



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



**2019**

# 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 múltra 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 segítség 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. HORVÁTH MIKLÓS  
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 az alábbi négy specializáció választható:

- A *Nanotechnológia és anyagtudomány specializáción* a hallgatók megismerik a korszerű anyagok viselkedését az atomi skálától makroszkopikus méretekig, illetve modern nanofabrikációs és anyagvizsgálati módszereket sajátítanak el.
- Az *Optika és fotonika specializáción* hallgatóink megismerik a modern optika, optoelektronika, és lézerfizika elméleti és kísérleti alapjait, és betekintést nyernek ezek alkalmazási területeibe. A hallgatói laboratóriumok, és a diplomamunka során a hallgatók akadémiai és ipari környezetben végeznek önálló kutató-fejlesztő munkát, mellyel elmélyítik és a gyakorlatban is alkalmazzák ismereteiket. Az itt megszerzett tárgyi tudás, innovációs és problémamegoldó készségek és tervező-fejlesztő ismeretek a végzeteknek kiváló elhelyezkedési lehetőséget biztosítanak a Magyarországon és világszerte is dinamikusan növekvő fotonikai ágazatban, akár az ipari kutatás-fejlesztés, akár az alapkutatás vagy a felsőoktatás területén.
- A *Kutatófizikus specializációra* azokat várjuk, akik a fizika kísérleti és elméleti alapkutatási 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.
- A *Nukleáris technika specializáció* – kihasználva karunk egyedülálló lehetőségeit – nukleáris szakembereket képez számos terület, így az energetika, az orvostudomány, a sugár- és környezetvédelem számára.
- Az *Orvosi fizika specializációt* 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 kiigazító módosítások, kiegészítések a Hