgycsoport:**

Bevezetés az elméleti plazmafizikába, BMETE15MF29, 2/0/0/v/3  
Egydimenziós rendszerek fizikája, BMETE15MF05, 2/0/0/v/3  
Haladó kvantummechanika, BMETE13MF01, 2/0/0/v/3  
Kvantumszámítógép fizika 1-2, BMETE15MF24-25, 3/0/0/v/3, 3/0/0/v/3  
Magnetohidrodinamika alacsony dimenziós rendszerekben, BMETE15MF32, 2/0/0/v/3  
Molekulafizika 2, BMETE15MF06, 2/0/0/v/3  
Pályaintegrál módszer a fizikában, BMETE13MF02, 2/0/0/v/3  
Soktestprobléma 1-2, BMETE15MF07-08, 2/0/0/v/3, 2/0/0/v/3  
Szolitonok és inverz problémák, BMETE15MF09, 2/0/0/v/3  
Variációs elvek a fizikában, BMETE13MF03, 2/0/0/v/3  
Véletlen mátrix elmélet és fizikai alkalmazásai, BMETE15MF10, 2/0/0/v/3

**Az Alkalmazott fizika szakirány kötelezően választható tárgyai:**

**Nem Fizika BSc-ről érkező hallgatóknak**

Bevezetés az optikába, BMETE12MF13, 2/2/0/v/5  
Fizikai problémák megoldása, BMETE12MF01, 2/2/0/f/4

Lézertechnika, BMETE12AF07, 2/0/0/f/2  
Vákuumfizika és -technika, BMETE12MF28, (2/0/0/v/3)

#### **Optika tárgycsoport:**

Fényforrások, BMETE12MF14, 2/0/0/v/3  
Fizikai optika, BMETE12MF37, 4/0/0/v/5  
Holográfia és alkalmazások, BMETE11MF19, 2/0/0/v/3  
Kvantumelektronika, BMETE12MF16, 3/0/0/v/4  
Lézerfizika, BMETE12MF17, 2/0/0/v/3  
Optikai adatátvitel fizikai alapjai, BMETE11MF20, 2/0/0/v/3  
Optikai anyagok és technológiák 1-2, BMETE12MF33-34, 2/0/0/v/3, 2/0/0/v/3  
Optikai jelfeldolgozás és adattárolás, BMETE12MF19, 2/0/0/v/3  
Optikai mérés technika, BMETE11MF21, 2/0/0/v/3  
Optikai tervezés, BMETE12MF39, 2/2/0/v/4  
Optoelektronikai eszközök, BMETE12MF21, 2/0/0/v/3

#### **Anyagtudomány tárgycsoport:**

Elektron- és ionoptikák, BMETE12MF22, 2/0/0/v/3  
Felületfizika és vékonyrétegek 1-2, BMETE12MF35-36, 2/0/0/v/3, 2/0/0/v/3  
Félvezetők fizikája 1-2, BMETE11MF26-27, 2/0/0/v/3, 2/0/0/v/3  
Kristályos és amorf anyagok, BMETE15MF21, 2/0/0/v/3  
Spektroszkópia és anyagszerkezet, BMETE12MF25, 2/0/0/v/3  
Szilárdtestek elektromos és optikai tulajdonságai, BMETE12MF26, 2/0/0/v/3  
Trendek az anyagtudományban, BMETE12MF27, 1/0/0/v/2  
Vizsgálati módszerek az anyagtudományban 1-2, BMETE12MF31-32, 3/0/2/f/5, 3/0/2/f/5

### ***A Nukleáris technika szakirány kötelezően választható tárgyai***

Atomerőművek, BMETE80MF14, 3/1/0/v/5  
Atomerőművi anyagvizsgálatok, BMETE80MF15, 2/0/0/v/2  
Atomerőművi kémia, BMETE80MF16, 2/1/0/v/3  
Atomerőművi szimulációs gyakorlatok, BMETE80MF17, 0/0/2/f/3  
Atomerőművi üzemzavar elemzések, BMETE80MF34, 3/2/0/v/6  
Atomreaktorok üzemtana, BMETE80MF18, 3/1/0/v/3  
Bevezetés a fúziós plazmafizikába, BMETE80MF19, 2/0/0/v/2  
Bevezetés a plazmatranszportba, BMETE80MF20, 4/0/0/v/4  
CFD módszerek és alkalmazások, BMETE80MF36, 2/1/0/f/3  
Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából 1 – 2  
BMETE80MF45 - 46, 2/0/0/v/3, 2/0/0/v/3  
Fúziós berendezések, BMETE80MF39, 2/0/0/v/2  
Fúziós nagyberendezések, BMETE80MF43, 2/0/0/v/3  
Fúziós plazmafizikai laboratórium, BMETE80MF40, 0/0/4/f/4  
Ipari katasztrófák, BMETE80MF22, 2/0/0/v/2  
Monte Carlo módszerek, BMETE80MF41, 2/1/0/f/4  
Monte Carlo részecsketranszport módszerek, BMETEMF33, 2/0/0/v/2  
Neutron- és gammatranszport számítási módszerek, BMETE80MF23, 2/2/0/v/5  
Nukleáris üzemanyagciklus, BMETE80MF13, 3/0/0/v/3  
Radioaktív anyagok terjedése környezeti és biológiai rendszerekben,  
BMETE80MF32, 2/2/0/v/4



**Radioaktív hulladékok biztonsága, BMETE80MF31, 3/0/1/v/4**  
**Radioanalitika, BMETE80MF24, 2/0/3/v/5**  
**Radiológiai technikák fizikai alapjai, BMETE80MF25, 3/0/0/v/4**  
**Reaktorfizikai számítások, BMETE80MF38, 3/1/0/v/4**  
**Reaktorszabályozás és műszerezés, BMETE80MF35, 2/1/0/v/3**  
**Röntgen- és gamma spektrometriai módszerek, BMETE80MF37, 2/0/0/v/2**  
**Sugárvédelem 2, BMETE80MF30, 2/0/2/v/4**  
**Szimulációs technika, BMETE80MF27, 2/0/1/f/4**  
**Transzportelmélet alapjai, BMETE80MF29, 4/0/0/v/4**  
**Ütközéses transzport mágnesezett plazmákban, BMETE80MF42, 1/2/0/f/4**

### ***Az Orvosi fizika szakirány kötelezően választható tárgyai***

#### **Orvosi biológia és élettan tárgycsoport (legalább 10 kreditet kell teljesíteni)**

**Az orvostudományi kutatások etikai kérdései, BMEVIEUM300, 3/0/0/v/4**  
**Funkcionális anatómia alapjai, BMEVIEUM000, 4/0/0/v/4**  
**Rendszerélettan, BMEVIEUM273, 2/1/0/v/4**  
**Sugárbiológia, BMETE80MF93, 2/1/0/v/3**

#### **Fizikai módszerek az orvosi terápiában tárgycsoport**

**Brachyterápia, BMETE80MF96, 2/0/0/v/2**  
**Minőségbiztosítás és jogi szabályozás, BMETE80MF92, 2/0/1/v/3**  
**Sugárvédelem 2, BMETE80MF30, 2/0/2/v/4**  
**Sugárterápia fizikai alapjai, BMETE80MF94, 2/0/2/v/4**  
**Sugárterápia 2, BMETE80MF95, 2/0/0/v/2**

#### **Fizikai módszerek az orvosi diagnosztikában tárgycsoport**

**Bevezetés az optikába, BMETE12MF13, 2/1/0/v/3**  
**Lézerek gyógyászati alkalmazásának fizikai alapjai, BMETE12MFxx, 2/0/0/v/2**  
**Mágneses rezonancia és klinikai alkalmazásai, BMETE80MF90, 2/0/0/v/2**  
**Mikroszkópia, BMETE12AF09, 2/0/0/f/2**  
**Monte Carlo módszerek, BMETE80MF41, 2/1/0/f/4**  
**Neutron- és gammatranszport számítási módszerek, BMETE80MF23, 2/2/0/v/5**  
**Nukleáris medicina, BMETE80MF97, 2/0/1/v/3**  
**Orvosi képalkotás, BMETE80MF91, 3/1/0/v/4**  
**Röntgendiagnosztika fizikai alapjai, BMETE80MF99, 2/0/1/v/3**  
**Spektroszkópia és anyagszerkezet, BMETE12MF25, 2/0/0/v/3**  
**Ultrahang diagnosztika, BMETE80MF98, 2/0/0/v/2**

# TANTÁRGYLEÍRÁSOK

## ALAPOZÓ ISMERETEK

### **Matematikai problémamegoldó gyakorlat (0/2/0/f/2)**

A tárgy a fizikus illetve mérnök alapképzések matematikai jellegű tárgyaira épít. Alapvető matematikai eszközök áttekintése (mérték és integrálmélet, funkcionálmélet, topológiai és differenciálgeometriai alapfogalmak). Válogatott problémák az alábbi témakörökből: parciális differenciálegyenletek: jelenségek és megoldási módszerek. Sztochasztikus folyamatok alapjai: Markov folyamatok folytonos és diszkrét időben, példák. Statisztikus fizikai problémák. Dinamikai rendszerek matematikai elmélete, fraktálok. Algebrai kitekintés: csoportelmélet, szimmetriák, csoporthatások. Kombinatorikai alapfogalmak: gráfelmélet.

*Irodalom:* órai jegyzetelés / lecture notes

### **Műszaki és fizikai problémák számítógépes megoldása (0/0/2/f/2)**

A tárgy keretében a félév során a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszereshető számítástechnikai és fizikai ismeretekre építve a műszaki és fizikai alkalmazások különböző területeinek néhány alapvető modelljét vizsgáljuk meg (többek között: egy- és többtest problémák, Poisson egyenlet, folyadékáramlás, lemezkihajlás, hővezetés, hullámegyenlet, Schrödinger egyenlet), amelyeket közönséges- illetve parciális differenciál-egyenletek írnak le. Ennek során minden témában elkészítjük a problémát megoldó számítógépes programot. A számítógépes implementáció során nemcsak a modellek fizikai tartalmát elemezzük, hanem a szükséges numerikus módszereket is. A programozás szoftver eszköze a MATLAB programozási nyelv. Az előadást kiegészíti a félév elején tartott nem kötelező négyórás tanfolyam a MATLAB használatáról.

*Irodalom:* Stoyan Gisbert, Takó Galina: Mumerikus módszerek I-III. (ELTE-TypoTEX, Budapest, 1995.); MATLAB documentation set 2007. ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)); G.D. Smith, Numerical Solution of Partial Differential Equations, (1979); David S. Burnett, Finite Element Analysis, (1988); Kenneth H. Huebner, Earl A. Thorton, Ted G. Byrom, The Finite Element Method for engineers, (1995).

### **Befektetések (2/0/0/f/2)**

Markowitz-féle portfólióelmélet: várható hasznosság maximalizálás, kockázatkerülés és racionalitás, diverzifikáció, diverzifikálható és nem-diverzifikálható kockázat, hatékony portfóliók. Sharpe-féle CAPM: kockázatmentes lehetőség, homogén várakozások, piaci portfólió és a tőkepiaci egyenes, béta és az értékpapír-piaci egyenes. Piaci hatékonyság: hatékony tőkepiac, tőkepiaci hatékonyság hipotézise (EMH), tőkepiaci hatékonyság szintjei (gyenge szint, félerős szint, erős szint). Piaci mikrostruktúra: elmélet és empirikus eredmények. Viselkedési pénzügyek: viselkedési pénzügyek modelljei, viselkedési pénzügyek kritikái, heurisztikák, keretek, anomáliák.

## SZAKMAI TÖRZSANYAG

### **Atom- és molekulafizika (2/1/0/f/3)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszereshető kvantummechanika ismeretekre építve atomok és molekulák kvantummechanikai tárgyalásának az alapjait mutatja be a következő témakörök tárgyalásával: sokrészecskés rendszerek Schrödinger egyenlete, a Born-Oppenheimer közelítés, variációs elvek, a Hartree-Fock módszer, a Roothaan-féle egyenletek, a bázisfüggvények megválasztása, az atomok elektronszerkezete, csoportelmélet és a hullámfüggvény szimmetria tulajdonságai, a sűrűségmátrix, a viriáltétel, a Hellmann-Feynman tétel, molekulák elektronszerkezete, a sűrűségfüggvény módszer.

*Irodalom:* Kapuy E. és Török F.: Atomok és molekulák kvantumelmélete (Akadémia Kiadó, Budapest, 1975).

### **Fizikai anyagtudomány (2/0/0/f/3)**

A tantárgy az alapképzési (B.Sc.) szakon elsajátított fizika ismeretekre alapozva konkrét példákon keresztül célozza a hallgatók modern anyagtudományi tudásának megszerzését. A tárgyalt tématerületek: a szilárdulás folyamata, kristályhibák, a diffúzió jelensége, a szilárd anyagok mechanikai tulajdonságai, fázisdiagramok, polimerek, ötvözetek, kerámiák, kompozitok, a korrózió jelensége, az anyagok elektromos és mágneses sajátságai.

*Irodalom:* W.F. Smith, J. Hashemi: Foundations of Materials Science and Engineering, McGraw-Hill, Third edition 2004.; W.D. Callister, Jr.: Materials Science and Engineering, An Introduction, John Wiley and Sons Inc., Sixth edition, 2003.

### **Magfizika (3/0/0/v/4)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon „Kísérleti magfizika” tárgy keretében megszerzhető ismeretekre építve a magfizika főbb területeit tekinti át a következő témakörök tárgyalásával: Alapállapotú atommagok mérhető adatainak áttekintése és szisztematikája, atommagmodellek, magerők, magreakciók, magbomlások elméleti leírása, maghasadás sajátosságai, magfúzió és fúziós energiatermelés, kozmológia magfizikai alapjai, nukleáris asztrofizika.

*Irodalom:* Györgyi Géza: Elméleti Magfizika (Műszaki Könyvkiadó 1965). Muhin: Kísérleti Magfizika (Tankönyvkiadó 1985). Eisenbud-Garvey-Wigner: Az atommag szerkezete (Akadémiai Kiadó 1969). Neutronfizika (Szerk. Kiss Dezső, Akadémiai Kiadó 1971). K. Krane: Introductory Nuclear Physics (Wiley and Sons). Fényes Tibor (szerk.): Atommagfizika (Akadémiai Kiadó 2006).

### **Részecskefizika (4/0/0/v/4)**

A tárgy célja, hogy a modern részecskefizika alapismereteit bemutassa a hallgatóknak a BSC képzésben megszerzhető tárgyi tudásra (elektrodinamika, kvantummechanika) alapozva. A tárgy oktatásában előkerülő témakörök: részecskék felfedezése, tulajdonságaik, rendszerezésük; részecske-detektorok, részecskegyorsítók; az elektromágneses kölcsönhatás mértékelmélete; a gyenge kölcsönhatás Fermi-elmélete és mértékelmélete, paritásértés; erős kölcsönhatás felépítése, QCD, tulajdonságai; kvantumtérelmélet alapjai; szóráselmélet; perturbációs számítás skalár, Dirac spinor és mértékelméletekben.

*Irodalom:* Patkós A. és Polónyi J.: Sugárzás és részecskék (egyetemi tankönyv, TypoTeX, 2000); Bíró T.: Bevezetés a térelméletbe (Műegyetemi kiadó, 2002); H. Fritsch: Kvarok (Gondolat, 1987); L. Ledermann: Az isteni a-tom (TypoTeX, 1995); M.E. Peskin, D.V. Schröder: An introduction to QFT (Westview Press, 1995).

### **Számítógépes szimuláció a statisztikus fizikában (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a BSc-képzés során elsajátított statisztikus fizikai és programozási ismeretekre építve bemutatja a legalapvetőbb szimulációs technikákat és betekintést nyújt az újabb fejleményekbe. Kiemelt témakörök: Monte Carlo módszer (véletlen számok generálása, fontossági mintavétel, Metropolis algoritmus, határfeltételek, sokaságok, átlagok, karakterisztikus idők). Fázisátalakulások (véges méret skálázás, kritikus lelassulás, gyorsítási technikák). Diszkrét modellek algoritmikus vonatkozásai (perkoláció, mágneses modellek, rácsgázok, sejtautomaták, növekedési modellek). Sztochasztikus differenciálegyenletek (osztályozásuk, a zajok fajtái, módszerek, instabilitások). Molekuláris dinamika (kölcsönhatások, megoldási módszerek, sokaságok, eseményvezérelt MD, instabilitások).

### **Fizikai laboratórium (0/0/6/f/6)**

A tárgy napjainkban alkalmazott élenjáró kísérleti eljárásokat ismerttet meg jelenség-orientált méréseken keresztül. A laboratóriumi témakörök szakirányt nem választó hallgatóknak: szupra-

vezetés (kritikus mágneses tér, perzisztens áram, Josephson-effektus); infra- és Raman-spektroszkópia (fémek Drude-spektruma, Fano-rezonancia,  $C_{60}$  molekularezgései); nanofizika (kvantum-Hall jelenség, vezetőképesség-kvantálás, atomi transzmissziók mérése); töltéssűrűség hullámok (nemlináris jeleségek, dielektromos relaxáció); mágneses optikai Kerr-effektus (mágneses félvezetők mágnessége). Az alkalmazott fizika szakirány hallgatói a következő témakörökkel foglalkoznak: üvegszálak, hullámvezetők, lézerdíoda tulajdonságai, diffrakció és optikai jelfeldolgozás, akusztóoptikai szűrő, CD lemezjátszó, ellipszometria és vékonyrétegek, optikai átviteli függvény és interferometria, holografikus adattárolás, elektronmikroszkópia és elektronlitográfia, anódos oxidréteg növesztés, oxid rétegek vizsgálata XPS-sel, gyémánt réteg növesztés CVD-vel. A nukleáris technika szakirányban a hallgatóknak az alábbi mérésekből kell 12-t elvégezni: neutronfluxus eloszlások mérése, spektrális paraméterek mérése a reaktorzónában, termikus neutronfluxus meghatározása aktivációs módszerrel, neutronabszorbensek reaktivitásértékességének mérése, üregeffektus mérése, termikus neutronok diffúziós hosszának mérése, későneutron paraméterek mérése, uránkoncentráció meghatározása, mérések szubkritikus rendszeren, kritikussági kísérlet a reaktoron, termikus neutronfluxus mérése repülési idő módszerrel, neutron dózis meghatározása néhány csoportos neutronspektrum mérés alapján, neutronaktivációs analízis, nukleáris detektorok paramétereinek vizsgálata, különböző anyagok neutron- és  $\gamma$ -védelmi tulajdonságainak vizsgálata, szabályozórúd kalibrálása szubkritikus rendszeren, Feymann- $\alpha$  mérés,  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  arányának meghatározása az urán hasadási termékeinek elemzése alapján, mérések reaktorszimulátoron, prompt  $\gamma$  aktivációs analízis hideg neutronokkal, jelalak diszkrimináció (PSD) vizsgálata, Mössbauer effektus mérése.

*Irodalom:* [http://dept.phy.bme.hu/education/szilfiz\\_labor.html](http://dept.phy.bme.hu/education/szilfiz_labor.html)., mérési útmutatók / measurement descriptions.

## DIFFERENCIÁLT SZAKMAI ISMERETEK

### Szeminárium 1, 2, 3, 4 (0/2/0/f/2, 0/2/0/f/2, 0/2/0/f/2, 0/2/0/a/0)

A négy féléves tantárgy keretében a hallgatók minden félévben a modern fizika egy-egy élvonalbeli területét dolgozzák fel, és a rájuk eső részt 45 perces előadásban ismertetik.

During each of the four semesters the students learn about a topic at the frontier of modern physics, and give a 45 minutes talk on the part of the subject assigned to them.

*Irodalom / Literature:* félévenként változó / differing in each semester

### Önálló laboratórium 1, 2 (0/0/7/f/7, 0/0/12/f/12)

A két féléves tantárgy keretében a hallgatók diplomamunkájuk témakörében végeznek kutatási feladatokat diplomatéma vezetőjük irányításával.

## KUTATÓFIZIKUS (OKLEVÉLBEN NEM NEVESÍTETT) SZAKIRÁNY KÖTELEZŐEN VÁLASZTHATÓ TÁRGYAI

### Szilárdtestfizika tárgycsoport

#### A sűrűség funkcionál elmélet alapjai (2/0/0/v/3)

Sok-részecskés Fock-tér és sűrűségoperátor. Redukált sűrűségoperátorok. A kölcsönható elektron rendszerek egzakt egyenletei és a független részecske közelítés sűrűségoperátor képbén.  $N$ -előállíthatóság. A Fermi-lyuk és a lokalizált pályák. Az elektron sűrűség. Kato tétele és a cusp (csúcs) feltételek. Az elektron sűrűség  $\nu$  és  $N$  előállíthatósága. Hohenberg és Kohn tételei. Az univerzális sűrűség funkcionál létezése. A Levy-féle korlátozott keresés módszere. Skálatulajdonságok. Kohn és Sham egyenletei. Tört betöltési számok. A kémiai potenciál és az elektronnegativitás. Közelítő módszerek. Gradiens sorfejtés. Modern funkcionálok.

*Irodalom:* Nagy Ágnes: Molekulák elektronsűrűség elmélete (KLTE Elméleti Fizika Tsz., Debrecen, 1994); R.M. Dreizler, E.K.U. Gross: Density Functional Theory (Springer, Berlin, 1990); R.G. Parr, W. Yang: Density-functional Theory of Atoms and Molecules (Oxford, New York, 1989); Kapuy Ede: Sűrűségfüggvények és alkalmazásuk a kvantummechanikai többtest-problémában (JATE, Szeged).

### **Bevezetés a szupravezetők elméletébe (2/0/0/v/3)**

Szupravezetők fenomenológikus leírása. Meissner-effektus, London-egyenletek, szupravezetők elektrodinamikája. Bardeen-Cooper-Schrieffer-elmélet: alapállapot, termodinamika és transzporttulajdonságok. Ginzburg-Landau-elmélet: szabadenergia, GL-egyenletek és megoldásuk, Abrikoszov-örvények, másodfajú szupravezetők mágneses tulajdonságai. Josephson-effektus és alkalmazásai. Magashőmérsékleti szupravezetők. A tárgy követéséhez szükséges előismeretek elsajátíthatók a *Modern szilárdtest-fizika* előadásban.

*Irodalom:* Michael Tinkham, Introduction to Superconductivity: Second Edition (Dover Books on Physics, 2004), L. D. Landau – E. M. Lifshic: Elméleti fizika IX., Statisztikus mechanika II. (Tankönyvkiadó, Budapest, 1981), Sólyom Jenő: A modern szilárdtestfizika alapjai III., Kölcsönhatás az elektronok között (ELTE Eötvös Kiadó, 2002-2003).

### **Csoportelmélet a szilárdtest-kutatásban (2/0/0/v/3)**

Alapismertek: szimmetria pontcsoportok, véges csoportokra vonatkozó fontosabb tételek, reprezentációk, karaktertáblák. Rezgési spektroszkópia: kiválasztási szabályok, direktszorzat-representációk, faktorcsoport. Elektronátmenetek: kristálytér-felhasadás, SO(3) és SU(2) csoportok, korrelációs diagramok, kristály kettőscsoportok. Kristályrácsok szimmetriája: tércsoportok, krisztallográfiai nomenklatura, *International Tables of Crystallography*. Elektronállapotok kristályokban: tércsoport ábrázolásai, kompatibilitási szabályok.

*Irodalom:* G. Burns, Introduction of Group Theory with Applications, (Academic Press, New York, 1977). Wigner Jenő: Csoportelméleti módszer a kvantummechanikában (Akadémia Kiadó, Budapest, 1979).

### **Kölcsönható spin-rendszerek valós anyagokban (2/0/0/v/3)**

A tantárgy célja különböző Mott-szigetelők mágneses tulajdonságainak megértése nemcsak elméleti szinten, hanem kísérleti vonatkozásban is. Tematika: Spin-hullámok  $\text{LaCu}_2\text{O}_4$ -ben és más antiferromágnesekben.  $S=1/2$  spin-láncok gerjesztései. Gerjesztések tiszta és dópolt  $S=1$  spin-láncokban. Spin-létrák mágneses térben. Mágneszettségi platók  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ -ban. Han bíbor ( $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$ ) mágneses térben. Mágneszettségi platók frusztrált rendszerekben: a kvantum fluktuációk és a rácsorzulások szerepe. Spin jég (pl.  $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ): alapállapotú degeneráció, mágneses monopólusok. Nematikus és multipoláris rendeződés frusztrált rendszerekben. Multiferroikus anyagok. Két- ( $\text{Na}_2\text{IrO}_3$ ) és háromdimenziós ( $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ ) irídium oxidok : az erős spin-pálya csatolás szerepe.

*Irodalom:* Patrik Fazekas: Lecture notes on electron correlation and magnetism (World Scientific, Singapore, 1999).

### **Mágnesség elmélete 1 (2/0/0/v/3)**

A mágneses jelenségek mint elektron korrelációs effektusok kerülnek bemutatásra. A Mott-féle fém-szigetelő átmenet a Hubbard modell alapján értelmezzük, a nehézfermionos viselkedést pedig egy variációs elmélettel magyarázzuk. Bevezetjük az antiferromágneses Heisenberg modellt, mint a félig töltött nagy-U Hubbard modell effektív Hamilton operátorát. Tárgyalunk egyéb kinetikus kicserélődési folyamatokat, beleértve a szilárd  $\text{He}_3$  mágnességére is alkalmazható gyűrű-kicserélődést. A direkt kicserélődést a két-rács hely Coulomb folyamatok részletes leírása során vezetjük be. A mágneses rendeződés különböző átlagtér elméleteinek áttekintését a Stoner elmélettel kezdjük. Tárgyalunk gyenge itineráns ferromágneseket, mint pl. a  $\text{ZrZn}_2$  és a  $\text{MnSi}$ .

*Irodalom:* Patrik Fazekas: Lecture notes on electron correlation and magnetism (World Scientific, Singapore, 1999).

### **Mágnesség elmélete 2 (2/0/0/v/3)**

A tárgy első részének alapfogalmait és eredményeit ismertnek tételezzük fel. Változatos mágneses rendeződési jelenségeket tekintünk át, különféle elméleti keretek között tárgyaljuk a rendeződés feltételeit és a rendezett alapállapotra épülő gerjesztések jellegét. A ritkaföldfém rendszerek nem fermi-folyadék viselkedését a kvantum kritikus pont fogalmával magyarázzuk. Leírjuk a lokalizált spinek ferromágneses és antiferromágneses rendjét, valamint a hozzájuk tartozó spinhullám elméletet. Részletesen tárgyaljuk az alapállapot kvantum fluktuációit, beleértve a spinfolyadék alapállapotok lehetőségére vonatkozó újabb eredményeket. Megmutatjuk, hogy hogyan vezet egy különleges mágneses kooperatív viselkedés az egész, és a tört kvantum Hall effektushoz.

*Irodalom:* Patrik Fazekas: Lecture notes on electron correlation and magnetism (World Scientific, Singapore, 1999).

### **Mágneses rezonancia (2/0/0/v/3)**

A BSC szakon megszerezhető elektrodinamika és kvantummechanikai ismeretekre építve a fizika-, kémia-, és orvostudományok egyik legfontosabb vizsgálati módszerét mutatja be, számos példával a modern kondenzált anyagkutatás területéről. Témakörök: elektron és magrezonancia kísérleti alapjai, Bloch egyenletek, dipól-dipól kölcsönhatás, mozgási keskenyedés, kristályterek és finomfelhasadás, hiperfinom felhasadás, kémiai eltolódás, mágneses rezonancia fémekben, szupravezetőkben, mágnesesen rendezett anyagokban.

*Irodalom:* C. P. Slichter: Principles of Magnetic Resonance (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1992).

### **Mezoszkópikus rendszerek fizikája (2/0/0/v/3)**

A mezoszkópikus és nano-rendszerek a modern szilárdtestfizika egyik legintenzívebben tanulmányozott területét képviselik: A litográfiai eljárások eredményeképp olyan félvezető eszközöket és fémes szemcséket tudnak építeni, melyekben az elektronok koherensen mozognak. A tárgy az ilyen eszközök leírásával és a fellépő új jelenségekkel foglalkozik. A kurzus a BSC képzés részét képező kvantummechanika, szilárdtest fizika és statisztikus fizika tárgyak ismeretét tételezi fel, és a következő témakörökkel foglalkozik: apró szemcsék leírása (Coulomb kölcsönhatás, koherencia, egyrészecske szintek), a véletlen mátrix elmélet alapjai (szinttaszítás, univerzalitási osztályok), Coulomb blokád és spektroszkópia (mester egyenletek, co-tunneling, Kondo effektus), nyitott üregek / biliárdok transzporttulajdonságainak leírása (univerzális fluktuációk, spin transzport, pumpálás), kvantum drótok transzporttulajdonságai, és töltés lokalizáció.

*Irodalom:* G. D. Mahan: Many-Particle Physics, (Plenum Press, New York and London, 1981), S. Datta: Electronic Transport in Mesoscopic Systems (Cambridge Studies in Semiconductor Physics and Microelectronic Engineering, Cambridge University Press, 1997).

### **Modern szilárdtestfizika (2/2/0/v/5)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető szilárdtestfizika és statisztikus fizika ismeretekre építve a kölcsönható több részecske rendszerek (elsősorban elektronrendszerek) leírását mutatja be a következő témakörök tárgyalásával: azonos részecskék, másodkvantálás, kölcsönható elektronrendszer Bloch- és Wannier-bázison, fémek ferromágnessége, lineáris válaszmódszer elmélet, fémek szuszceptibilitása, spinsűrűség-hullámok, Bose-folyadék.

*Irodalom:* L. D. Landau és E. M. Lifšic: Elméleti fizika III., Nemrelativisztikus kvantummechanika (Tankönyvkiadó, Budapest, 1978), A. A. Abrikosov, L. P. Gorkov and I. E. Dzyaloshinski: Methods of quantum field theory in statistical physics (Dover, New York, 1975), Sólyom Jenő:

A modern szilárdtestfizika alapjai III., Kölcsönhatás az elektronok között (ELTE Eötvös Kiadó, 2003).

### **Nanomágnesség (2/0/0/v/3)**

A tárgy célja az utóbbi egy-két évtizedben kiemelt alapkutatói és technológiai jelentőségű mágneses nanoszerkezetek több jelenségkörének bemutatása, kiemelt tekintettel az elméleti és számítógépes vizsgálatokra. Témakörök: Felületek, határrétegek, vékonyrétegek és véges atomcsoportok mágneses jelenségei. Mágneses anizotrópia, reorientációs fázisátmenetek, mágneses mintázatok, spin-dinamika. Az oszcilláló kicserélődési réteg-réteg kölcsönhatás. Mágneses domének, doménfalak, mikromágneses modellezés. Vezetési jelenségek: óriás mágneses ellenállás, anizotróp mágneses ellenállás, az áram által indukált mágneses átfordulás, transzport pontkontaktusokban. Magneto-optikai Kerr effektus.

*Irodalom:* válogatott review cikkek.

### **Optikai spektroszkópia (2/0/0/v/3)**

Elektromágneses hullámok vákuumban és izotróp közegekben; komplex dielektromos állandó, határfelületek, reflektivitás és transzmisszió. Optikai vezetőképesség dipólus közelítésben; lineáris válasz elmélet, Kramers-Kronig reláció, összszabályok. Fémek, szigetelők egyszerű optikai modelljei; Drude modell, Lorentz oszcillátor. Optikai fononok, elektron-fonon kölcsönhatás. Optikai spektrométerek: monokromatikus és Fourier transzformációs spektrométerek. Kölcsönható elektronrendszerek optikai vizsgálata: exciton gerjesztések, fém-szigetelő átalakulás, szupravezetők. Mágneses-optika: módszerek és alkalmazások.

*Irodalom:* H. Kuzmany: Solid State Spectroscopy (Springer, 1998). L. Mihály and M.C. Martin: Solid State Physics: Problems and Solutions (Wiley, 1996). S. Sugano and N. Kojima: Magneto-optics, (Springer, 1999).

### **Szilárdtestek elektronszerkezete 1 (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon oktatót kvantummechanika és szilárdtestfizika ismeretekre építkezve a modern szilárdtestfizikai elektronszerkezeti eljárások elméletei alapjainak és módszertanának megismertetését tűzi ki célul. Kiemelt témakörök: A statikus sűrűségfüggvény elmélet alapjai. Variációs és pszeudopotenciál módszerek. A többszörös szórási elmélet (Green függvényes technika). Korrelált elektronrendszerek ab initio leírására alkalmas módszerek (LDA+U, önkölcsönhatás korrekció, dinamikus átlagtér elmélet). Ötvözetek leírása, a koherens potenciál közelítés. Fém (itineráns) mágnesség ab initio elmélete, rendezetlen lokális momentumok módszere. Időfüggő sűrűségfüggvény számítások.

*Irodalom:* Sólyom Jenő: A Modern Szilárdtestfizika alapjai II., Elektronok a szilárd testekben (ELTE Eötvös Kiadó, 2003); J. Zablouil, R. Hammerling, L. Szunyogh, P. Weinberger: Electron Scattering in Solid Matter, Solid-State Sciences Vol. 147, Springer, 2005); válogatott review cikkek

### **Szilárdtestek elektronszerkezete 2 (2/0/0/v/3)**

A Szilárdtestek elektronszerkezete I. tárgy folytatása speciális módszerek és jelenségek tárgyalásával. Témakörök: Relativisztikus elektronszerkezet számítások, mágneses anizotrópia számítása szilárdtestekben. Redukált dimenziójú rendszerek: felületek, határfelületek, egydimenziós láncok, véges atomcsoportok. Kölcsönhatások szilárdtestekben: aszimptotikus analízis, RKKY kölcsönhatás, Dzyaloshinskii-Moriya kölcsönhatás, pár- és klaszterkölcsönhatások ötvözetekben, fázisdiagramok. Elektromos és optikai transzporttulajdonságok ab initio számítása a Caroli-, Landauer- és a Kubo-Greenwood-formalizmus alapján.

*Irodalom:* Sólyom Jenő: A Modern Szilárdtestfizika alapjai II., Elektronok a szilárd testekben (ELTE Eötvös Kiadó, 2003); J. Zablouil, R. Hammerling, L. Szunyogh, P. Weinberger: Electron Scattering in Solid Matter, Solid-State Sciences Vol. 147, Springer, 2005); válogatott review cikkek.

### **Új kísérletek a nanofizikában (2/0/0/v/3)**

A nanométeres méretskálán az elektronok koherens viselkedése és kölcsönhatása, ill. az anyag atomi kvantáltsága számos új jelenséget eredményez. A kurzus ezen jelenségkörökbe kíván bepillantást nyújtani (elsősorban új kísérleti eredmények bemutatásán és szemléletes megértésén keresztül) a következő témakörök ismertetésével: félvezető nanoszerkezetek készítése; nanovezetékek; interferencia-jelenségek nanoszerkezetekben; a zaj mint jel; kvantált Hall effektus; kvantum dotok; szupravezető nanoszerkezetek, proximity effektus.

*Irodalom:* S. Datta, *Electronic Transport in Mesoscopic Systems*, Cambridge, University Press, 1997; Thomas Ihn: *Halbleiter Nanostrukturen*. Beenakker, van Houten, *Quantum Transport in Semiconductor Nanostructures*, <http://xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/0412664>.

### **Töltés- és spinsűrűség hullámok (2/0/0/v/3)**

Kvázi-egydimenziós anyagok: az 1-dimenziós elektrongáz instabilitása (Linhard fv., Kohn-anomália, Peierls-torzulás, spin-sűrűség hullámok). Alacsony dimenziós fluktuációk, fázisátalakulás csatolt láncok esetén (diffúz-Röntgen szórás, NMR). Inkommenzurábilis sűrűség-hullámok: csúszás, deformálás, rögzítés (Fukuyama-Lee-Rice modell, keskeny sávú zaj). Kollektív gerjesztések: fázis- és amplitúdó-gerjesztések, effektív tömeg, optikai tulajdonságok. Nemlineáris és frekvenciafüggő jelenségek: kétfolyadék modell (I-V karakterisztika, dielektromos relaxáció, Hall-állandó, Onsager relációk).

*Irodalom:* G. Grüner: *Density Waves in Solids*, *Frontiers in Physics*, Volume 89, Addison-Wesley Publ. Comp. 1994.

### **Waveletek, koherens állapotok és változó felbontású analízis (2/0/0/v/3)**

Bonyolult eloszlások leírása fizikailag egyszerűen értelmezhető függvények segítségével. Fourier-analízis. Idő-frekvencia analízis, ablak Fourier-transzformáció. Gábor-transzformáció. Határozatlansági reláció, Shannon tétele. Folytonos wavelet transzformáció. Koherens állapotok. A Weyl-Heisenberg és az affin csoport. A Hilbert-tér bázisok általánosítása: keret rendszer. Diszkrét wavelet transzformáció. Riesz-bázis. Változó felbontású analízis. Finomítási egyenlet. Biortogonális és ortogonális skálafüggvények. Kompakt tartójú waveletek: Daubechies konstrukciója. Folytonosság, deriválhatóság, eltűnő momentumok. Fizikai operátorok mátrixelemei wavelet bázisban.

*Irodalom:* Szökefalvi-Nagy Béla: *Valós függvények és függvénytörök* (Tankönyvkiadó, Budapest, 1981); Ingrid Daubechies: *Ten Lectures on Wavelets* (SIAM, Philadelphia, 1992); Charles K. Chui: *An Introduction to Wavelets* (Academic Press, San Diego, 1992); Ola Bratteli, Palle Jorgensen: *Wavelets Through a Looking Glass* (Birkhauser, Boston, 2002).

### **Statisztikus fizika tárgycsoport**

#### **Dinamikai rendszerek (2/0/0/v/2)**

A tárgy a természettudomány különböző területein (fizika, kémia, biológia) használt determinisztikus modellek kvalitatív viselkedését tanulmányozza, és ezen belül a közönséges differenciálegyenlet-rendszerek valamint a leképezések segítségével leírható rendszerekkel foglalkozik az alábbi témakörök tárgyalásával: a Lotka-Volterra és a Brüsszelátor modell, konzervatív és határciklusos oszcillációk, disszipatív rendszerek attraktorai és bifurkációi, lokális és globális stabilitás, a logisztikus leképezés, Ljapunov exponens, káosz.

*Irodalom:* Noszticzius Zoltán, Volford András és Wittmann Mária: *Dinamikai rendszerek* (jegyzet és segédanyagok a tanszéki honlapon 1997-2007), J.M.T. Thompson and H.B.Stewart: *Nonlinear Dynamics and Chaos* (Wiley 1986), P.Gray and S.K.Scott: *Chemical Oscillations and Instabilities* Clarendon (Oxford, 1994).

#### **Evolúciós játékelmélet (2/0/0/v/3)**



A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető statisztikus fizika ismeretekre építve ad egy általános bevezetést a sokszereplős evolúciós játékelméletbe. Az előadássorozat a következő témakörök tárgyalására épül: Klasszikus játékelméleti fogalmak (stratégia, nyerevény, mátrix játék, Nash-egyensúly, stb.); Populációs játékelmélet; Evolúciós játékok rácsokon és gráfokon, Dinamikus párközelítés kiterjesztése. Érdekes jelenségek sokaságát elemezzük az evolúciós Fogolydilemma és Kő-Papír-Olló játékok példáján különböző kapcsolatrendszerek feltételezése mellett.

*Irodalom:* Karl Sigmund: Az élet játéka (Akadémiai Kiadó, Budapest, 2003); J. Hofbauer and K. Sigmund: Evolutionary Games and Population Dynamics (Cambridge University Press, 1998); G. Szabó and G. Fáth: Evolutionary games on graphs, cond-mat/0607344.

### **Fázisátalakulások (2/0/0/v/3)**

A termodinamikai állapot stabilitása: fázisok egyensúlya és átalakulása, szimmetriasértés, osztályozás. A kondenzált anyag fázisátalakulásainak áttekintése. Kritikus exponensek. A fázisátalakulások modelljei. Egzakt eredmények. Hosszútávú korrelációk izotrop rendszerek szimmetriasértő fázisában. Klasszikus elméletek és kritikájuk: Landau-elmélet, átlagtér közelítés. Magashőmérsékleti sorok. A sztatikus skálahipotézis és következményei. A renormálási csoport transzformáció és kapcsolata a kritikus viselkedéssel: fixpont, skálázás, univerzalitás. A transzformáció konstrukciója valós térben és hullámszám térben. Az eredmények áttekintése. Dinamikai kritikus jelenségek: a konvencionális elmélet, a dinamikai skálahipotézis, példák.

*Irodalom:* P.M. Chaikin, T.C. Lubensky: Principles of condensed matter physics, Cambridge University Press, 1995, J. Cardy: Scaling and Renormalization in Statistical Physics, Cambridge University Press, 1996.

### **Komplex hálózatok (2/0/0/v/3)**

The aim of the course is to give an introduction to the rapidly developing interdisciplinary field of complex networks. Complex systems and their scaffold. Percolation theory. Erdős-Rényi and small world graphs. Scale free networks. The configuration model. Networks growth models. Local and hierarchical structures. Communities. Spreading. Temporal networks. Social networks. Economic networks. Ecological networks. Project presentation

### **Nemegyensúlyi statisztikus fizika (2/0/0/v/3)**

A lineáris válasz elmélete: korrelációs és válaszfüggvények. Analitikus tulajdonságok, elemi gerjesztések. Klasszikus határeset. Disszipáció. Fluktuáció-disszipáció tétel. A mikroszkopikus időtükrözési szimmetria következményei. Transzport folyamatok: elektromos vezetés. A neutronsórás hatáskeresztmetszete. Sztochasztikus folyamatok jellemzése, Markov-folyamatok. Diffúziós folyamatok: Fokker-Planck-egyenlet, sztochasztikus differenciálegyenletek. Fizikai alkalmazások: Brown-mozgás, hidrodinamikai fluktuációk, Onsager-relációk. Ugró folyamatok: Master-egyenlet. A stacionárius eloszlás stabilitása, H-tétel. A Monte Carlo módszer alapozása. Fizikai alkalmazások. A Boltzmann-egyenlet származtatása. Relaxációs idő közelítés. Fizikai alkalmazások.

*Irodalom:* Geszti Tamás: Nem-egyensúlyi statisztikus mechanika, Fizikai kézikönyv műszakiaknak, I. kötet, 5.6 fejezet, Műszaki Könyvkiadó, 1980, W. Brenig: Statistical theory of heat – Nonequilibrium phenomena, Springer Verlag, 1989.

### **Skálázás és kritikus jelenségek (2/0/0/v/3)**

A kritikus jelenségek és a renormálási csoport alapjainak ismerete szinte elengedhetetlen egy aktív kondenzáltanyag-fizikus számára. A 'Skálázás és kritikus jelenségek' című tárgy a hallgatók Fizika alapképzésben elsajátított statisztikus fizikai ill. kvantummechanikai ismereteire építve a renormálási csoport és skálainvariancia fogalmainak bevezetését és egyszerű alkalmazásainak megismerését célozza, a szokásos igen komplikált térelméleti formalizmust mellőzve. A félév anyaga a következő témakörök köré épül fel: kritikus jelenségek, egyszerű rendszerek,

univerzalitás, átlagtérelmélet, a renormálási csoport (Az egy dimenziós Ising modell, a renormálási csoport transzformáció, fixpontok, kritikus dimenziók, korrelációs függvények skálázása), fázis diagrammok és skálázás ('cross-overek', véges méret skálázás, kvantum kritikus pont, dimenzionális cross-over), a perturbatív skálázás (Fixpont Hamilton függvény, operátor szorzat kifejtés,  $\epsilon$  sorfejtés, anizotropia), alacsony dimenziós rendszerek (Az alsó kritikus dimenzió, az XY modell, Kosterlitz-Thouless fázisátalakulás, az  $O(n)$  modell  $2+\epsilon$  dimenzióban).

*Irodalom:* John Cardy, *Scaling and Renormalization in Statistical Physics*, (Cambridge University Press, 1997), N. Goldenfeld, *Lectures on phase transitions and the renormalization group*, (Addison-Wesley, 1992).

### **Számítógépes szimulációk laboratórium (0/0/2/f/2)**

– Bevezetés: Ismerkedés a fordítóval és a fejlesztői környezettel: Eclipse. Fordítás, error, warning, futásidejű hibák. C-isméltés: függvények, dinamikus memóriakezelés, hibakezelés. – C-isméltés: Makrók, paraméteres makrók. Több forrásfájlból álló program. Parancssori paraméterek. – Véletlen számok: GSL véletlenszám-generátora, inicializálás. Adott eloszlás szerinti véletlen számok generálása. Empirikus eloszlásfüggvény. – Ising-modell I.: 2D Ising-modell Metropolis algoritmussal: mágnesezettség és szuszceptibilitás a hőmérséklet függvényében. Glauber dinamika. II.: Kawasaki dinamika, rendezett és rendezetlen fázisok rögzített összmágnesezettség esetén. Fajhő a hőmérséklet függvényében. – Rugós kristálymodell. I.: 2D rugós kristálymodell molekuladinamikai szimulációja leap frog algoritmussal. Egy kiszemelt rácspont pályája a fázistérben. II.: Verlet algoritmus. Fonondiszperzió meghatározása FFT segítségével. Kétatomos elemi cella. Véletlen ötvözet. A rács vizualizációja Paraview szoftverrel. – Hasznos adatfájl-formátumok: VTK, XML, XDMF. 9. Szoros kötésű közelítés: Példa: grafén és szén nanocső. – Bevezetés a felületi Green-függvények módszerébe: A szórásprobléma Green-függvénye. Felületi Green-függvények. Példák: potenciállépcső, Breit-Wigner-rezonancia. – Hálózatok I: Hálózat reprezentációi. Barabási-Albert hálózat. Fokszámeloszlás. II: Módosított Barabási-Albert hálózat. Bevezetés az STL tárolók használatába. (C++) – Eredmények grafikus megjelenítése, Gnuplot lehetőségei. Példa: Mollweide-vetítés. Hálózat elemzése és vizualizációja Cytoscape szoftverrel.

*Irodalom:* M.E.J. Newman, G.T. Barkema, *Monte Carlo Methods in Statistical Physics* (Oxford Univ. Press, New York, 1999), Jegyzet: [www.phy.bme.hu/~kertes/teach2.html](http://www.phy.bme.hu/~kertes/teach2.html)

### **Transzportfolyamatok (2/0/0/v/2)**

A fizikai és kémiai folyamatok során különféle mennyiségek transzportja valósul meg, és ezen folyamatok megértése gyakorlati szempontból fontos. A következő témakörök kerülnek tárgyalásra: mérlegegyenletek, állapotegyenletek, konstitutív egyenletek, megmaradási törvények, tömeg és komponensmérlegek, belsőenergia-mérleg, Fourier-törvény, a hővezetés differenciálegyenlete és analitikus megoldásai, Green-függvény, diffúzió, membránok, termodiffúzió, többkomponensű diffúzió, kémiai reakciók.

*Irodalom:* H. S. Carslaw, J. C. Jaeger, *Conduction of heat in solids* (Clarendon, Oxford, 1959); A. N. Tyihonov, A. A. Szamarszkij, *A matematikai fizika differenciálegyenletei* (Akadémiai Kiadó, 1956); M. Mulder, *Basic principles of membrane technology* (Kluwer Academic, 1992); J. Crank, *The mathematics of diffusion* (Clarendon, Oxford, 1975), Farkas Henrik: *Transzportfolyamatok* (jegyzet) [www.fke.bme.hu/Staff/Henrik/public\\_html/transzport.html](http://www.fke.bme.hu/Staff/Henrik/public_html/transzport.html).

### **Véges hőmérsékletű és nem egyensúlyi térelméletek (2/0/0/v/3)**

Pályaintegrál kezdeti feltételekkel, valós és képzetes idejű formalizmus; perturbációs számítás, propagátorok, kauzalitás és analiticitás, vágási szabályok; termodinamika, szabadenergia, fázisátalakulások; lineáris válasz elmélet, állapotok bomlása, Kubo-formula; Wigner transzformáció, Boltzmann egyenletek; klasszikus térelmélet limesz; renormálási csoport valós idejű formalizmusban, Feynman-Vernon konstrukció, zaj, fluktuáció-disszipáció tétel, Tsallis eloszlás; perturbációs számítás, ellentagok, renormálás, IR divergenciák, felösszegzés, 2PI formalizmus,

Schwinger-Dyson egyenletek;  $O(N)$  és chirális  $O(N)$  model véges hőmérsékleten, fázisdiagram; mértékelméletek véges hőmérsékleten, HTL hatás, Vlasov egyenletek, Wong egyenlet, QCD fázisdiagrammja.

*Irodalom:* M. Le Bellac: *Thermal Field Theory* (Cambridge University Press); J. I. Kapusta and C. Gale: *Finite-temperature Field Theory. Principles and Applications* (Cambridge University Press); N.P.Landsmann, Ch.G. van Weert: *Real- and imaginary-time field theory at finite temperature and density*. PR. 145 (1987).

## **Kvantumrendszerek fizikája tárgycsoport**

### **Bevezetés az elméleti plazmafizikába (2/0/0/v/3)**

Statisztikus fizikai alapok, az eloszlásfüggvény. Az ütközési operátor: Boltzmann és Landau operátor. Boltzmann-egyenlet, Vlaszov-egyenlet. Coulomb-ütközések, Debye-árnyékolás, plazmaparaméter. A kinetikus egyenlet momentumai, a lezárás problematikája. Ideális folyadékok: az Euler-egyenlet, lamináris és potenciáláramlás. Viszkózus folyadékok: a Navier-Stokes egyenlet. Hullámok közönséges folyadékokban és ideális magnetofolyadékokban. Magnetohidrodinamikai rendszerek egyensúlya és stabilitása. Magnetohidrodinamikai rendszerek instabilitásai: MHD instabilitások és Landau-csillapodás.

*Irodalom:* Veres Gábor: *Magashőmérsékletű plazmafizika alapjai* (jegyzet)

### **Egydimenziós rendszerek fizikája (2/0/0/v/3)**

A kurzus az egydimenziós kölcsönható elektron és spin rendszerek fizikájába vezeti be a hallgatókat. Ezek a rendszerek, amelyekben olyan alapvető jelenségek, mint pl. a spin- és töltéssűrűség hullámok, antiferromágneses korrelációk, egzotikus szupravezető állapotok stb. fordulnak elő, kiváló gyakorlóterepet biztosítanak a szilárdtest fizikusoknak, mivel egy dimenzióban rendkívül hatékony kvantum térelméleti módszerek állnak rendelkezésre. Ugyanakkor ilyen egydimenziós rendszerek gyakran megfigyelhetők a valóságban is például szén nanocsövekben, kvázi-egydimenziós rendszerekben, él-állapotok formájában. A kurzus feltételezi a Green függvény technika alapvető ismeretét (Soktestprobléma I), és a következő témakörök köré szerveződik: a természetbeli egy dimenziós rendszerek és a Hubbard modell (instabilitások, spin- és töltéssűrűség hullámok, leképezés a Heisenberg modellre), spinláncok alapvető tulajdonságai (a Haldane sejtés, spin koherens állapotok, spin folyadékok, a Bethe Ansatz alapjai), a folytonos leírás (renormálási csoport és a Tomonaga-Luttinger modell), bozonizáció (spin-töltés szeparáció, a Luttinger folyadék fázis, spin rendszerek bozonizációja), a rendezetlenség szerepe.

*Irodalom / Literature:* G. D. Mahan: *Many-Particle Physics*, (Plenum Press, New York and London, 1981), John Cardy, *Scaling and Renormalization in Statistical Physics*, (Cambridge University Press, 1997), Jan von Delft, Herbert Schoeller, *Bosonization for Beginners - Refermionization for Experts*, *Annalen Phys.* **7**, 225-305 (1998), A. Auerbach, *Interacting Electrons and Quantum Magnetism*, (Springer-Verlag, N.Y.).

### **Haladó kvantummechanika (2/0/0/v/3)**

A kvantummechanika Dirac-féle formalizmusa, kanonikus kvantálás, az impulzus operátor és mátrixelemei, a koherens állapot és jellemzői, az időfejlesztő operátor, a Schrödinger-, a Heisenberg- és a kölcsönhatási-kép, az élettartam, az időfüggő perturbációszámítás, ionizáció röntgenabszorpcióval, mértékinvariancia a kvantummechanikában, a mértékinvariáns átmeneti valószínűség számítása, a spin, a sűrűségoperátor és a kvantum statisztikus fizika alapjai, a szemiklasszikus sugárzási visszahatás és a relativisztikus kvantummechanika elemei.

*Irodalom:* L. D. Landau és E. M. Lifsic: *Elméleti fizika III.*, Nemrelativisztikus kvantummechanika (Tankönyvkiadó, Budapest, 1978), J. J. Sakurai. *Modern Quantum Mechanics* (Addison-Wesley, New York, 1994) revised ed., C. Cohen-Tannoudji, B Diu, F. Laloe, *Quantum Mechanics*, Vols. 1,2. (John Wiley, New York, 1977).

### **Kvantumszámítógép fizika 1 (3/0/0/v/3)**

Kvantummechanika axiómái. Kétállapotú kvantumrendszerek. Kvantumbit, kvantumregiszter, kvantumkapu. Összefonódott és szuperponált állapotok. 1- és 2-qubites kapuk. Bell-állapotok. Kvantum teleportáció. Box potenciál számítógép, harmonikus oszcillátor számítógép. Optikai foton számítógép. Foton-atom számítógép. Jaynes-Cummings hamiltoni. Kétrészecskés összefonódottság tiszta állapotokra. (Megkülönböztethető részek.) Redukált sűrűségmátrixok, Schmidt dekompozíció, von Neumann entrópia, konkurrencia. Kétrészecskés összefonódottság kevert állapotokra. Peres-Horodecki kritérium. Negativitás. Wootters formula. Illusztratív példák: Werner állapotok, Gisin állapotok. Pozitív operátorértékű mértékek, általánosított mérés, Kraus reprezentáció, alkalmazások. Dekoherencia és a fázisvesztés: dupla-rés, Stern-Gerlach kísérletek, Schrödinger macskája. Operációk operátor összeg, Kraus- és Bloch gömb reprezentációban: depolarizációs, fázisvesztő illetve amplitúdó csillapító csatorna. Mester egyenlet, Lindblad-egyenlet, megoldások. Kvantum-Brown mozgás, fázis tér reprezentáció (Wigner- és Husimi-függvények), durva felbontás és dekoherencia kapcsolata. Hűség (fidelity) és Loschmidt-echo.

*Irodalom:* Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang: Quantum computation and quantum information (Cambridge University Press, 2000), Dirk Bouwmeester, Artur K. Ekert and Anton Zeilinger: The Physics of quantum information (Springer, Berlin, 2000), Imre Sándor and Balázs Ferenc: Quantum computing and communications (Wiley, 2005).

### **Kvantumszámítógép fizika 2 (3/0/0/v/3)**

Kvantummechanika axiómái. Kétállapotú kvantumrendszer. Ramsey interferométer. Kvantum párhuzamosság. Deutsch-Józsa algoritmus. Ion-csapda számítógép. Hamilton operátor. CNOT kapu megvalósítása. Mag mágneses rezonancia számítógép. Hamilton operátor. CNOT kapu és Bell-állapotok megvalósítása. Majorizáció: Nielsen tétele. Több részecskés összefonódottság tiszta állapotokra, lokális összefonódottsági mértékek. Majorizáció és alkalmazásai: szeparabilitási probléma, összefonódottság katalízis, sűrűségoperátor sokaságok. Rejtett alcsoport probléma. Geometriai, és topológikus kvantumszámítás, összefonódottság geometriája. Fermionikus összefonódottság. Reziduális entrópia és geometriai jelentése, alkalmazások. Összefonódott láncok, és a tight binding modell. Összefonódottság és fázisátalakulások. Állapotpreparáció és a kiegyensúlyozott bázisok. Szilárdtestfizikai implementációk. Kvantum dotok. Spintronika. Si-alapú qubit (Kane-féle) modell. A szupravezetés alkalmazása: Josephson-átmenet és Cooper-pár doboz. Semleges atomok optikai rácsban. Kritikus jelenségek és összefonódottság. Belső dekoherencia qubit rendszerekben, a szennyezések hatása kvantum számítógépek működésére.

*Irodalom:* Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang: Quantum computation and quantum information (Cambridge University Press, 2000), Dirk Bouwmeester, Artur K. Ekert and Anton Zeilinger: The Physics of quantum information (Springer, Berlin, 2000), Imre Sándor and Balázs Ferenc: Quantum computing and communications (Wiley, 2005).

### **Magnetohidrodinamika alacsony dimenziós rendszerekben (2/0/0/v/3)**

A tárgy célja megismertetni a hallgatókat az elektromosan vezető folyadékok, plazmák makroszkopikus viselkedését leíró elmélettel. Az elmélet felépítése után az 1 és 2 dimenziós rendszerek tanulmányozása bemutatja majd az elmélet hatékonyságát és az ezekben a rendszerekben lezajló rendkívül komplex folyamatokat. Alapok: Az ideális MHD egyenletek rendszere, az elmélet érvényességi határai; Az egyenletek konzervatív alakja, megmaradási mennyiségek az ideális MHD-ban; Az MHD erőoperátor és tulajdonságai, spektrál analízis; Az energia egyenlet; Peremfeltételek az MHD-ban. 1-D konfigurációk: Hosszú, egyenes plazmafonal. Hullámok terjedése: drift hullámok, Alfvén-módusok; Theta-pinch, Z-pinch, csavar-pinch; Egyensúly és stabilitás; Suydam-kritérium; Kruskal-Safranov-kritérium. 2-D konfigurációk: Axiálszimmetrikus toroidális rendszerek. Fluxus-koordináták; Hullámok terjedése: TAE-módusok; Grad-Safranov egyenlet; Egyensúly és stabilitás; Mercier-kritérium.

### **Molekulafizika 2 (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon oktatótt kvantummechanika és molekulafizika ismeretekre építkezve a kvantumkémiai alkalmazott többtestprobléma módszerek alapjaiba kíván betekintést nyújtani. A képzés során kiemelt témakörök: másodkvantált formalizmus a molekulafizikában, időtől független többtestprobléma perturbáció számítás, a konfigurációs kölcsönhatás módszere, bevezetés a coupled cluster elméletbe.

*Irodalom:* Kapuy-Török: Az atomok és molekulák kvantumelmélete, Attila Szabó, Neil S. Ostlund: Modern Quantum chemistry, T. D. Crawford, H.F. Shaefer: An Introduction to Coupled Cluster Theory for Computational Chemists.

### **Pályaintegrál módszer a fizikában (2/0/0/v/3)**

A fizika egyik alapvető elméleti eszköze a Feynman által bevezetett pályaintegrál. Egyszerű sztochasztikus modellektől eljutunk a kvantummechanikai, statisztikus fizikai és térelméleti használatig. Témák: Egyszerű diffúziós modell, generátorfüggvény, Wiener mérték. Abszorptív diffúzió, Schwinger-Dyson egyenletek, harmonikus közelítés. Kanonikus állapotösszeg pályaintegrállal. Feynman-Hibbs pályaintegrál. Térelméleti pályaintegrál, S-mátrix, Feynman gráfok. Rács-térelmélet.

### **Soktestprobléma 1 (2/0/0/v/3)**

Ez a tárgy egy két féléves kurzusból álló előadássorozat első, függetlenül is hallgatható része, mely a részecskefizikában használatos, a kölcsönható rendszerek leírására szolgáló Green függvény módszer szilárdtest fizikai alkalmazásához szükséges eszköztárat építi fel, és alkalmazza néhány egyszerű esetben  $T = 0$  hőmérsékleten. A kurzus BSC szinten megszerzett kvantummechanikai is statisztikus fizikai ismereteket tételez fel, ugyanakkor lapozó jellegű, ismerete szükséges számos elméleti fizikai tárgy felvételéhez (pl. Egydimenziós rendszerek fizikája, Soktestprobléma 2, Lokalizációelmélet). A tárgy a következő témaköröket tárgyalja: a másodkvantált formalizmus, a Green függvények definíciói és kapcsolatuk mérhető mennyiségekkel, Heisenberg-, Schrödinger-, és kölcsönhatási kép, perturbációszámítás, diagrammtechnika (Wick tétel, Feynman gráfok), újrafelösszegzések (sajátenergia, vertex függvény, csontváz diagrammok), mozgásegyenletek.

*Irodalom:* G. D. Mahan: Many-Particle Physics: (Plenum Press, New York and London, 1981), A. A. Abrikosov, L. P. Gorkov, and I. Dzialoshinskii: Methods of Quantum Field Theory in Statistical Mechanics (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1963).

### **Soktestprobléma 2 (2/0/0/v/3)**

Ez a tárgy egy két féléves kurzusból álló előadássorozat második része, mely a véges hőmérsékletű Green függvény módszer szilárdtest fizikai kölcsönható rendszerekre való alkalmazását tárgyalja. Ez a technológia a modern szilárdtest fizika szerves részét képezi. A tárgy a következő témakörök köré épül fel: a Matsubara Green függvények (analitikus tulajdonságok, spektrál függvények stb.), az imaginárius időbeli perturbáció számítás, Matsubara technika, diagrammtechnika (Wick tétel, sajátenergia, vertex függvény, csontváz diagrammok), alkalmazások (kvantum transzport, polaronok, Peierls instabilitás, Hartree-Fock módszer, RPA).

*Irodalom:* G. D. Mahan: Many-Particle Physics, (Plenum Press, New York and London, 1981), A. A. Abrikosov, L. P. Gorkov, and I. Dzialoshinskii, Methods of Quantum Field Theory in Statistical Mechanics (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1963).

### **Szolonok és inverz problémák (2/0/0/v/3)**

Az inverz szóráselmélet alkalmazása nemlineáris evolúciós egyenletek megoldásában. Alakját és sebességét hosszú időn át megőrző stabil hullám (szolon) kialakulása, a KdV egyenlet. Szolonok fizikai alkalmazása: sine-Gordon egyenlet, nemlineáris Schrödinger egyenlet. Optikai szolonok. BEC szolonok.

*Irodalom:* Apagyí-Lévay: Válogatott fejezetek a kvantummechanikából (Műegyetemi Kiadó, 2000).

### **Variációs elvek a fizikában (2/0/0/v/3)**

Elméleti fizika tárgy, fő célja a hagyományos tantárgyak, mechanika, relativitáselmélet, elektrodinamika és kvantummechanika, alapjait megfogalmazó variációs elvek áttekintése. Célja egyrészt egy széles körben használható matematikai-módszertani alapozás, másrészt a fizika egységét kifejező gondolkodásmód eleven demonstrációja. Témák: A virtuális munka elve (statika), D'Alambert, Gauss, Lagrange és Hamilton mechanikai hatáselv (dinamika), Maupertuis-elv, geodetikus mozgás, Einstein-Hilbert hatás (relativitáselmélet), elektromos és mágneses térenergia, a Gauss és Biot-Savart törvény mint feltétel, elektromos - mágneses dualitás, hullámok és mértékszimmétria (elektrodinamika), a Schrödinger egyenlet mint minimális szakítás a Hamilton-Jakobi egyenlettel (kvantummechanika).

### **Véletlen mátrix elmélet és fizikai alkalmazásai (2/0/0/v/3)**

A véletlen mátrix elmélet betekintést enged abba, hogyan lehet nagyon komplex viselkedésű rendszerekről viszonylag egyszerűen nyerhető ismereteket kapni a rendszerrel kapcsolatos mennyiségek statisztikai analízise segítségével. A tantárgy először a BSc szakon oktatott kvantummechanika illetve statisztikus fizika valamint a valószínűség elmélet segítségével felépíti a véletlen mátrix elméletet. Meghatározza a Dyson sokaságok tulajdonágait, a szintkülönbség eloszlást, a párkorrelációs függvényt és más származtatható mennyiségeket. Meghatározzuk a szintek termodinamikai modelljét, a sokaságok közötti átmenetet leíró szintdinamikát. A fizikai alkalmazások közül először az univerzalitási tulajdonságokat a klasszikusan integrálható illetve kaotikus rendszerek kvantum mechanikai modelljein mutatjuk be. Kitérünk a dekoherencia tárgyalására. Megvizsgáljuk kvázi egydimenziós mezoszkopikus rendszerekben az univerzális vezetési ingadozásokat. Tanulmányozzuk kritikus rendszerek modelljét. Véletlen kölcsönhatás modellek segítségével vizsgáljuk kvantum dotokban levő elektronok viselkedését. Véletlen mátrix modelleket használunk továbbá királis illetve hibrid (fém-szupravezető) rendszerek egyes jellemzőinek vizsgálatára. A fennmaradó időben kitekintésként olyan problémákat vizsgálunk, ami túlmutat a szigorúan vett fizikai alkalmazásokon: agyi EEG hullámok analízise, tőzsdei ár-ingadozások korrelációinak analízise, tömegközlekedési problémák vizsgálata, stb.

*Irodalom:* M.L. Mehta: Random matrices (Elsevier, 2004); válogatott review cikkek: Th. Guhr, A. Müller-Groeling, H.A. Weidenmüller, Phys. Rep. 299 (1998) 198; C.W.J. Beenakker, Rev. Mod. Phys. 69 (1997) 731; Y. Alhassid, Rev. Mod. Phys. 72 (2000) 895; G. Montambaux, in *Les Houches, LXIII 1995 Quantum Fluctuations*, etc.

## **ALKALMAZOTT FIZIKA SZAKIRÁNY KÖTELEZŐEN VÁLASZTHATÓ TÁRGYAI**

### **Nem Fizika BSc-ről érkező hallgatóknak**

#### **Bevezetés az optikába (2/1/0/v/3)**

A tantárgy a BSc szakon optikát nem végzett MSc hallgatók számára bevezető, a BSc elektrodinamikára épít. Fő témakörei: fénymodellek, transzmisszió, reflexió, geometriai/paraxiális optika, interferencia, vékonyrétegek, diffrakció, optikai rács, polarizáció, terjedés anizotróp közegben, hullámvezetők, fény és anyag kölcsönhatása, abszorpció, emisszió, lézerműködés, koherencia, elektro- és akusztó-optika.

*Irodalom:* Richter Péter: Bevezetés a modern optikába I., Műegyetemi Kiadó, 2000.

#### **Fizikai problémák megoldása (2/2/0/f/4)**

A tárgy a klasszikus és modern fizika nagy részét felöleli és a hangsúlyt a fizika gyakorlati alkalmazására helyezi, az ismereteket mind az előadáson, mind a gyakorlatokon konkrét fizikai feladatok megoldása alapján sajátíttatja el. Az előadáson a feladatok megoldása során felelevenítjük és elmélyítjük az addig tanult fizikai ismereteket, a gyakorlatokon ezekre az ismeretekre alapozva egyszerűbb feladatok megoldásával foglalkozunk. A tematika a Feynman *Mai Fizika*

c. könyvsorozat filozófiája alapján halad. Nem szabdalja szét a fizikát függetlennek látszó rész-tudományokra, hanem egységes fizika gondolkodásmód kialakítására törekszik. Az egyes fel-  
adatokban több részterület együttesen jelenik meg. A tematika heti bontásban: 1. Tömegpont.  
Kinematika. Dinamika. Inerciarendszerek. Munka. Merev testek. Egyensúly. 2. Atomok mozgá-  
sa. Megmaradási tételek. Newton törvények. Gravitáció. Energiamegmaradás. 3. Forgó mozgá-  
sok. Tehetetlenségi nyomaték. Rezgések. Lineáris rendszerek. 4. Gázok és szilárdtestek. Nyom-  
más. Szórás. Diffúzió. Statisztikus fizika. 5. Geometria és fizikai optika. Interferencia és diff-  
rakció. Törésmutató. Fényszóródás. 6. Erőterek. Gauss tétel. Töltött részecskék nem relativisztikus  
mozgása. Elektrosztatikus energia. Dielektrikumok. Szigetelők. 7. Mágnesség. Mikroфизи-  
kája. Biot–Savart törvény. Vektorpotenciál. Indukció. Váltoáramú körök. 8. Hullámegyenlet.  
Sajátrezgések, Fourier analízis. Elektrodinamika. Elektromágneses hullámok. A speciális relati-  
vitás elmélete. Négyesvektorok. Energia-Impulzus 4-vektor. 9. Maxwell-egyenletek. Megoldá-  
suk. Térerősségek Lorentz-transzformációja. Mozgó töltés tere. 10. Relativisztikus elektrodi-  
namika. Doppler – effektus. Téreneergia. 10. Retardált és avanszált potenciálok. Compton-  
effektus. 11-12. Kvantum-mechanika alapjai. 13-14. Szilárdtestfizika. Rácsrezgések. Fononok.  
Félvezetők. P-N átmenet.

*Irodalom:* R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands: Mai Fizika, Műszaki Könyviadó, 1988  
(R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands: The Feynman Lectures on Physics, Addison-Wesley  
Publishing Company, Inc., Massachusetts, USA), A.P. Lavenjok: Mai Fizika 10 - Feladatmeg-  
oldások, Műszaki Könyvkiadó, 1988. H.D. Young, R.A. Freedman: Sears and Zemansky Uni-  
versity Physics, Addison Wesley, USA, Vol 1-3, 2000.

### **Lézertechnika (2/0/0/f/2)**

Fény és anyag kölcsönhatása, spontán emisszió, abszorpció, indukált emisszió. Koherens opti-  
kai erősítő. Gerjesztési módok a gyakorlatban. Az erősítés telítődése. Inhomogén és homogén  
erősítésű közegek eltérő tulajdonságai. Folyamatos és impulzusban való lézerműködés, erősítési  
és fázisfeltétel. Visszacsatoló rendszer: optikai rezonátor jellemzői, módusok meghatározása.  
Erősítés és Q-kapcsolás, móduscsatolás. Lézerfény tulajdonságai: sáv szélesség, koherencia, irá-  
nyítottság, fényesség. Lézertípusok: szilárdtest, félvezető, gáz, folyadék és egyéb lézerek. Lé-  
zeralkalmazások: ipari, orvosi, híradástechnikai, mérés technikai.

*Irodalom:* Bevezetés a modern optikába III. (jegyzetszám: 050393); Svelto: Principles of lasers.

### **Vákuumfizika és -technika (2/0/0/v/3)**

Számos mérési technika valamint termelési technológia vákuum környezetet igényel. A beren-  
dezések üzemeltetéséhez szükséges a vákuum fizikájának, valamint vákuum létesítésének, fenn-  
tartásának és mérésének, azaz a vákuumtechnikának az ismerete. A tárgy keretében ismertetésre  
kerülnek a gázfázis törvényei, a vákuum fogalma, transzportjelenségek vákuumban, gáznemű és  
kondenzált anyagok kölcsönhatása, szivattyúk, vákuummérés, lyukkeresés, vákuumtechnikai  
anyagok.

*Irodalom:* Roth, Vacuum technology, Elsevier 1982, Carpenter, Vacuum technology, Hilger  
Bristol, 1983, Kenczler Ödön, Vákuumtechnika Tankönyvkiadó 1975, J 5-1175.

## **Optika tárgycsoport**

### **Fényforrások (2/0/0/v/3)**

A fizikus mesterszakon (MSc) előadásra kerülő tárgy célja, hogy megismertesse a különböző  
szakirányok hallgatóit a fényforrások különböző típusaival, azok működési elvével, sajátossága-  
ival és alkalmazási területeivel. A félév során áttekinthetjük az ismert fotometriai és világítástechni-  
kai mennyiségeket és azok mérési módszereit, valamint a fénykeltő eszközök fejlődését az iz-  
zólámpától a kisülő lámpákon keresztül egészen a LED-ekig. A tárgy célja az alapvető fizikai  
folyamatok bemutatása mellett az is, hogy megismertesse a hallgatókat az egyes lámpatípusok  
előnyeivel, hátrányaival és lehetséges alkalmazási területeivel.

*Irodalom:* Debreczeni G., Kardos F., Sinka J.: Fényforrások, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985, Elenbaas, W.: Light sources, Macmillan, 1972, Cayless, M.A., Marsden, A. M.: Lamps and Lighting, Arnold, 1997.

### **Fizikai optika (4/0/0/v/5)**

A kurzus célja a fényterjedés különböző modelljeinek bevezetése és azok használatának elsajátítása az alapvető optika jelenségek leírására. A tárgy a klasszikus elektromágneses hullámmélelet alapján bemutatja a homogén izotróp és anizotróp közegben történő terjedést, az optikai vékonyrétegeket, a dielektrikum hullámvezetőket, az inhomogén közegben való terjedést, a geometriai optikai közelítést és a Fresnel-Kirchhoff féle diffrakcióelméletet. A megszerzett tudást olyan érdekes és aktuális problémák megoklásán gyakoroljuk mint pl. a szoliton terjedés, a *lasú fény*, vagy a fotonikai kristályok tulajdonságai.

*Irodalom:* Richter Péter: Bevezetés a Modern Optikába, I. kötet (Műegyetemi Kiadó), Solymár László: Elektromágneses térelmélet és alkalmazásai (Műszaki Könyvkiadó), Born–Wolf: Principles of Optics (Pergamon Press), Saleh–Teich: Fundamentals of Photonics (John Wiley & Sons).

### **Holográfia és alkalmazások (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a holográfia elméletét, különböző megjelenítési és mérés technikai technikáit és azok alkalmazási példáit mutatja be. Főbb témakörei: holografikus képalkotás, hologramtípusok, gyakorlati holográfia, látványholografiai és biztonságtechnikai alkalmazások, holografikus optikai elemek és memóriák, mérés technikai alkalmazások (deformáció-, rezgés- és alakmérés; átlátszó tárgyak törésmutató-változásának mérése), digitális holográfia. A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető általános optikai ismeretekre épít.

*Irodalom:* P. Harihartan: Optical Holography (Cambridge University Press, 1996), H. M. Smith: Holographic recording materials (Springer Verlag 1977), P. K. Rastogi: Holographic interferometry (Ed.) (Springer-Verlag 1994), T. Kreis: Holographic interferometry (Akademie Verlag 1996), U. Schnars: Digital Holography (Springer Verlag 2004).

### **Kvantumelektronika (3/0/0/v/4)**

A tárgy a kvantummechanika és a klasszikus elektrodinamika tárgyak ismeretére épít. Témakörök: Atomos gáz szuszceptibilitása (félklasszikus tárgyalás), sugárzási tér kvantálása, vákuum-ingadozás Lamb-féle eltolódás, fotoeffektus H-atomon, Thomson szórás kölcsönhatási kép, időfejlesztő operátor, Raman szórás, frekvencia kétszerezés, parametrikus erősítés, fáziskonjugáció szabadelektron lézer.

*Irodalom:* A.Yariv: Quantumelectronics, Landau-Lifsic: Elméleti fizika, Nem relativisztikus kvantummechanika, Elektrodinamika, Marx Gy.: Kvantummechanika.

### **Lézerfizika (2/0/0/v/3)**

Félklasszikus (kvantált anyag és klasszikus elektromágneses tér) és kvantum (kvantált anyag és tér) lézermélelet tárgyalása. Lézermódusok frekvenciája. Lézermódus sávszélessége. Egymódusú működés megvalósítási lehetőségei. Frekvenciastabilizálás módszerei. Másodharmonikus keltés. Nemlineáris polarizáció, alkalmas anyagok. Hatásfok növelés, fázisillesztés módszere. Parametrikus oszcilláció. Ultrarövid impulzusok. Kerr-lencsés módusszinkronizálás, impulzusösszenyomás, csörpölt tükrök. Szállézer, optikai szolitonok. Hangolható ultrarövid impulzusok. Impulzusformálás. TW-os ultrarövid és attosec impulzusok. Ultrarövid impulzusok mérése.

*Irodalom:* Bevezetés a modern optikába III. (050393 számú jegyzet). Svelto: Principles of lasers, Springer, 1998. W. Demtröder: Laser Spectroscopy, Vol 2: Experimental Techniques, Springer 2008. Saleh, Teich: Fundamentals of photonics, John Wiley & Sons, Inc. 1991. Nussenzweig: Introduction to quantum optics, Gordon and Breach 1973, Yariv: Quantum electronics, John Wiley & Sons, 1987.



### **Optikai adatátvitel fizikai alapjai (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a Fizika BSc szakon elsajátított optika ill. kvantummechanika alapkursus anyagára épít. Az optikai adatátvitel fizikai alapjait a következő témakörök szerint tárgyalja: optika (nyalábterjedés inhomogén közegben, diszperzió, stb.), lézerfizika (szál-lézerek, optikai szál-erősítők, DFB lézer, stb.), nemlineáris optika (nemlineáris effektusok, fázismoduláció, szolitonok, stb.), optikai szálak – hullámvezetők (optikai szálak, módusok, diszperzió, fotonikai kristályok, száloptikai csatolók, stb.).

*Irodalom:* Lajtha György - Szép Iván: Fénytvádközlő rendszerek és elemeik (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1987.), Cebe László: Fénytvádközlés (A Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola jegyzete) A. Yariv: Optical electronics (Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, 1991), A. Hasegawa: Optical Solitons in Fibres (Springer, 1989), J. D. Joannopoulos: Photonic crystals (Princeton Univ. Pr., 1995)

### **Optikai anyagok és technológiák 1 (2/0/0/v/3)**

Az elektromágneses fényelmélet és a szilárdtestfizika eredményeire alapozva megismertetjük a hallgatóságot a fény és anyag közötti kölcsönhatás gyakorlati hasznosításával. Tárgyaljuk az egyszerű optikai tömbi elemek (lencsék, prizmák, stb.) előállítására, a különböző hullámhossztartományokban (ultraibolya, látható, infravörös) alkalmazható izotróp alapanyagokat (üvegek, műanyagok, stb.) és azok legfontosabb tulajdonságait. Ismertetjük előállítási technológiáikat, így a legfontosabb felületkialakító eljárásokat (csiszolás, polírozás, tisztítás stb.) és azok eszköz rendszerét végül megadjuk az egyes elemek gyártásához szükséges technológiai lépéssorokat. Összefoglaljuk a legfontosabb minősítési módszereket. Konkrét esettanulmányokat mutatunk be és üzemet látogatunk azzal a céllal, hogy hallgatóink az alapos elvi ismeretek mellett gyakorlati tapasztalatot is szerezzenek az elterjedtebb tömbi optikai eszközök kivitelezéséről és gyártásáról.

*Irodalom:* Kocsányi László-Várkonyi Sándor: Optikai anyagok és technológiák. A Bevezetés a modern optikába II c. jegyzet (Műegyetemi Kiadó, 1988, szerk. Richter Péter) 5. fejezete. Horne: Optical production technology, 2nd edition, ISBN:0-85274-350-5.

### **Optikai anyagok és technológiák 2 (2/0/0/v/3)**

E tárgy keretében az elektromágneses fényelmélet és a szilárdtestfizika eredményeire alapozva megismertetjük hallgatóinkat a fény és anyag közötti speciális kölcsönhatások (anizotrópia, kristályoptika nemlineáris optika, vékonyrétegek, hullámvezetés, stb.) gyakorlati hasznosításával. Tárgyaljuk az ezeken az effektusokon alapuló optikai elemek előállítására alkalmazható anyagokat, kristályokat és azok legfontosabb tulajdonságait. Ismertetjük az optikai kristályok előállításának, megmunkálásának és minősítésének alapvető eljárásait, így pl. a növesztést, az orientálást és a vágást. Összefoglaljuk a csiszolási és polírozási technológiák eltérését az üvegnél alkalmazottakhoz képest. Diákjaink elsajátítják a vékony réteg optikák (tükrözés gátló rétegszerkezetek, interferencia-szűrők, stb.) tervezésének, gyártásának és minősítésének alapjait. Hallgatóink betekintést nyernek a felületi struktúrák és a hullámvezetők létrehozásának (litográfia, diffúzió, ioncsere, protoncsere, ionimplantáció, maratások, stb.) témakörébe, miáltal eljutnak a legkorszerűbb optikai eszközök, köztük az integrált optikai áramkörök (OIC) működéséhez, gyártástechnológiai problémáinak megértéséhez.

*Irodalom:* Kocsányi László-Várkonyi Sándor: Optikai anyagok és technológiák. A Bevezetés a modern optikába II c. jegyzet (Műegyetemi Kiadó, 1988, szerk. Richter Péter) 5. fejezete. Bond: Crystall Technology, J. Wiley, 1976, ISBN:0-471-08765-3. HK. Pulker: Coatings on glass, Elsevier, 1984, ISBN0-444-42360-5.

### **Optikai jelfeldolgozás és adattárolás (2/2/0/v/5)**

A tantárgy a BSc Fizika I.-II. és az Optika tárgy keretében megszerezhető ismeretekre építve a betekintést nyújt a klasszikus és a modern optikai kép és adatfeldolgozási technikák és rendszerek világába. Bemutatja a koherens és nemkoherens optikai képfeldolgozás, kiértékelés és ösz-

szehasonlítás lehetőségeit, valamint a feladatra kidolgozott számos rendszer elvét, előnyeit, hátrányait és paramétereit. A klasszikus jelfeldolgozás továbbfejlődésének eredményeként részletesen bemutatja az optikai adattárolás, optikai számítógépek, és optikai radar-rendszerek elvét, a működő rendszereket és az ezekhez felhasznált általános célú eszközöket: akusztó-optikai, magneto-optikai és elektrooptikai eszközöket, valamint a különböző térbeli fénymodulátorokat és optikai kapcsolókat. A tárgy része a modern ultrarövid impulzusú lézerek technológiájának és szerteágazó felhasználhatóságának bemutatása is.

*Irodalom:* S. H. Lee, et al. Optical Information Processing, S. H. Lee, editor, Springer-Verlag, New York, 1981, J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, J, (2. nd. Edition), McGraw-Hill, 1996, N. J. Berg, editor, Acousto-Optic Signal Processing, Marcel Dekker Inc., New York, 1983, Saleh, Bahaa E. A. / Teich, Malvin Carl Fundamentals of Photonics Wiley Series in Pure and Applied Optics. 2. Edition – 2007, International Trends in Applied Optics Editor(s): Arthur H. Guenther ISBN: 9780819445100 2002.

### **Optikai mérés technika (2/0/0/v/3)**

A tantárgy célja áttekintést adni az optikai mérés technika módszereiről és ismertetni a legújabb eljárásokat és eredményeket. Témakörök: Optikai mérőrendszerek elemei. Fényforrások, detektorok, rögzítőanyagok. Optikai elemek sajátosságainak mérés technikája. Szög-, hosszúság-, párhuzamosság mérése klasszikus optikai és koherens optikai módszerekkel. Heterodin és fázistolásos interferometria. Holografikus és szemcsekép interferometria. Digitális holográfia. Optikai adatfeldolgozási módszerek a szemcsekép mérés technikában. Fotoelaszticitás. Fényvezetőszál érzékelők. Színmérés, színes detektáláson alapuló mérés technika.

*Irodalom:* K. J. Gastvik: Optical Metrology, John Wiley&Sons, New York 1995, R.J. Keyes: Optical and infrared detectors, Springer Verlag 1980, R. S. Sirohi: Optical Components, Techniques, and Systems in Engineering, John Wiley&Sons, New York 1992.

### **Optikai tervezés (2/2/0/v/4)**

A tárgy az Alkalmazott fizika BSc képzésben megszerzett optikai alapismeretekre építve mutatja be az optikai elven működő leképező rendszerek tervezésének fogalom- és modellrendszerét, a szokásos minősítési módszereiket és a fontosabb leképező eszközök működési elvét. A tárgy keretén belül a hallgatók megismerik az optikai tervezőprogramok lehetőségeit és elsajátítják alapszintű használatukat, valamint gyakorolják a tervezési folyamat egyes lépéseit. A teljesség igénye nélkül foglalkozunk továbbá a gyártási hibák hatásának figyelembevételével és megismerkedünk a lencserendszerek foglалástechnikájának alapfogalmaival.

*Irodalom:* Erdei G.: Az optikai tervezés alapjai – órai jegyzet. W.J. Smith: Modern optical engineering. J.W. Goodman: Introduction to Fourier optics. Richter P.: Bevezetés a modern optikába I.-II. Műegyetemi kiadó.

### **Optoelektronikai eszközök (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSc) szakon megszerezhető szilárdtestfizika és optika ismeretekre építve a modern optoelektronikai eszközök felépítését és működését mutatja be a következő témakörök tárgyalásával: radiometriai és fotometriai alapok, külső fotoeffektuson alapuló detektorok, félvezető fotodetektorok, mátrix detektorok, térbeli fénymodulátorok, speciális felépítésű (elektro-, akusztó-, nemlineáris optikai) eszközök.

This course describes the principles and operation of modern optoelectronic devices built on knowledge in solid state physics and optics gained during a BSc study in Physics. The following topics are discussed: foundations of radiometry and photometry, external photoeffect based detectors, semiconductor photon detectors, matrix detectors, spatial light modulators, special architecture (electro-, acousto- and nonlinear optical) devices.

*Irodalom:* Saleh-Teich: Fundamentals of Photonics (ISBN 0-471-83965-5, John Wiley, 1991), Blackwell-Thornton: Mastering Optics: An applications guide to optical engineering (ISBN 0-07-707875-06, McGraw-Hill, 1996).

## **Anyagtudomány tárgycsoport**

### **Elektron- és ionoptikák (2/0/0/v/3)**

A tárgy anyaga az elektromosan töltött részecskék előállítás, analízis és detektálás folyamatainak tárgyalása, az alkalmazási lehetőségek ismertetése. A következő témák kerülnek meg tárgyalásra: elektron- és ionforrások; energiaanalizátorok; tömeganalizátorok; általános pályagörbe megfontolások elektromos és mágneses tér jelenlétében; részecskegyorsítók; a tértöltés hatásainak tárgyalása; töltött részecskék detektálási lehetőségei.

*Irodalom:* Hárs György, Fizikai elektronika, (elektron és ionoptikák) Műegy. kiadó 1992, J 05007, Csurgai Árpád, Simonyi Károly, Az információtechnika fizikai alapjai (elektronfizika) Mérnöktovábbképző Intézet 1997, Simonyi Károly, Elméleti villamosságtan Tankönyvkiadó 1973.

### **Felületfizika és vékonyrétegek 1 (2/0/0/v/3)**

A tárgy szilárdtestfizikai alapismeretekre építve tárgyalja a felületfizika és vékonyréteg fizika főbb területeit. Részletes tárgyalásra kerül a felületek szerkezetének, elektronszerkezetének leírása. A tárgy foglalkozik a felületi töltésrétegekkel és a kilépési munkával, félvezető/félvezető, félvezető/fém és félvezető/szigetelő határfelületekkel.

*Irodalom:* Giber J. és szerzőtársai: Szilárdtestek felületfizikája, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1987. Giber J., Gyulai J., V.K. Josepovits, L. P. Biró: Diffúzió és implantáció szilárdtestekben, Műegyetemi Kiadó, 1997. O. Brummer, J. Heydenreich, K.H.Krebs, H.G. Schneider: Szilárdtestek vizsgálata elektronokkal, ionokkal és röntgensugárzással. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984. A. Many, Y. Goldstein, N. B. Grover: Semiconductor Surfaces, North-Holland Publishing, Amsterdam, 1971.

### **Felületfizika és vékonyrétegek 2 (2/0/0/v/3)**

A tárgy szilárdtestfizikai alapismeretekre építve tárgyalja a felületfizika és vékonyréteg fizika főbb területeit. Részletes tárgyalásra kerül a felületek rácsrezgéseinek leírása. A tárgy foglalkozik az adhézióval különböző határfelületeken, valamint abszorpciós jelenségek, felületi reakciók és transzportjelenségek leírásával.

*Irodalom:* Giber J. és szerzőtársai: Szilárdtestek felületfizikája, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1987. Giber J., Gyulai J., V.K. Josepovits, L. P. Biró: Diffúzió és implantáció szilárdtestekben, Műegyetemi Kiadó, 1997. O. Brummer, J. Heydenreich, K.H.Krebs, H.G. Schneider: Szilárdtestek vizsgálata elektronokkal, ionokkal és röntgensugárzással. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984. A. Many, Y. Goldstein, N. B. Grover: Semiconductor Surfaces, North-Holland Publishing, Amsterdam, 1971.

### **Félvezetők fizikája 1 (2/0/0/v/3)**

Bevezetés: a félvezető fizika jelentősége, modern alkalmazások, az elektronika határai. Kristályszerkezet és szimmetriák, elektronok statisztikája a kristályrácsban, Bloch állapotok, sáv szerkezet. Rácshibák, szennyező atomok, lokalizált állapotok. Effektív tömeg közelítés, töltéshordozók félvezetőkben. Spin-pálya kölcsönhatás, kp közelítés. Kváziklasszikus dinamika, Boltzmann-egyenlet, transzport külső terekben, vezetőképesség, Hall-effektus, mágneses ellenállás. Tiszta és adalékolt félvezetők: sekély nívók, mély nívók, elektromos vezetőképesség és Hall-effektus több sáv esetén, termoelektromos- és termomágneses jelenségek. Transzport instabilitások, Gunn dióda, alagút dióda. Inhomogén félvezetők, diffúzió, Einstein reláció. Elterések a hőmérsékleti egyensúlytól. Diffúzió és vezetési jelenségek adalékolt félvezetőkben. Zener dióda, p-n átmenet, bipoláris tranzisztorok. Kölcsönhatások fénnyel, fotovezetés, szabad töltéshordozók abszorpciója. Rekombinációs mechanizmusok: sugárzásos rekombináció, rekombináció nívón keresztül. Világító dióda (LED) és félvezető lézerek elve, felépítése, működése és alkalmazásai. Hagyományos és epitaxiális növesztési eljárások, minősítő technikák, rácsillesztés, band-engineering, heteroszerkezetek, szuperrácsok, nagy mobilitású 2-dimenziós elektrongáz és

nagyfrekvenciás alkalmazásai, HEMT. Termikus zaj, sörétzaj,  $1/f$  zaj, fluktuáció-disszipáció. Zajszűrés és a sávszélesség. Felületi állapotosság, távoli dópolás, Schottky barrier, Schottky dióda, Ohmikus kontaktusok, MOS szerkezetek, High-k dielektrikumok, flash memóriák, napelemek, CCD eszközök. Önszerveződő növekedés, növesztés előre definiált szubsztrátokra, cleaved edge overgrowth, nanovezetékek epitaxiális növesztése, optikai- és elektronsugaras litográfia, split-gate technológia, AFM litográfia. Egyelektron tranzisztor, nem-invázív töltés detektálás kvantum pontkontaktussal, scanning-gate mikroszkópia.

*Irodalom:* Kittel: *Bevezetés a szilárdtestfizikába*; Sólyom Jenő: *A modern szilárdtestfizika alapjai*.

### **Félvezetők fizikája 2 (2/0/0/v/3)**

Félvezető heterostrukturák elektrosztatikája: Reális GaAs/AlGaAs heterostrukturák, geometriai- és kvantum kapacitás, árnyékolás. Félvezető nanostrukturák elektrosztatikája: split-gate strukturák kapacitív modellje. Spin-pálya kölcsönhatás 2 dimenziós elektrongázban: Dresselhaus és Rashba járulékok, Datta-Das spintranzisztor, spin relaxáció. Mágneses félvezetők: előállítás, minősítés, spintronika, multifunkcionális alkalmazások. Mezoszkopikus transzport alacsony dimenziójú félvezető rendszerekben: Diffúzív és ballisztikus transzport, a vezetés modelljei. Interferencia effektusok mezoszkopikus félvezető rendszerekben: Gyenge- és erős lokalizáció, kvantum-gyűrűk, Mach-Zender interferométer. Fázisvesztés mezoszkopikus félvezető rendszerekben: Összefonódás a környezettel, dekoherencia mechanizmusok. Elektron-elektron kölcsönhatás félvezető nanostrukturákban: Kvantum dotok, elektron pumpa, nem-invázív töltésdetektálás és elektronszámlálás. Elektronikus zaj jelenségek mezoszkopikus félvezető rendszerekben: Zaj kvantum pontkontaktusokban, kvantum dotokban és diffúzív rendszerekben, kompozit fermionok.

*Irodalom:* T. Ihn: *Semiconductor Nanostructures*; T. Heinzel: *Mesoscopic Electronics in Solid State Nanostructures: an Introduction*.

### **Kristályos és amorf anyagok (2/0/0/v/3)**

A kristályos, az amorf és az üveg állapot. Amorf félvezetők, kalkogén üvegek osztályozása, előállítása, Phillips elmélete. Szerkezetvizsgálat: diffrakciós mérések, számítógépes modellezés, Mott féle (8-N) szabály. Elektron szerkezet: DOS, töltésfluktuációk, adalékolás. Hibahelyek: lógó kötések, void-ok, koordinációs hibák. Fotóindukált jelenségek. Optikai tulajdonságok. Alkalmazások: napelem, Xerox másoló, DVD, stb. Az egyensúlyi és nem-egyensúlyi fázis diagramok. Lehülés olvadékból kristályosodás elkerülésével, üvegátalakulás, kinetika. Amorf ötvözetek szerkezetének jellemzése, vizsgálati módszerek. Amorf ötvözetek elektronszerkezete és mágnessége.

*Irodalom:* K. Morigaki: *Physics of Amorphous Semiconductors* (World Scientific) 1999, Jai Singh and Koichi Shimakawa: *Advances in Amorphous Semiconductors* (Taylor and Francis) 2003, Jai Singh: *Optical Properties of Condensed Matter* (Wiley) 2006.

### **Spektroszkópia és anyagszerkezet (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a B.Sc. képzés során szerzett alapismereteket (közegek elektrodinamikája, kvantummechanika, csoportelmélet, statisztikus fizika, optika, optikai mérés technika) a spektroszkópia anyagvizsgálatra és szerkezetkutatásra való felhasználása szempontjából rendszerezi. A tárgyalási módszerek elsősorban optikai szerkezetvizsgálati eljárások (infravörös és látható/UV abszorpciós és reflexiós spektroszkópia, Raman-szórás, ellipszometria, optikai rotációs diszperzió, cirkuláris dikroizmus), de szó lesz a belső héjak, valamint az atommag gerjesztéseinek néhány esetéről is (röntgen-, fotoelektron-spektroszkópia, Mössbauer-spektroszkópia). A cél, hogy a hallgató a szerzett ismeretanyag felhasználásával adott feladatokra ki tudja választani az optimális spektroszkópiai eljárást, és értelmezni tudja a kapott eredményeket.

*Irodalom:* Kamarás Katalin: *Spektroszkópia és anyagszerkezet*. Bevezetés a modern optikába V. kötet, 11. fejezet, szerkesztő: Richter Péter, Műegyetemi Kiadó, 2000, G. R. Fowles:

*Introduction to Modern Optics*. Dover, 1989, F. Wooten: *Optical Properties of Solids*. Academic Press, 1972, H. Kuzmany, *Solid State Spectroscopy, an Introduction* Springer, Berlin, Heidelberg, 1998.

### **Szilárdtestek elektromos és optikai tulajdonsága (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető szilárdtestfizika és kvantummechanikai alapismereteket feltételezi. Szemléletesen elmagyarázzuk a szilárdtesteket összetartó különböző erőket, és abból következtetünk a szerkezetükre. Ismertetjük néhány tipikus fém és félvezető elektronszerkezetét, valamint elmondjuk, hogy milyen módszerekkel lehet azt kimérni, illetve kiszámítani. Ismertetjük a félvezetők technológiai definícióját, a vezetési elektron és lyuk fogalmát, valamint azt hogyan lehet kimérni vagy kiszámítani. Evvel kapcsolatban ismertetjük a Bloch-elektronok dinamikájának félklasszikus tárgyalását, és a félvezető eszközök működésének megértéséhez szükséges alapismereteket (Fermi-szint, n,p-típusú vezetés, exciton-állapotok). Megtárgyaljuk, hogy a pont hibák hogyan befolyásolják a félvezetőkristályok elektronszerkezetét: adalékolás fogalma, termikus (pont)hibák. Megvizsgáljuk, hogy az alacsonydimenziós rendszerekben hogyan változik meg a sáv szerkezet illetve az állapotsűrűség, valamint összehasonlítjuk a kristályos és amorf anyagok elektronszerkezetét. Végül ismertetjük, hogy az elektromágneses sugárzás hogyan hat kölcsön az anyaggal a fémek, félvezetők, és szigetelők esetén.

*Irodalom:* Kittel: Bevezetés a szilárdtestfizikába, Sólyom Jenő: A modern szilárdtestfizika alapjai I-II (ELTE Eötvös Kiadó), Deák Péter-Kocsányi László-Giber János: Műszaki Fizika III (BME jegyzet).

### **Trendek az anyagtudományban (1/0/0/v/2)**

A tárgy célkitűzése az anyagtudományi eljárások, az anyagtudomány előtt álló feladatok és lehetőségek, a nemzetközi és a hazai piac elvárásainak megismertetése meghívott szakértők előadásai alapján, amelyeket a tárgy koordinátorainak előadásai fognak egybe. Alapvetően az anyagtudomány és a modern élet kapcsolatának, az anyagtudomány fontosságának megismertetése a fő szempont. Kiemelten szerepelnek az anyag- és energiatakarékos eljárások tömbi anyagokban, ötvöztetés, fémes, nem fémes és kompozit szerkezetű anyagok, korrózió, speciális követelmények félvezető anyagokkal szemben, műanyagok, szerves- és biológiai anyagok stb. A tárgy tematikája rugalmasan tartandó. Előadások felsorolása: A nanotudomány gondjai (Gyulai József), Fémes nanokompozitok (Gaál István), Nanotechnológia mikrorendszerekben (Bársony István), Korróziós folyamatok pásztázó tűszondás módszerrel (Kálmán Erika), Vékonyrétegek (Radnóczy György), Mechanikai ötvöztetés és alkalmazásai különös tekintettel a nanoszerkezetű anyagok előállítására (Csanádi Andrásné), Félvezetők (Beleznay Ferenc), Emissziós anyagok (Vargáné Josepovits Katalin), A fényforrás technológia és anyagtudományi vonatkozásai (Böröcki Ágoston), Szilárd elektrolit kondenzátorok (Kiss Gábor), Integrált optika és alkalmazásai (Kocsányi László), Oxid félvezető alapú gázszenzorok (Maximilian Fleischer).

### **Vizsgálati módszerek az anyagtudományban 1 (3/0/2/f/5)**

A tárgy célja az anyagtudományban az anyagok jellemzésére legáltalánosabban használt módszerek elvi és gyakorlati szintű, az alkalmazási lehetőségekre is kiterjedő megismertetése. Az előadások során ismertetésre kerül a módszerek elve, a technikai megvalósítás jellemzői, a minta előkészítés és a mérés technikai feltételei, valamint a mérésből nyerhető információk és azok kiértékelése. Bemutatásra kerülnek gyakorlati mérési példák és az azokból nyerhető technológiai információ. A kiválasztott módszerek mindegyikéről a témával foglalkozó elismert szakember tart előadást, amihez demonstratív laborgyakorlat csatlakozik a Budapesten elérhető legmodernebb módszerek mellett.

Aktivációs analízis, SIMS, Rezgési spektroszkópiák, Infravörös spektroszkópia, Ramann spektroszkópia, Transzmissziós elektronmikroszkópia, Elektron diffrakció, Fotelektron spektro-

szkópiák (UPS, XPS), Atomi erőmikroszkópia (AFM), Alagút mikroszkópia (STM), Neutron szórás, Röntgen diffrakció, Auger elektron spektroszkópia.

*Irodalom:* O. Brummer, J. Heydenreich, K.H.Krebs, H.G. Schneider: Szilárd testek vizsgálata elektronokkal, ionokkal és röntgensugárzással. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984, valamint az egyes előadók által az előadásokhoz mellékelt néhány oldalas aktuális segédletek.

### **Vizsgálati módszerek az anyagtudományban 2 (3/0/2/f/5)**

A tárgy célja az anyagtudományban az anyagok jellemzésére legáltalánosabban használt módszerek elvi és gyakorlati szintű, az alkalmazási lehetőségekre is kiterjedő megismertetése. Az előadások során ismertetésre kerül a módszerek elve, a technikai megvalósítás jellemzői, a minta előkészítés és a mérés technikai feltételei, valamint a mérésből nyerhető információk és azok kiértékelése. Bemutatásra kerülnek gyakorlati mérési példák és az azokból nyerhető technológiai információ. A kiválasztott módszerek mindegyikéről a témával foglalkozó elismert szakember tart előadást, amihez demonstratív laborgyakorlat csatlakozik a Budapesten elérhető legmodernebb módszerek mellett.

Fémes anyagok morfológiája, Elektromos mérések, Kontaktus mentes félvezető vizsgálat, Analitikai Elektron Mikroszkópia, Mössbauer Spektroszkópia, Mag mágneses rezonancia (NMR), Ion nyaláb analitikai módszerek, Elektron spin rezonancia (ESR), Ellipszometria, Pásztázó elektron mikroszkópia (SEM).

*Irodalom:* O. Brummer, J. Heydenreich, K.H.Krebs, H.G. Schneider: Szilárd testek vizsgálata elektronokkal, ionokkal és röntgensugárzással. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984, valamint az egyes előadók által az előadásokhoz mellékelt néhány oldalas aktuális segédletek.

## **NUKLEÁRIS TECHNIKA SZAKIRÁNY KÖTELEZŐEN VÁLASZTHATÓ TÁRGYAI**

### **Atomerőművek (3/1/0/v/5)**

II., III. és IV. generációs atomerőművek bemutatása. Különböző típusú atomerőművek elvi hőkapcsolási sémáinak összehasonlítása, primer és szekunder körű főberendezések és rendszerek részletes bemutatása. A primer és szekunder körben jelentkező korróziós és eróziós folyamatok, primer és szekunder körű vízüzem alapelvei, gyakorlati megvalósítása. Levegőtisztító- és szellőző rendszerek. Technológiai berendezéseket befogadó épületek és helyiség-rendszerek. Vezénylőterem kialakítása, az ergonómiai és a balesetkezelési szempontok érvényesítése. A villamos berendezésének kiépítésének speciális szempontjai. Különböző típusú üzemi és üzemzavari hűtőrendszerek. Az atomerőmű-telepítés szempontjai.

*Irodalom:* Büki Gergely: Erőművek, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004, T.H. Margulova: Atomerőművek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.

### **Atomerőművi anyagvizsgálatok (2/0/0/v/2)**

Nyomottvízes atomerőművek primer és szekunder körű főberendezéseinek ellenőrzési módszerei, vizsgálati eljárások, hibadetektálási technikák. Reaktortartály vizsgálatok. Gőzfejlesztő vizsgálati módszerek. Vizuális vizsgálati módszerek, manipulációs technikák, telemechanika alkalmazása atomerőművi környezetben. Speciális módszerek az alak- és mérethelyesség ellenőrzésére. Friss és kiegészített fűtőelem kötegek vizsgálata (tömörség vizsgálatok, termohidraulikai ellenőrzések, tomográfias eljárások). Radioaktív hulladékot tartalmazó konténer vizsgálati módszerei. Nukleáris anyagvizsgálati módszerek (pl. radiográfia, tomográfia).

### **Atomerőművi kémia (2/1/0/v/3)**

A tantárgy az atomerőművek főbb kémiai és radiokémiai folyamatait mutatja be az alábbi tematika szerint: atomerőművek vízüzeme, radioizotópok a fűtőelemekben és a hűtővízben, fűtőelem állapot értékelés, korróziós folyamatok, víztisztító rendszerek, dekontaminálás, radioaktív hul-

ladékkezelés, környezetellenőrzés, radioanalitika az erőművekben. Látogatást szervezünk a Paksi Atomerőmű Zrt-be.

*Irodalom:* K.H. Neeb: The Radiochemistry of Nuclear Power Plants with Light Water Reactors (Walter de Gruyter, Berlin, 1997), V.V. Geraszimov, A.J. Kaszperovics, O.J. Martinova: Atomerőművek vízüzeme (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981).

### **Atomerőművi szimulációs gyakorlatok (0/0/2/f/3)**

A tantárgy célja az atomerőművekkel kapcsolatos reaktorfizikai, termohidraulikai és egyéb műszaki ismeretek elmélyítése a BME NTI-nél, továbbá a KFKI Atomenergia Kutatóintézeténél rendelkezésre álló szimulátorok segítségével. A hallgatók a következő szimulátorokon folytatnak gyakorlatokat: PC<sup>2</sup> primerköri szimulátor; SSIM szekunderköri szimulátor; STEGENA gőzfejlesztő analizátor; APROS egydimenziós termohidraulikai rendszerkód, CFX háromdimenziós termohidraulikai kód; a paksi atomerőmű full-scope szimulátora (KFKI AEKI-ben).

*Irodalom:* Dr. Csom Gyula: Atomerőművek üzemtana, II/1. kötet, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004, Fehér S., Aszódi A., Csom Gy.: A PC<sup>2</sup> v4.0 primerköri szimulátor fizikai és matematikai modelljének leírása; BME-NTI-241/1999; BME Nukleáris Technikai Intézet, Budapest, 1999, Csige A., Aszódi A.: APROS rendszerkód alkalmazása atomerőművi üzemzavari eseményekre; MNT Szimpózium 2003. december; Magyar Nukleáris Társaság, Budapest, 2004.

### **Atomerőművi üzemzavar elemzések (3/2/0/v/6)**

Az atomerőművek biztonságos üzemeltetése alapvető fontosságú mind az üzemeltető, mind pedig a társadalom szempontjából. A törvényekben szabályozott biztonsági előírásokat a hatósági ellenőrzések és az engedélyezés rendszere hivatott biztosítani, míg a berendezés műszaki biztonságát megfelelő tervezési, építési, üzemeltetési és karbantartási gyakorlat vitelével lehet biztosítani. A tárgy keretében a hallgatók megismerkednek a legfontosabb üzemi transziensek és üzemzavari folyamatok modellezésére alkalmazott modellezési módszerekkel, néhány jellemző számítógépes elemzőprogrammal. Elsajátítják a méretezési alap szempontjából meghatározó főbb méretezési üzemzavarok fizikai folyamatait, valamint -- a gyakorlatok keretében -- megfelelő programok és szimulációs eredmények felhasználásával betekintést nyernek az atomerőművek üzemzavar-elemzési módszereibe. Az atomerőművek belső események által indukált méretezési üzemzavarain túl a tárgy ismerteti a külső veszélyekre való méretezés elveit is (földrengés, robbanás, repülőgép rázuhanás, rendkívüli meteorológiai események, árvizek) és ezek jellemzőit (veszélyeztetettségi görbe, méret, intenzitás, terhelési diagram, stb.).

A tervezési alapba tartozó belső veszélyek (nagyenergiájú cső törése, forgógép sérülésből származó repülő tárgyak, nehéz terhek leesése) és ezek jellemzői (a bekövetkezés valószínűsége) a belső veszélyek által okozott terhek, körülmények jellemzése (ostorozás, közege-sugár, ütközés) is ismertetésre kerülnek.

A kockázat alapú vagy kockázat szempontú tervezés, a biztonság szerinti differenciálás elve a tervezésben, a nukleáris létesítmények kockázat alapú kategorizálása, a szerkezetek, rendszerek és komponensek osztályba sorolása is tárgya az előadásoknak.

*Irodalom:* Szatmáry, Aszódi: Csernobil, tények, okok hiedelmek, Typotex, 2005. Mosey, David: Reactor accidents, Sidcup: Nuclear Engineering International 2006., 2. ed. ISBN 1-903-07745-1

### **Atomreaktorok üzemtana (3/1/0/v/3)**

A tárgy keretében részletesen ismertetjük az atomreaktor üzemvitel szempontjából fontos paramétereit: elemezzük a reaktivitás-visszacsatolásokat és azok hatását az atomreaktor üzemeltetésére és nukleáris biztonságára, a xenon- és szamárium-mérgezettség üzemviteli folyamatokat befolyásoló hatását, az atomreaktorban kialakuló teljesítmény-eloszlást, azzal összefüggő hőtechnikai, illetve üzemi korlátokat, egyenlőtlenlégek kialakulását a kiegészítő ciklus alatt, ciklusvégi speciális üzemviteli vonatkozásokat (pl. manőverező képesség romlása). Ezen túlmenően

en foglalkozunk az atomreaktor aktív zónájának üzem közbeni monitorozásával, az in-core és ex-core detektorok speciális kérdéseivel. Bemutatjuk a töltettervező és kiterjesztő kódok alapvető tulajdonságait, az adatgyűjtés módjait, adatfeldolgozó rendszerek üzemét, a fűtőelemek üzemi sajátosságai és üzem közbeni állapotellenőrzésük lehetőségeit. A reaktortartály üzemvitellel összefüggő tulajdonságainak és állapotellenőrzésének ismertetése, valamint a reaktorszabályozás beavatkozó szervei és eszközei üzemének bemutatása zárja az előadást.

*Irodalom:* Csom Gyula: Atomerőművek üzemtana I-II.

### **Bevezetés a fúziós plazmafizikába (2/0/0/v/2)**

Bevezetés, alapfogalmak, osztályozás, Debye hossz, plazmafrekvencia. Részecskék mozgása mágneses térben, a vezető centrum, egy- és kétfolyadékos modell; Atomfizika plazmákban, alapvető fogalmak, energiaszintek gerjesztési együtthatók; Elektromágneses hullámok terjedése plazmában (hullámegyenlet, hullámterjedés homogén/inhomogén közegben), a diszperziós reláció; MHD hullámok, instabilitások; Transzport jelenségek; Plazmák kinetikus elmélete, az eloszlásfüggvény értelmezése, Liouville-tétel, Boltzmann-egyenlet, Vlasov-egyenlet; Tér- és időskálák rendezése, drift-rendezés, MHD-rendezés, girációs rendezés; Plazmák magnetohidrodinamikai elmélete, az eloszlásfüggvény momentumai, a kinetikus egyenlet momentumai, megmaradási törvények, az elmélet lezárásának problematikája; Driftek a folyadékképben, MHD-drift közelítés és véges Larmor sugár effektusok; Általánosított Ohm-törvény, az MHD elmélet alkalmazásai.

### **Bevezetés a plazmatranszportba (4/0/0/v/4)**

1. Magfizikai alapok kivonatos ismételése: Kötési energia, (d,d), (d,t) reakciók, mag-plazma kölcsönhatás, fal-plazma kölcsönhatás, fűtési módok, hatáskeresztmetszetek, küszöbenergia, küszöbhőmérséklet. A nyálábdiaosztika alapjai. 2. Statisztikusfizikai alapok: Statisztikus rendszer. A Boltzmann-egyenlet, transzport jelenségek, Gamma-tér, mu-tér, sűrűségoperátor. Hővezetés, súrlódás. Kinetikus egyenlet, hidrodinamikai modell. Kvantumos és klasszikus leírás. Diffúzió. Fokker-Planck-egyenlet. 3. Numerikus módszerek: Sn, Monte-Carlo, nodális. 4. A plazma leírása és alapvető tulajdonságai: Ütközésmentes plazma. Vlasov-egyenletek, diszperzió, elektromos permittivitás. Landau-csillapodás. Longitudinális plazmahullámok. Ionakusztikus hullámok. Plazmavisszhang. Kvantumeffektusok. Kvázineutrális plazma, szolitonok. 5. Ütközések a plazmában. Coulomb-szórás. Energiacsere elektronok és ionok között. Lorentz-plazma. Elfutó elektronok. Plazmahullámok, fluktuációk. Plazma mágneses térben. Az eloszlásfüggvény, permittivitás. Elektromágneses hullámok. 6. Stabilitásvizsgálat: Az instabilitások fizikai alapjai. Az áramlás stabilitása, a stabilitásvizsgálat módszerei. 7. Az egyenletek szimmetriája: A közelítő módszerek problémája. Az egyenlet szimmetriája. Szimmetriát megőrző közelítő módszerek.

### **CFD módszerek és alkalmazások, (2/1/0/f/3)**

A tantárgy a háromdimenziós CFD (Computational Fluid Dynamics) technika alapjait és atomenergetikai alkalmazásait mutatja be a hallgatóknak. A tantárgy keretében áttekintjük a hő- és áramlástan folyamatokat leíró megmaradási egyenleteket és azok tulajdonságait. Részletesen kitérünk a turbulencia leírásának lehetőségeire és ismertetjük a fontosabb turbulencia-modelleket. Áttekintjük az egyenletek megoldásához használható numerikus módszereket (végesdifferenciák, végestérfogatok, végeselemek, rács-Boltzmann módszer) és az azokkal kapcsolatos alapfogalmakat. A módszerek ismertetésénél a hangsúlyt a kereskedelmi CFD kódokban leggyakrabban alkalmazott végestérfogatok módszerére helyezzük. Foglalkozunk az instacionárius áramlási folyamatok számításának fontosabb implicit és explicit módszereivel és ismertetjük a Navier-Stokes egyenletrendszer néhány megoldási lehetőségét. Az előadások során bemutatjuk a CFD technika nukleáris energetikai alkalmazásait a BME Nukleáris Technikai Intézetben végzett kutatások eredményein keresztül. Az előadásokat gyakorlat egészíti ki, amely



során a hallgatók feladatokat oldanak meg és elsajátítják az ANSYS CFX kommerciális CFD kód használatát.

*Irodalom:* J. H. Ferziger, M. Peric: *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, 2002. J. Tu, G. H. Yeoh, C. Liu: *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*, Elsevier, 2008.

### **Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából 1 (2/0/0/v/3)**

Bevezetés a kísérleti magas hőmérsékletű plazmafizikába (Hogyan nyerhetünk energiát atommagokból: fúzió és fisszió. Fúziós folyamatok a napban és a földön: DT reakció, Lawson kritérium, hatásfok és üzemanyag elérhetőség megfontolások, inerciális mágneses fúzió. Plazmák osztályozása és bemutatása. Alap plazmafizikai fogalmak. Töltött részecskék mozgása, driftek.) – Mágneses tér toroidális berendezésekben, mágneses diagnosztikák (Mágneses tér mérése. Mágneses tér szerkezete toroidális berendezésekben. Fluxus definíciók, fluxuskoordináták. Grad Shafranov egyenlet, biztonsági faktor, béta. Alap mágneses diagnosztikák. Mágneses diagnosztikák JET és ASDEX Upgrade tokamakokon.) – Hullámok plazmákban. – Mágneses összetartás, plazma fűtés, plazma fueling, konfigurációk (Egy tipikus toroidális berendezés felépítése. Ohmikus plazma. Limiter és divertor konfigurációk. L-mode, H-mode, hibrid szenáriók.) – Instabilitások plazmákban (Instabilitások általánosságban; stabilitás, hajtóerő stb. Stabilitás fúziós plazmában. Core plazma instabilitások. Szélplazma instabilitások.) – Szél plazma diagnosztikák, plazma-fal kölcsönhatás, SOL (A plazma szél és a SOL jellemzése. Plazma - fal kölcsönhatás. Mostanában használatos falelem anyagok és ezek előnyei, hátrányai. Szél plazma diagnosztikák. ELM-ek hatása a divertorra illetve a poloidális limiterekre.) – Plazma diagnosztika: passzív spektroszkópia (A spektrum. Alapelvek: vonalas sugárzás, Doppler eltolódás és kiszélesedés, Zeeman felhasadás, felhasadás kiszélesedés. Folytonos sugárzás: fékezési sugárzás, rekombinációs sugárzás. Alap technikák: hullámhossz szelektálás (diszperzív elemek, spektrométerek), detektorok, tomográfia. JET IR+látható amera rendszer.

*Irodalom:* Dunai D, Kálvin S, Kocsis G, Szepesi T, Zoletnik S.: *Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából* (BME TTK egyetemi jegyzet, 2013) [a második részhez is]

### **Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából 2 (2/0/0/v/3)**

Bevezetés. – Plazma diagnosztika: aktív spektroszkópia (Részecske injektálási technikák (szennyezők: termikus, supersonikus gáznyaláb, termikus atomnyaláb, blow-off, gyorsított atomnyalábok). Nyaláb emissziós spektroszkópia, töltéskicserélődés spektroszkópia, motional stark effektus. – Lézerek. Thomson szórás (incoherent, ion kollektív). Plazma törésmutatója, interferometria, polarimetria. Lézer indukált fluoreszcencia.) – Plazma turbulencia (Turbulens transzport. Turbulencia kísérleti jellemzése és az ehhez használt speciális módszerek.) – Pelleték és forró plazma kölcsönhatása (Miért van szükség pelletekre (kriogén, szennyező)? Pellet készítési, gyorsítási és transzfer technikák. NGS modell. Pellet plazma kölcsönhatás leírása, fueling. Pellet ELM pacemaking.) – Valós idejű diagnosztikák (Miért van szükség valós idejű diagnosztikákra? Valós idejűség definiálása. A valós idejű operációs rendszerek főbb jellemzői. EDICAM működési elképzelések mint jó példa valós idejű diagnosztikára.) – Bayes módszer alkalmazása plazmafizikai kísérletekben (A deduktív és a induktív következtetés. Paraméterbecslés. Modell választás. A valószínűség meghatározása. Paraméter nélküli becslések. Kísérletek tervezése. A Bayes módszer alkalmazása a plazmafizikában. IDA - integrált adatfeldolgozás.)

### **Fúziós berendezések (2/0/0/v/2)**

A tantárgy ismerteti az előtanulmányok során megismert plazmafizikai alapismeretek alkalmazásait toroidális geometriájú berendezésekben, valamint ismerteti a mai fúziós berendezések működésének fizikai, technikai és technológiai alapjait. A termonukleáris fúzió magfizikai alapjai. Tehetetlenségi összetartású rendszerek: direkt és indirekt meghajtás. Mágnesesen összetartott plazmák: lineáris pinchek, toroidális berendezések, tokamakok, stellarátorok. Egyrészecske

pályák, driftek. A mágneses tér szerkezete axiálszimmetrikus rendszerekben, a rotációs transzformáció, a biztonsági tényező, fluxus felületek, koordináta transzformációk. Toroidális rendszerek egyensúlya és stabilitása. A Grad-Safranov egyenlet. Plazmahullámok toroidális geometriában. MHD és kinetikus instabilitások, transzport, Braginskii egyenletek. Plazma-fal kölcsönhatás, a határréteg plazma. A legjelentősebb fúziós kísérleti berendezések (ITER, JET, Wendelstein 7-X, JT-60U, ASDEX-U) felépítése és működése.

*Irodalom:* John Wesson: Tokamaks (Oxford Science Publications, 2006)

### **Fúziós nagyberendezések (2/0/0/v/3)**

A tantárgy röviden ismerteti a mágneses összetartásra alapozott fúziós energiatermelés elvét és bemutatja a fúziós energiatermelés megvalósításához szükséges technológiai rendszereket. Ezután történelmi bevezető, és a mai - már üzemelő, és még épülő - legjelentősebb tokamakok és sztellarátorok részletes bemutatása következik. Tárgyaljuk az ASDEX-Upgrade, JET, ITER tokamakok és a Wendelstein 7-X sztellarátor működési elvét, tervezési szempontjait, főbb komponenseit, fontosabb kiegészítő berendezéseit és az üzemelő berendezések néhány kísérleti eredményét. Az előadásokhoz kötődően sor kerül aktuális magyar fejlesztések bemutatására is. A tárgy röviden foglalkozik a fúziós kutatások további irányával, és útmutatást ad az önálló tájékozódáshoz.

*Irodalom:* John Wesson: *Science of JET*. Horst Wobig: *Stellarator research at the IPP in Garching*. ITER Physics Basis Editors: *ITER physics Basis, Overview and summary*.

### **Fúziós plazmafizikai laboratórium (0/0/4/f/4)**

A résztvevők egy alacsony nyomású ködfénykisülésen fognak különböző, nagy fúziós berendezéseken is használt diagnosztikai eszközök segítségével méréseket végezni. Háromféle mérést kell majd végrehajtani: Meg kell határozni Langmuir szonda segítségével az elektronhőmérsékletet és elektronsűrűséget a kisülés különböző tartományaiban, Vizsgálni kell Langmuir szonda segítségével a plazmaparaméterek fluktuációit, Fel kell venni az ívkisülés plazmájának spektrumát változó plazmaösszetétel esetén egy nagyfelbontású spektrométer segítségével. A mérések során a résztvevők feladata lesz az adatgyűjtési rendszer (pl. analóg-digitál átalakítók, triggerek) részbeni programozása is.

### **Ipari katasztrófák (2/0/0/v/2)**

1. Mi egy tevékenység eredménye? Miért nem tudjuk az eredményt egyértelműen rögzíteni? Miért kell a biztonsággal foglalkozni? 2. A bizonytalanság forrásai. A fizikai modellről. Sajátértékfeladat, peremérték-feladat. Használható modell: stabilitás, kevés paraméter. A modell feltevései, azok ellenőrzése. Descartes világképe. Nemlineáris jelenségek, káosz. Folyadékok áramlása, turbulencia. Plazma instabilitása. Ipari folyamat = ember + technika. Ember és gép együttműködése (1): pszichikai jelenségek. 3. A valószínűség. Gyakoriság és a tudáshiány mértéke: valószínűség. A valószínűség meghatározása. Epidemiológiai módszerek. Ritka események (technológia, kozmikus katasztrófa). A valószínűség és a közvélemény. A közlekedés és a dohányzás megítélése. Mi az elfogadható valószínűsége egy BKV jármű balesetének? Meteorológia, földrengések előrejelzése. 4. Tudomány és technika. Mit tud egy gép? Turing hipotézis, eldönthetetlen probléma. Hiba, hibázás gyakorisága. Szoftver és hibája. Hardver és hibája. Hibakeresés, tesztelés. 5. Biztonság elemzése (1). Hibadetektálás, diagnosztika. Eseményfa. Hiba-fa. Az egyes ágak valószínűsége és következménye. A kockázat fogalma. 6. Ember és gép. Ember és gép együttműködése (2). Emberek együttműködése. A hierarchia. Az emberi tényező (előreláthatóság, kiszámíthatóság, befolyásolhatóság). Konfliktusok, konfliktushelyzetek. 7. Biztonság elemzése (2). A balesetek elemzése. „Near miss” helyzetek. Az okok felderítése. Mi van ha nem teljesülnek a feltevések? A biztonság mérnöki aspektusai. Öregedés, kopás, karbantartás. Méretezés. 8. A kockázat kezelése. Kockázatelemzés. Adatok gyűjtése elemzése. Menedzselés. Kockázat, racionalitás, kommunikáció. Egy rendszer és elemeinek kockázata. Bizonyta-

lanság, érzékenység. 9. Az atomerőmű. Tervezési szempontok. Üzemeltetési szempontok. Ellenőrzés. A biztonság helyzete.

*Irodalom:* C. L. Atwood et al.: Handbook of parameter estimation for probabilistic risk assessment, Report NUREG/CR-6823. Terje Aven: Foundations of risk analysis: A knowledge and decision oriented perspective, Wiley, 2003. Yacov Y. Haines: Risk modeling, assessment and management, Wiley, 2004.

### **Monte Carlo módszerek (2/1/0/f/4)**

Egyenletes eloszlású véletlen számok generálása. Multiplikatív, kongruenciális és egyéb algoritmusok. A véletlenszám-sorozat aperiódikus szakasza és periodicitása. Véletlen számok statisztikai vizsgálata. Illeszkedésvizsgálat, függetlenségi próba, I<sup>2</sup>-, Kolmogorov-próba. Empirikus próbák egyenletes eloszlású véletlen számok vizsgálatára. Speciális eljárások nem egyenletes eloszlású véletlen számok generálására. Normális, exponenciális-, gamma-, béta- és Poisson-eloszlású változók generálása. Hatványfüggvényekkel leírható eloszlások mintavételezése. Véletlen vektorok generálásának módszerei. Térben izotróp irányeloszlás generálásának speciális eljárásai. Adott valószínűségű diszkrét események szimulálása Monte Carlo módszerrel. Eljárások a szimuláció gyorsítására. Folytonos eloszlású események szimulálása Monte Carlo módszerrel. Általános algoritmusok adott eloszlásból történő mintavételezésre. Inverz-eloszlás, elfogadás-elvetés, táblázatos, kompozíciós módszer. Az elfogadás-elvetés módszer általánosítása. Szóráscsökkentő eljárások a részecsketranszport szimulációjánál. A statisztikai súly, az orosz rulett és a trajektóriák felhasználásának módszere.

*Irodalom:* Szobol, I.M.: *A Monte-Carlo módszerek alapjai*, Műszaki Könyvkiadó, 1981. Lux I., Koblinger K.: *Monte-Carlo Particle Transport Methods*, CRC Press, 1991.

### **Monte Carlo részecsketranszport módszerek (2/0/0/v/2)**

Monte Carlo becslők: analóg becslés, ütközési becslők, úthossz becslő. A becslés szórása, a becsült érték szórása, korrelált mennyiségek becslése, becslők optimális kombinációja. Sorfejtési együtthatók Monte Carlo becslése és szórásuk. Statisztikai vizsgálatok a becslés torzítatlanságára. A Monte Carlo számítás hatékonysága: figure of merit. Monte Carlo formalizmusok: Integrál egyenletek, Neumann-sorok. Momentum-egyenletek. A Boltzman-egyenlet és adjungáltjának Monte Carlo megoldása. Szóráscsökkentési módszerek és optimalizálásuk, nulla-szórású Monte Carlo. Adjungált Monte-Carlo. Midway-módszer, korrekton módszer, kontributon módszer. Monte-Carlo perturbációs számítás. Kritikussági számítások: forrás konvergencia, külső és belső detektorok. Nem-Boltzman problémák: szóráscsökkentés pulse height becslőre, zajszimuláció: magasabb momentumok becslése szóráscsökkentés mellett. Speciális alkalmazások: PET és CT szimuláció GPU segítségével, raytracing technika

*Irodalom:* I. Lux, L. Koblinger: *Monte Carlo particle transport methods: Neutron and photon calculations*, CRC Press, 1990. J. Spanier, E.M. Gelbard: *Monte Carlo Principles and Neutron Transport Problems*, Addison-Wesley, 1969.

### **Neutron- és gammatranszport számítási módszerek (2/2/0/v/5)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSc) szakon a „Reaktorfizika” tárgy keretében megszerzett ismeretek gyakorlati alkalmazását segíti. A tárgy előadásain és gyakorlatain először egyszerű, gyorsan megoldható problémákon keresztül mutatunk be olyan közelítő számítási eljárásokat, melyek alkalmasak fizikai sugárvédelmi (shielding) problémák becslő jellegű megoldására. A hallgatók megismerkedhetnek a MicroShield nevű programmal. A bonyolultabb problémák megoldása érdekében a hallgatók elsajátítják az MCNP nevű, világviszonylatban elismert, Monte-Carlo alapú, csatolt neutron-gamma-elektron részecsketranszport-kód használatának főbb lépéseit. A program segítségével a hallgatóknak sugárvédelmi-tervezési, és reaktorfizikai problémákat kell megoldaniuk.

*Irodalom:* A.B. Chilton, J.K. Shultis, R.E. Faw: Principles of radiation shielding. Prentice Hall, 1984, J.F. Briesmeister (ed.): MCNP4C - A general Monte Carlo N-particle transport code. LA-12625-M, Los Alamos, November, 1993.

### **Nukleáris üzemanyagciklus (3/0/0/v/3)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSc) szakon megszerezhető fizikai és magfizikai ismeretekre építve a nukleáris üzemanyagciklus egészéről kíván egységes áttekintést nyújtani az alábbi témakörökön keresztül: a nukleáris üzemanyagciklus felépítése; uránforrások és készletek; az uránércsek bányászata és feldolgozása; izotópdúsítás, fűtőelemgyártás; az atomerőművek általános műszaki jellemzői; termikus reaktorral szerelt atomerőművek; gyorsreaktorral szerelt atomerőművek; a kiegészítő üzemanyag kezelése, újrafeldolgozása; reprocesszási technológiák; a radioaktív hulladékok kezelése és elhelyezése; transzmutáció; biztonsági kérdések; lehetséges nukleáris üzemanyagciklusok; nyílt üzemanyagciklus; zárt üzemanyagciklus; az atomerőművek üzemanyag-gazdálkodási jellemzői; összetett atomenergia-rendszerek; szimbiotikus atomerőmű-rendszerek üzemanyag-gazdálkodási jellemzői; atomerőművek fejlesztési irányai.

*Irodalom:* Dr. Csom Gyula: Atomerőművek üzemtana, II/1. kötet, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004, Dr. Csom Gyula: Atomenergia rendszerek nukleáris üzemanyag-ciklusának továbbfejlesztési lehetőségei, Akadémiai Kiadó, 1988.

### **Radioaktív anyagok terjedése környezeti és biológiai rendszerekben (2/2/0/v/4)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető környezetfizikai és nukleáris fizikai alapismeretekre épít. Ismerteti a radioaktív anyagoknak a környezeti közegekben, valamint a növényi, állati és emberi szervezetben lezajló átviteli folyamatait. Témakörök: radioaktivitás megjelenése a környezetben – forrástagok jellemzői. Sztatikus és dinamikus transzportszámítások, modellek. Radioaktivitás terjedése a levegőben, felszíni vizekben, talajban, geológiai rendszerekben. Biológiai transzportfolyamatok.

*Irodalom:* D. Petruzzelli: Migration and fate of pollutants in soils and sub-soils, (NATO ASI Series G. Ecological Sciences Vol. 32.), Kanyár B.: Radioökológia és környezeti sugárvédelem (Veszprém, 2000.), Letölthető jegyzetek a Nukleáris Technikai Intézet internetes oldaláról. / Downloadable lecture outlines from the web site of the Institute of Nuclear Techniques.

### **Radioaktív hulladékok biztonsága (3/0/1/v/4)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető sugárvédelmi alapismeretekre épít. Ismerteti a radioaktív hulladékokra vonatkozó szabályzást, bemutatja a radioaktív hulladék biztonságos kezelésének hangsúlyos kérdéseit. Témakörök: a radioaktív hulladékokra vonatkozó nemzetközi és magyarországi szabályzás elvei és gyakorlata, a radioaktív hulladék feldolgozásának, immobilizálásának és biztonságos elhelyezésének a biztonság szempontjából különösen fontos részletei, egyes hulladékfajták újrahasznosítása, hulladék-analízis.

*Irodalom:* Ormai P.: A radioaktív hulladékok elhelyezésének lehetőségei Magyarországon (RHK kht.) 2002, Choppin, G. R. and Rydberg, J.. Nuclear Chemistry.(New York: Pergamon Press 1996), Letölthető jegyzetek a Nukleáris Technikai Intézet internetes oldaláról. / Downloadable outlines from the web site of the Institute of Nuclear Techniques.

### **Radioanalitika (2/0/3/v/5)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető radiokémiai ismeretekre építve a radioanalitika alapjait tárgyalja az alábbi témakörökben: radioaktív izotópok elemzése radiokémiai elválasztási eljárások és nukleáris mérés-technikai módszerek segítségével, nukleáris módszerek alkalmazása az elem- és anyagvizsgálatokban és az anyagszerkezet-vizsgálatokban. A laboratóriumi gyakorlaton a hallgatók „nehezen mérhető” radioizotópok (urán és transzurán izotópok, stroncium-90 stb.) elemzési módszerét sajátítják el.

*Irodalom:* G. Choppin, J.O. Liljenzin, J. Rydberg: Radiochemistry and Nuclear Chemistry (Reed Educational and Professional Publishing Ltd., Oxford, 1996), K.H. Lieser: Nuclear and Radiochemistry (Wiley-VCH, Berlin, 2000).

### **Radiológiai technikák fizikai alapjai (3/0/0/v/4)**

A tárgy keretében a hallgatók az orvosi gyakorlatban alkalmazott radiológiai képalkotó eljárások fizikai alapjait ismerik meg. A tárgy fő témakörei a következők: Orvosi képalkotáshoz használt sugárforrások jellemzői, a sugárzások anyaggal való kölcsönhatása, a sugárzásdetektálás fizikája és modellezése, a képalkotás fizikai modellezése, a kép leírása, képjellemzők, képalkotó eljárások, projekciós radiológia, tomográfiai technikák fizikai alapjai. A tárgy keretében bemutatjuk a CT, SPECT és PET technikák fizikáját, valamint a radiológiai technikák tendenciáját, fejlődését (több funkciót egyidejűleg megvalósító vizsgálati eljárások terjedését) is. A tárgyat a képfeldolgozási algoritmusok alapjaival zárjuk.

*Irodalom:* W.R. Hendee, E.R. Ritenour: Medical Imaging Physics, Wiley-Liss, 2002 (fourth edition).

### **Reaktorszabályozás és műszerezés (2/0/1/v/3)**

Elsősorban atomerőművi műszerezettséget ismertetjük, a hőmérséklet, nyomás, rezgés és nukleáris érzékelőktől a mérőláncokon keresztül a teljes mérés megvalósításig, majd a jelek feldolgozását, a biztonsági filozófiákat, a szabályozás alapelemeit beleértve a kettő a háromból elvet, valamint a függetlenség elvét, majd a nemzetközileg elfogadott osztályozásokat és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlásait, a hatósági előírásokat, az ember gép kapcsolatot, az atomerőművi vezénylő kialakításának kérdéseit. Részletesen tárgyaljuk az atomerőművi korszerű mérőrendszereket (VERONA, C-PORCA, PDA, zónadiagnosztika, idegentest detektálás, szivárgásellenőrző rendszerek, akusztikus emissziós rendszerek, akusztikus detektáló rendszerek, öregedésvizsgáló rendszerek), és a várható fejlődési trendeket (vezeték nélküli mérőrendszerek, mérőszoftver megbízhatóság-ellenőrzése, kiértékelő és mesterséges intelligenciát használó operátorsegítő rendszerek).

*Irodalom:* Atomerőművi műszerezés (összeáll. Pór G. a MŰSZ alapján), IAEA TECDOC 3789, és 4568.

### **Röntgen- és gamma spektrometriai módszerek (2/0/0/v/2)**

Röntgen és gammaforrások: röntgensövek, radioaktív izotópok mint röntgen- és gammaforrások, szinkrotronok. Röntgen/gammasugárzás és anyag kölcsönhatásai: fényelektromos jelenség, szórási jelenségek, reflexió, polarizáció, fékezési sugárzás, párkeltés, abszorpció. Röntgen és gammadetektorok: gáztöltésű, szcintillációs, félvezető és szupravezető detektorok működése, méréstechnikai tulajdonságaik, röntgen és gamma spektroszkópiai alkalmazásaik. Hatásfok és válaszfüggvény. Energiadiszperzív röntgen- és gammaspektrumok szerkezete, kiértékelésük elvi matematikai módszerei, számítógépes kiértékelő szoftverek. Korrekciós eljárások: holtidő, ko-incidencia, önabszorpció. Röntgendiffrakció és röntgenoptika elemei: Bragg-reflexió, kristálytípusok, hullámdiszperzív röntgenspektrométerek, rácsok, multi-rétegek, röntgensugarak fókuszálása, görbített kristályok, kapilláris lencsék, zónalemez, szűrők, monokromálási módszerek. Karakterisztikus röntgenvonalak intenzitása: ionizációs valószínűség, fluoreszcencia hozam, abszorpciós él, abszorpciós függvények. Mátrix effektus és másodrendű gerjesztési folyamatok. A REA empirikus módszerei: standard minták, hígítós és addíciós kalibráció, belső standard, vékony réteg, emisszió-transzmisszió és szűrő módszerek. A REA matematikai módszerei: koncentráció-számítási modellek, alapvető paraméterek módszere. Mintakészítési eljárások. Speciális röntgenalitikai módszerek: röntgenmikroszkópia, totálreflexiós röntgenspektrometria (TXRF), kapilláris mikronyaláb technika, elektronsugaras mikroanalízis (EPMA), részecske indukált röntgenfluoreszcencia analízis (PIXE). A REA felhasználási lehetőségei: biológiai, geológiai, bányászati, ipari és környezetvédelemi alkalmazások. Abszorpciós röntgenspektrometria:

az abszorpciós függvény távoli- és él-közeli finomszerkezete, kísérleti lehetőségek, alkalmazások a kémiai és biológiai szerkezetkutatásban. A gammaspektroszkópia alkalmazásai.

### **Sugárvédelem 2 (2/0/2/v/4)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető sugárvédelmi és nukleáris fizikai ismeretekre építve a környezetben előforduló természetes és – adott esetben – mesterséges eredetű, általában kis mennyiségű radioaktív anyagoktól származó külső és belső sugárterhelés mérésével és számítással történő meghatározásait mutatja be. Témakörök: dóziszfogalmak részletes elemzése, az egyes fogalmak speciális problémái (KERMA és elnyelt dózis, egyenértékűdózis és effektív dózis sztochasztikus hatások értékelésére), dózis/kockázat-alapú sugárvédelmi szabályzási rendszer, dózis- és dózisteljesítmény mérési elve és kivitelezése, belső sugárterhelés számítása, nukleáris analízis alkalmazása a belső sugárterhelés meghatározásában, összetett sugárvédelmi mérések: radonanalízis, környezeti monitorozás.

*Irodalom:* Köteles Gy.: Sugáregészségtan (Medicina, Budapest, 2002.), Kanyár B.: Radioökológia és környezeti sugárvédelem (Veszprém, 2000.), Letölthető jegyzetek a Nukleáris Technikai Intézet interenetes oldaláról. / Downloadable lecture outlines from the web site of the Institute of Nuclear Techniques.

### **Szimulációs technika (2/0/1/f/4)**

A tantárgy nukleáris energetikai ismeretek oktatásában és az atomerőművi gyakorlatban használatos szimulációs programok fejlesztéséhez szükséges ismereteket foglalja össze az alábbi tematika szerint: szimulációs alapelvek, valós idejű, interaktív szimulátorok tervezése, felépítése; közönséges differenciálegyenletekkel leírható rendszerek modellezési technikái; numerikus módszerek differenciálegyenletek valós idejű integrálására, szimulátor interface tervezése; szoftverkövetelmények, operációs környezet; atomerőművi szimulátorok fajtái; reaktorkinetikai folyamatok modellezése, szimulációja; nyomottvízes atomerőmű primerkörüli folyamatainak szimulációja; atomerőművi főberendezések szimulációja.

*Irodalom:* Dr. Csom Gyula: Atomerőművek üzemtana, II/1. kötet, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004, Fehér S., Aszódi A., Csom Gy.: A PC<sup>2</sup> v4.0 primerkörüli szimulátor fizikai és matematikai modelljének leírása; BME-NTI-241/1999; BME Nukleáris Technikai Intézet, Budapest, 1999.

### **Transzportelmélet alapjai (4/0/0/v/4)**

Statisztikus fizika alapok. Klasszikus leírás, kvantumos leírás. Fázistér, konfigurációs tér, állapottér. Állapotegyenlet. Autonóm rendszerek viselkedése. Stabilitás. Mérés. Kölcsönhatások jellemzése. Megfigyelhető mennyiségek. Lineáris válasz. Boltzmann-féle transzportegyenlet. Statisztikai leírás. Maszter-egyenlet. Kolmogorov-egyenletek. Megmaradó mennyiségek. Hidrodinamikai egyenletek. Transzport jelenségek. A Boltzmann-egyenlet megoldásai. Hilbert-sorfejtés, Chapman-Enskog- módszer. Koordinátázás. Aszimptotikus elmélet. Az egyensúlyi eloszlás. Hidrodinamikai egyenletek korrekciója: statisztikus dinamika modell. Információelmélet. Entrópia definíciók. Numerikus módszerek. Sn módszer, Pn módszer. Monte-Carlo módszer. Molekuláris dinamika. A neutronszórás alapjai. Anyagvizsgálat neutronokkal. A közéleti módszerek minősítése. Egyenlet szimmetriái. Eljárások. A plazma fizika alapegyenletei. Kísérleti technikák: neutronspektroszkópia, pordiffrakció, kisszögű szórás, radiográfia.

*Irodalom:* J. J. Duderstadt, W. R. Martin: *Transport Theory*, Wiley, 1979. K. Huang: *Statistical Mechanics*, Wiley, 1963. G. I. Bell, S. Glasstone: *Nuclear Reactor Theory*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1970

### **Ütközéses transzport mágnesezett plazmákban (1/2/0/f/4)**

A tantárgy a *Collisional transport in magnetized plasmas* című könyv első 11 fejezetére épül. A bevezető fejezet után a könyv a fizika alaptörvényeiből kiindulva építi fel a mágnesezett forró plazmák ütközéses klasszikus és neoklasszikus transzportelméletét. A tárgy a könyv fejezetei-

nek megvitatása mellett a témához kötődő feladatok megoldását is célul tűzte ki. Mindez nagyban elősegíti, hogy a tányrat hallgatók ne csak a tokamakokban előforduló neoklasszikus jelenségek értelmezéséig jussanak el, de önállóan használni is tudják a plazmák kinetikus leírására kifejlesztett matematikai-fizikai módszereket.

*Irodalom:* Per Helander, Dieter J. Sigmar: *Collisional transport in magnetized plasmas*.

## **ORVOSI FIZIKA SZAKIRÁNY KÖTELEZŐEN VÁLASZTHATÓ TÁRGYAI**

### **Orvosi biológia és élettan tárgycsoport**

#### **Az orvostudományi kutatások etikai alapjai (2/0/0/v/3)**

Az orvosi tudományos kutatások etikai kérdéseinek és a kapcsolódó jogi szabályozásnak a bemutatása. Az orvos-beteg kapcsolatnak a jogrendszer kategóriái közé szorítása, polgári jogi fogalmakkal való leírása nagyon nehéz feladat, hiszen ez a jogviszony egyetlen szerződéstípusba sem sorolható be. Mégis, legközelebb a megbízási szerződéshez áll, hiszen a megbízási szerződés számos eleme megtalálható az orvos-beteg kapcsolatban is, ezért ezt a jogviszonyt általában *megbízásszerű* jogviszonyként szokták leírni. A megbízási szerződés tipikus gondossági kötelelem, tehát az orvos a gondos eljárásra, és nem valamely eredmény létrehozására vállal kötelezettséget. Jogi ismeretek. Az orvosi jogviszony elméleti alapjai. Az egészségügyi ellátórendszer működésének jogszabályi háttere. Az orvosi felelősség. A betegek jogai. Az orvosok jogai és kötelezettségei. Az szerv- és szövetátültetésekkel kapcsolatos előírások. Az emberen végzett orvostudományi kutatások szabályozása. Orvosi etika, bioetika. A hagyományos orvosi etika. Az orvosi etika és bioetika Magyarországon. A bioetika legfontosabb témái. A társadalombiztosítási jog. A társadalombiztosítási törvény felépítése. A társadalombiztosítási szolgáltatások. Biztosítási orvosi ismeretek. Az orvos felelőssége és kötelezettsége.

*Irodalom:* Kovács József: *A modern orvosi etika alapjai*. Medicina Könyvkiadó, 1999. Kőszegfalvi Erzsébet: *Egészségügyi jogi kézikönyv*. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, 1999. Dósa Ágnes: *Az orvos kártérítési felelőssége*. HVG-Orac Budapest, 2004. Ferencz Antal: *A bioetika alapjai*. Szent-István Társulat Könyvkiadó, 2001. Sótonyi Péter: *Az igazságügyi orvostan*. Semmelweis Kiadó, 2005.

#### **Funkcionális anatómia alapjai (4/0/0/v/4)**

Műszaki alapképzettségű hallgatók számára nyújt alaptárgyi bevezetőt. Az anatómia a képzés természetes alapja, az emberi test funkcionális szemléletű bemutatása. A program 14x4 órában, egymásra épülő logikával tárgyalja a szervrendszerek (vázlatos) fejlődését, makro- és mikroszkópos funkcionális morfológiáját és életszerű példákkal utal a diagnosztika, gyógyítás, rehabilitáció, munkaélettan és sportorvoslás, valamint az ergonómia és bionika alapjaira. Bevezető, a funkcionális anatómia szemlélete. Általános egyedfejlődés. Csonttan. Az ízületek funkcionális anatómiája. Csontfejlődés, sérülések, rehabilitáció. A vázizomzat funkcionális anatómiája. Keringés I. – A szívműtétek és rehabilitáció. Keringés II. – A nagyvérkör, nyirokkeringés. A légzőrendszer. Az emésztőrendszer. Az urogenitális rendszer. Az idegrendszer fejlődése és makroszkópiás leírása. A gerincvelő funkcionális szerkezete. Az agytörzs és agyidegek. A köztiagy, látó- és hallórendszer, neuroendokrin szabályozás. A testtartás és az adaptív mozgásszabályozás. A féltekék funkcionális anatómiája.

*Irodalom:* A kiadott, ill. hálózaton hozzáférhető előadásvázlatok (handoutok) és ábraanyag (ált. Power Point formátum); Szentágothai-Réthy: *Funkcionális Anatómia I-III*. hivatalos tankönyv. Sobotta: *Az ember anatómiájának atlasza I-II*.

#### **Sugárbiológia (2/1/0/v/3)**

A kurzus célja, hogy megismertesse az ionizáló sugárzás szervezeti és sejtszintű hatásait, elemezze azokat a folyamatokat, amelyek az egészséges és daganatos sejtek túlélését, halálát befo-

lyásolják. Ez elősegíti annak megértését, hogy egy adott sugárdózis az egyik esetben miért indukál daganatot, míg más esetben miért pusztítja el a daganatos sejteket. A sugárbiológiai ismeretanyag segítségével olyan új terápiás modalitások dolgozhatók ki, amelyekkel növelhető a daganatos betegek túlélési esélye. A sugárbiológia segítségével érthetjük meg, hogy hogyan és miért használhatjuk az ionizáló sugárzást az egészséges és kóros sejtstruktúra és funkció vizsgálatára, a különböző betegségek diagnózisára

*Irodalom / Literature:* Hall E.J and Giaccia A.J.: Radiobiology for the Radiologist. Lippincott, Williams & Wilkins, Philadelphia, USA, 6th. Joiner M. and van der Kogel A. (editors): Basic Clinical Radiobiology, Hodder Arnold, London, UK, 4th edition 2009. Köteles Gy. (szerk.) Sugáregészségtan. Medicina Kiadó, Budapest, 2002.

## **Fizikai módszerek az orvosi terápiában tárgycsoport**

### **Brachyterápia (2/0/0/v/2)**

A tantárgy célkitűzése a közelbesugárzás (brachyterápia) dozimetriai alapfogalmainak, készülékeinek és kezelési módszereinek az ismertetése. A témakörök részletes tárgyalása: I. Sugárfizikai ismeretek: az alkalmazott sugárforrások fizikai tulajdonságai, dozimetriai alapfogalmak, forráserősség, bomlási törvény, a dózisszámolás alapjai, TG 43 formalizmus. II. Dozimetriai rendszerek: intersticiális (Manchester, Quimby, Paris) és intrakavitális (Manchester, Fletcher, Stockholm) rendszerek szabályainak és tulajdonságainak ismertetése. III. Számítógépes dozimetria: forráslokalizációs módszerek, metszetképalkotó eljárásokon alapuló 3D-s besugárzás-tervezés, dózis-térfogat hisztogramok, tervkiértékelések. IV. Kezelési technikák: manuális módszerek és utántöltés (afterloading) eljárások. V. Brachyterápiás dóziszjelentések: dóziselőírás, kezelési paraméterek rögzítése és jelentése, GTV, CTV, PTV, ICRU Report 38 és 58. VI. Minőségbiztosítás: forráskalibrálás, elfogadási tesztek, forráspozíció ellenőrzés, rendszeres ellenőrzések.

*Irodalom:* A. Gerbault, R. Pötter, J.J. Mazon, H. Meertens, E. van Limbergen (Editors). The GEC ESTRO Handbook of Brachytherapy. ESTRO Physics Booklet No. 8. A practical guide to quality control of brachytherapy equipment.

### **Minőségbiztosítás és jogi szabályozás (2/0/1/v/3)**

A sugárterápiában, a röntgen diagnosztikában és a nukleáris medicinában alkalmazott minőségbiztosítási vizsgálatok (átvételi, állapot- és állandósági vizsgálatok) és eszközök megismertetése a hallgatókkal. A minőség fogalma. A minőségbiztosítással kapcsolatos szabványok és jogszabályok. Röntgenterápiás, teleterápiás és brachyterápiás berendezések valamint a hagyományos és CT szimulátorok minőségbiztosítása, napi, heti, havi és éves minőség-ellenőrzése. A tervezőrendszerek minőségbiztosítása /minőségellenőrzése. A mérendő paraméterek és tűréshatáraik. A nem-invazív mérések elvei és eszközei. Az egyes vizsgálatfajták eszközsüksége. Az eredmények értékelése. Különböző röntgenmunkahelyek minőségellenőrzése (felvételi, átvilágító, CT, mammográfiás, angiográfiás és intervenciós). Páciensdózis-mérések. A sugárterápia, röntgendiagnosztika és nukleáris medicina nemzetközi és hazai jogi szabályozása.

*Irodalom:* W.P.M. Mayles at al.: Physics Aspects of Quality Control in Radiotherapy (IPEM 81), 1999. Recommended standards for the routine performance testing of diagnostic X-ray imaging systems. IPEM Report No. 77, 1997. Quality Assurance for PET and PET/CT System, IAEA, Human Health Series No 1., 2009

### **Sugárvédelem 2 (2/0/2/v/4)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon megszerezhető sugárvédelmi és nukleáris fizikai ismeretekre építve a környezetben előforduló természetes és – adott esetben – mesterséges eredetű, általában kis mennyiségű radioaktív anyagoktól származó külső és belső sugárterhelés méréssel és számítással történő meghatározásait mutatja be. Témakörök: dóziszfogalmak részletes elemzése, az egyes fogalmak speciális problémái (KERMA és elnyelt dózis, egyenértékű dózis és



effektív dózis sztochasztikus hatások értékelésére), dózis/kockázat-alapú sugárvédelmi szabályzási rendszer, dózis- és dózisteljesítmény mérési elve és kivitelezése, belső sugárterhelés számítása, nukleáris analízis alkalmazása a belső sugárterhelés meghatározásában, összetett sugárvédelmi mérések: radonanalízis, környezeti monitorozás.

*Irodalom:* Köteles Gy.: Sugáregészségtan (Medicina, Budapest, 2002.), Kanyár B.: Radioökológia és környezeti sugárvédelem (Veszprém, 2000.), Letölthető jegyzetek a Nukleáris Technikai Intézet interenetes oldaláról. / Downloadable lecture outlines from the web site of the Institute of Nuclear Techniques.

### **Sugárterápia fizikai alapjai (2/0/2/v/4)**

A tantárgy célkitűzése, hogy a sugárterápiához kapcsolódó orvosfizikai fogalmakat, mérés-technikai problémákat és a besugárzás-tervezéshez kapcsolódó kérdéseket megismertesse a hallgatókkal. A témakörök részletes tárgyalása: az anatómiai adatok meghatározásának módjai (CT, MRI, PET), fontosabb besugárzási technikák (teleterápia, brachyterápia), a sugárterápiában használt sugárforrások (klasszikus röntgen berendezések, kobalt ágyúk, lineáris gyorsítók, radioaktív izotóp sugárforrások, afterloading készülékek). A teleterápiában használt eszközök sugárzási terének leírása, fontosabb mérési eljárások (ionizációs kamrák, szilárdtest detektorok (film és termolumineszcens dozimetria)), mezőmódosító eszközök hatásának mérése (külső ék, dinamikus ék, blokk, MLC). A brachyterápia célja, a sugárforrások fajtái és alkalmazásuk módszerei. Terápiás tervek ellenőrzése, a besugárzási tervezés követelményei az ICRU ajánlása szerint. Minőségbiztosítás, minőségellenőrzés, a tele- és brachyterápiás eszközök biztonságtechnikája, sugárvédelem és sugárbiológia a sugárterápiában.

*Irodalom:* E. B. Podgorsak „Review of Radiation Oncology Physics Educational Report Ser. IAEA Vienna, Austria, 2003. Khan F, The Physics of Radiation Therapy 2nd ed., Williams & Wilkins, 1994.

### **Sugárterápia 2 (2/0/0/v/2)**

A tantárgy célkitűzése: a sugárterápia speciális készülékeinek és kezelési módszereinek megismertetése a hallgatókkal.

A témakörök részletes tárgyalása: három témakör kerülne bemutatásra. (I) Sztereotaxiás agyi sugáresebészet és extracraniális sztereotaxia fizikai alapjai, a kezelési módszerek, metszetképalakító eljárásokon alapuló 3D-s besugárzástervezés, dozimetriája és minőségbiztosítása. (II) A képvezérelt (IGRT) és biológiailag vezérelt intenzitásmodulált sugárterápia (IMRT) besugárzástervezése és ellenőrzése független számolási algoritmussal, dozimetriai és minőségbiztosítási kérdések megvitatása. Kis mezők dozimetriája. Képvezérelt sugárterápia megvalósításának lehetőségei, a cone beam CT alkalmazásának feltételei. (III) Teljes bőr elektronsugárzás bemutatása dozimetriai és sugárbiológiai szempontok alapján.

*Irodalom:* T. Bortfeld, R. Schmidt-Ullrich, W. De Neve, D. E. Wazer (Editors). Image-Guided IMRT, Springer 2006.

## **Fizikai módszerek az orvosi diagnosztikában tárgycsoport**

### **Bevezetés az optikába (2/1/0/v/3)**

A tantárgy a BSc szakon optikát nem végzett MSc hallgatók számára bevezető, a BSc elektrodinamikára épít. Fő témakörei: fénymodellek, transzmisszió, reflexió, geometriai/paraxiális optika, interferencia, vékonyrétegek, diffrakció, optikai rács, polarizáció, terjedés anizotróp közegben, hullámvezetők, fény és anyag kölcsönhatása, abszorpció, emisszió, lézerműködés, koherencia, elektro- és akusztó-optika.

*Irodalom:* Richter Péter: Bevezetés a modern optikába I., Műegyetemi Kiadó, 2000.

### **Lézerek gyógyászati alkalmazásának fizikai alapjai (2/0/0/v/2)**

A tárgy számot kíván adni azon fizikai jelenségekről, amelyek a lézerhatás keletkezésében szerepet játszanak. A lézersugárzás térbeli és időbeli tulajdonságainak kialakítását és transzformációját elemzi. A lézersugárzás és anyag kölcsönhatásának alapján bemutatja az orvosi alkalmazás lehetőségét. Végül megismerteti a hallgatót a lézerek leggyakoribb orvosi alkalmazásával.

### **Mágneses rezonancia és klinikai alkalmazásai (2/0/0/v/2)**

Általános elvek, a mágneses rezonancia (MRI) matematikája, spinfizika, NMR-spektroszkópia, Fourier-transzformáció, a képalkotás elvei, a képalkotás alapvető módszerei, az MRI-leképezés hardverelemei, az MRI-kép megjelenítése, képalkotási hibák, különleges képalkotási módszerek, impulzus szekvenciák, a különböző szekvenciák klinikai alkalmazások, biztonságtechnika és környezeti kérdések.

*Irodalom:* Catherine Westbrook, Carolyn Kaut Roth, and John Talbot, MRI in Practice (3rd Edition), Wiley-Blackwell, 2005

### **Mikroszkópia (2/0/0/f/2)**

1. A mikroszkóp története, az összetett optikai mikroszkóp kialakulása. A modern mikroszkópi-ai technikák rövid áttekintése, osztályozása. 2. Az optikai mikroszkóp geometriai optikai alapjai. A képalkotás Abbe féle elmélete. A mikroszkóp feloldóképességének becslése a diffrakcióelmélet alapján. 3. Az összetett optikai mikroszkóp felépítése, a leképező rendszer és a megvilágító rendszer szerepe. Az objektív és az okulár specifikus tulajdonságai. Az immerziós-folyadék szerepe. 4. A leképezés hibái, fényerő, mélység-élesség. Az optikai tervezés szempontjai, módszerei. 5. Megvilágítási technikák: rekeszlapok, ferde megvilágítás, sötét látóterű megvilágítás, 3D kon-denzor, mintaelőkészítés. 6. Fáziskontraszt eljárás és a polarizációs mikroszkóp – fizikai optikai háttér és megvalósítás. 7. Optikai mikroszkóp használata – gyakorlat. 8. A felbontás növelésének elvi és gyakorlati korlátai. 9. A látott illetve rögzített kép kiértékelése, optikai és számítógépes képfeldolgozási módszerek. 10. A mikroszkópia újabb irányzatainak áttekintése: konfokális, Röntgen, UV, fluoreszcens, sokfotonos, optikai mikroszkópok, elektronmikroszkópok, atomi erő mikroszkóp és alagútmikroszkóp. 11. Konfokális és sokfotonos mikroszkópok tárgyalása, paraméterei, mintakészítés. 12. Pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópok valamint analitikai elektronmikroszkópok tárgyalása, paraméterei, mintakészítés. 13. Pásztázó elektronmikroszkóp gyakorlati megismerése. 14. Alagút, atomerő és egyéb pásztázó mikroszkópok tárgyalása, paraméterei.

### **Monte Carlo módszerek (2/1/0/f/4)**

Egyenletes eloszlású véletlen számok generálása. Multiplikatív, kongruenciális és egyéb algoritmusok. A véletlenszám-sorozat aperiódikus szakasza és periodicitása. Véletlen számok statisztikai vizsgálata. Illeszkedésvizsgálat, függetlenségi próba, I<sup>2</sup>-, Kolmogorov-próba. Empirikus próbák egyenletes eloszlású véletlen számok vizsgálatára. Speciális eljárások nem egyenletes eloszlású véletlen számok generálására. Normális, exponenciális-, gamma-, béta- és Poisson-eloszlású változók generálása. Hatványfüggvényekkel leírható eloszlások mintavételezése. Véletlen vektorok generálásának módszerei. Térben izotróp irányeloszlás generálásának speciális eljárásai. Adott valószínűségű diszkrét események szimulálása Monte Carlo módszerrel. Eljárások a szimuláció gyorsítására. Folytonos eloszlású események szimulálása Monte Carlo módszerrel. Általános algoritmusok adott eloszlásból történő mintavételezésre. Inverz-eloszlás, elfogadás-elvetés, táblázatos, kompozíciós módszer. Az elfogadás-elvetés módszer általánosítása. Szórás-csökkentő eljárások a részecske-transport szimulációjánál. A statisztikai súly, az orosz rulett és a trajektóriák felhasználásának módszere.

*Irodalom:* Szobol, I.M.: *A Monte-Carlo módszerek alapjai*, Műszaki Könyvkiadó, 1981. Lux I., Koblinger K.: *Monte-Carlo Particle Transport Methods*, CRC Press, 1991.

### **Neutron- és gammatranszport számítási módszerek (2/2/0/v/5)**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSc) szakon a „Reaktorfizika” tárgy keretében megszerzett ismeretek gyakorlati alkalmazását segíti. A tárgy előadásain és gyakorlatain először egyszerű, gyorsan megoldható problémákon keresztül mutatunk be olyan közelítő számítási eljárásokat, melyek alkalmasak fizikai sugárvédelmi (shielding) problémák becslő jellegű megoldására. A hallgatók megismerkedhetnek a MicroShield nevű programmal. A bonyolultabb problémák megoldása érdekében a hallgatók elsajátítják az MCNP nevű, világviszonylatban elismert, Monte-Carlo alapú, csatolt neutron-gamma-elektron részecsketranszport-kód használatának főbb lépéseit. A program segítségével a hallgatóknak sugárvédelmi-tervezési, és reaktorfizikai problémákat kell megoldaniuk.

*Irodalom / Literature:* A.B. Chilton, J.K. Shultis, R.E. Faw: Principles of radiation shielding. Prentice Hall, 1984, J.F. Briesmeister (ed.): MCNP4C - A general Monte Carlo N-particle transport code. LA-12625-M, Los Alamos, November, 1993.

### **Nukleáris medicina (2/0/1/v/3)**

A tárgy rövid tematikája a következőképpen foglalható össze: A nukleáris medicina módszereinek rövid, összefoglaló, történeti elemeket is tartalmazó áttekintése; magfizikai folyamatok, kölcsönhatási mechanizmusok összefoglalása. A gamma-kamera (Anger-kamera) működési elve, szcintillációs anyagok, fotomultiplierek, a gamma-kamera megvalósítási módjai, kollimációs technikák. Izotópdiaosztika gamma-kamerás síkleképezéssel: alkalmazott forrástípusok, hatások, elérhető képparaméterek, zajforrások, vizsgálati célok. A SPECT elve, kivitelezésének módjai, képminőséget befolyásoló tényezők, alkalmazási irányok. A PET elve, kivitelezésének módjai, képminőséget befolyásoló tényezők, alkalmazási irányok. A PET alkalmazásához szükséges izotópok előállítása gyorsítóknak, az izotópok bemérése, használatra történő előkészítése. A SPECT és PET CT-vel való kombinálhatósága, ennek előnyei, elérhető képjellemzők. Képrekonstrukciós módszerek, alkalmazhatóságuk, előnyök, hátrányok. PET/SPECT berendezések modellezése Monte Carlo módszerrel. Páciens dózis és dózisellenőrzés. Sugárvédelem az izotópdiaosztikában, baleseti eljárások.

*Irodalom:* M. N. Wernick and J. N. Aarsvold, Emission Tomography: The Fundamentals of PET and SPECT. Elsevier 2004. D. L. Bailey et al. Positron Emission Tomography. Springer-Verlag London Limited 2005.

### **Orvosi képalkotás (3/1/0/v/4)**

A tantárgy célkitűzése az orvosi képalkotás matematikai és informatikai eszköztárának megismertetése a hallgatókkal. A tantárgy tematikája: a kép fogalma, matematikai leírása, a képminőség jellemzése (Kontraszt, geometriai felbontás, zaj, detektálási kvantumhatásfok, jel-zaj viszony, MTF), képalkotási módszerek: transzmissziós, emissziós, gerjesztett technikák, a modalitások vázlatos bemutatása (CT, ultrahang, MRI, PET, SPECT), Sugárterek szimulációja, fizikai és matematikai modellezés, matematikai és fizikai fantomok, lineáris rendszerek. Fourier transzformált és képfeldolgozás, a 2D vetítés, tomográfia, radon-transzformáció, szűrt visszavetítés. Iteratív rekonstrukciós módszerek (ML-EM, OSEM, ). Korrekciós tényezők, a tomográfias rekonstrukció gyakorlata. Multimodalitású rendszerek, regisztráció, szegmentáció, fúzió. Képarchiváló és kommunikációs rendszerek, képtömörítés, DICOM szabván

*Irodalom:* Frank Natterer, Frank Wübbeling:, Mathematical Methods in Image Reconstruction, SIAM, 2001. B. Bendriem, D.W.Townsend: The Theory and practice of 3d pet, Springer 1998.

### **Röntgendiagnostika fizikai alapjai (2/0/1/v/3)**

Röntgensugárzás és anyag kölcsönhatási jelenségei: fényelektromos jelenség, rugalmas szórás, Compton-jelenség, röntgensugarak reflexiója, polarizáció, fékezés sugárzás keletkezése és tulajdonságai, párkeltés folyamata, abszorpciós jelenségek. Röntgenforrások: röntgenszó, röntgengenerátor, radioaktív izotópok, szinkrotron. Röntgendetektorok: film, fluoreszcens ernyők, gáztöltésű, szcintillációs és félvezető detektorok, mátrixdetektorok, mérés technikai tulajdonsá-

gaik, hatásfok- és válaszfüggvény, holtidő, koincidencia. Röntgennyaláb abszorpciója, szűrők, röntgenoptikai elemek, megjelenítő eszközök. Radiológiai képalkotás elemei: nagyítás, szórásszerepe a zaj keletkezésében, kontraszt, felbontás, műtermékek. Dual energy X-ray absorptiometry technika. Komputer tomográfia általános mérési geometriái, parallel és cone beam geometria. A CT mechanikai elemei, detektorai, kollimálás, szűrés. Rekonstrukciós eljárások: matematikai alapok, Fourier-féle vetítési tétel, szűrt vetítés, szűrt vissza-vetítési eljárás, algebrai algoritmusok, térbeli és kontraszt feloldás, a leképezés és rekonstrukció hibái. Reflexiós tomográfia, párhuzamos és legyező vetítési technika rekonstrukciós algoritmusai. A CT orvosi alkalmazásai: angiográfia, teljes test CT, mammográfia, fogászati alkalmazás. Dozimetriai alapfogalmak, eszközök és alkalmazásuk a röntgendiagnosztikában. A röntgensugárzás biológiai hatásai, sugárvédelem, biztonsági kérdések, minőségbiztosítás.

*Irodalom:* C. L. Epstein, *The Mathematics of Medical Imaging*, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, cle@math.upenn.ed. A.C. Kak, M. Slaney, *Principles of Computerized Tomographic Imaging*, Electronic Copy (c) 1999, New York. F. Natterer, F. Wübbeling, *Mathematical Methods in Image Reconstruction*, Society for Industrial and Applied Mathematics.

### **Spektroszkópia és anyagszerkezet (2/0/0/v/3)**

A tantárgy a B.Sc. képzés során szerzett alapismereteket (közegek elektrodinamikája, kvantummechanika, csoportelmélet, statisztikus fizika, optika, optikai mérés-technika) a spektroszkópia anyagvizsgálatra és szerkezetkutatásra való felhasználása szempontjából rendszerezi. A tárgyalt módszerek elsősorban optikai szerkezetvizsgálati eljárások (infravörös és látható/UV abszorpciós és reflexiós spektroszkópia, Raman-szórás, ellipszometria, optikai rotációs diszperzió, cirkuláris dikroizmus), de szó lesz a belső héjak, valamint az atommag gerjesztéseinek néhány esetéről is (röntgen-, fotoelektron-spektroszkópia, Mössbauer-spektroszkópia). A cél, hogy a hallgató a szerzett ismeretanyag felhasználásával adott feladatokra ki tudja választani az optimális spektroszkópiai eljárást, és értelmezni tudja a kapott eredményeket.

*Irodalom:* Kamarás Katalin: *Spektroszkópia és anyagszerkezet*. Bevezetés a modern optikába V. kötet, 11. fejezet, szerkesztő: Richter Péter, Műegyetemi Kiadó, 2000, G. R. Fowles: *Introduction to Modern Optics*. Dover, 1989, F. Wooten: *Optical Properties of Solids*. Academic Press, 1972, H. Kuzmany, *Solid State Spectroscopy, an Introduction* Springer, Berlin, Heidelberg, 1998.

### **Ultrahang diagnosztika (2/0/0/v/2)**

Az ultrahang keletkezése. Az ultrahang terjedése. Az ultrahang kölcsönhatásai. A szövetek akusztikus sajátosságai. Műszerek. Leképezési eljárások. Műtermékek és képminőség. Doppler technika. Az ultrahang leképezés klinikai alkalmazása. Az ultrahang terápiás alkalmazása. A szövetek jellemzői. Speciális technikák, pl. mikroszkópia, holográfia, tomográfia. Biológiai hatások. Az UH expozíció és a méréshez szükséges műszerek. Biztonságtechnika.

*Irodalom:* Thomas L. Szabó: *Diagnostic Ultrasound Imaging*. P. Maróti, L. Berkes, F. Tölgyesi: *Biophysics problems*. Tarnóczy Tamás: *Ultrahangok*.

# A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR VEZETÉSE ÉS HALLGATÓI KÉPVISELETE

**A Dékáni Hivatalának címe:** 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. K. épület I. em. 18.

**Dékán:** DR. PIPEK JÁNOS egyetemi docens

## **Dékánhelyettesek:**

Gazdasági: DR. LÁNGNÉ DR. LÁZI MÁRTA egyetemi docens  
Nemzetközi és tudományos: DR. KÁROLYI GYÖRGY egyetemi tanár  
Oktatási: DR. VETIER ANDRÁS egyetemi docens

## **Dékáni Hivatal:**

Hivatalvezető: ADAMIS-SZÉL VIKTÓRIA  
Titkárság: Telefon: 463-3561, Fax: 463-3560  
Gazdasági csoport: Telefon: 463-3756  
Tanulmányi csoport: Telefon: 463-1919

## **Kari Hallgatói Képviselőlet**

Elnök: KETTINGER ÁDÁM  
Cím: 1111 Budapest, Irinyi J. u. 9-11., Kármán Tódor Kollégium  
Telefon: 06-20-435-2482  
E-mail: [hk@wigner.bme.hu](mailto:hk@wigner.bme.hu)  
Web: <http://hk.wigner.bme.hu>

## **Kari lap: *Pikkász*:**

Főszerkesztő: HÉRICZ DALMA  
Szerkesztőség: 1111 Budapest, Irinyi J. u. 9-11., Kármán Tódor Kollégium  
E-mail: [pikkasz@wigner.bme.hu](mailto:pikkasz@wigner.bme.hu)  
Web: <http://karilap.blogspot.com>

# A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR INTÉZETEI ÉS TANSZÉKEI

**Fizikai Intézet** – igazgató: DR. MIHÁLY GYÖRGY akadémikus, egyetemi tanár

1111 Budapest, Budafoki út 8. F épület, III. lh., mf. 5.

Telefon: 463-4107, Fax: 463-3567

**Atomfizika Tanszék** – tanszékvezető: DR. RICHTER PÉTER egyetemi tanár

1111 Budapest, Budafoki út 8. F épület, III. lh., mf. 44.

Telefon: 463-4193, Fax: 463-4194

**Elméleti Fizika Tanszék** – tanszékvezető: DR. SZUNYOGH LÁSZLÓ egyetemi tanár

1111 Budapest, Budafoki út 8. F épület, III. lh., mf. 5.

Telefon: 463-4107, Fax: 463-3567

**Fizika Tanszék** – tanszékvezető: DR. HALBRITTER ANDRÁS egyetemi docens

1111 Budapest, Budafoki út 8. F épület, III. lh., II. em. 16.

Telefon: 463-2312, Fax: 463-4180

**Kognitív Tudományi Tanszék** – tanszékvezető: DR. RACSMÁNY MIHÁLY egyetemi docens

1111 Budapest, Egry József utca 1. T épület, V. em. 506.

Telefon: 463-1273, Fax: 463-1072

**Matematika Intézet** – igazgató: DR. HORVÁTH MIKLÓS egyetemi tanár

1111 Budapest, Egry József utca 1. H épület, III. em. 312.

Telefon: 463-2762, Fax: 463-2761

**Algebra Tanszék** – tanszékvezető: DR. RÓNYAI LAJOS akadémikus, egyetemi tanár

1111 Budapest, Egry József utca 1. H épület, V. em. 504.

Telefon: 463-2094, Fax: 463-1780

**Analízis Tanszék** – tanszékvezető: DR. HORVÁTH MIKLÓS egyetemi tanár

1111 Budapest, Egry József utca 1. H épület, II. em. 25.

Telefon: 463-2324, Fax: 463-3172

**Differenciálegyenletek Tanszék** – tanszékvezető: DR. ILLÉS TIBOR egyetemi docens

1111 Budapest, Egry József utca 1. H épület, IV. em. 42.

Telefon: 463-2140, Fax: 463-1291

**Geometria Tanszék** – tanszékvezető: DR. G. HORVÁTH ÁKOS egyetemi docens

1111 Budapest, Egry József utca 1. H épület, II. em. 22.

Telefon: 463-2645, Fax: 463-1050

**Sztochasztika Tanszék** – tanszékvezető: DR. SIMON KÁROLY egyetemi tanár

1111 Budapest, Egry József utca 1. H épület, V. em. 507.

Telefon: 463-1101, Fax: 463-1677

**Nukleáris Technikai Intézet** – igazgató: DR. ASZÓDI ATTILA egyetemi tanár

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 7-9. R épület, III. em. 317/2/B

Telefon: 463-2523, Fax: 463-1954

**Atomenergetika Tanszék** – tanszékvezető: DR. SZALÓKI IMRE egyetemi docens

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 7-9. R épület, III. em. 317/2/B

Telefon: 463-2523, Fax: 463-1954

**Nukleáris Technika Tanszék** – tanszékvezető: DR. CZIFRUS SZABOLCS egyetemi docens

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 7-9. R épület, III. em. 317/2/B

Telefon: 463-2523, Fax: 463-1954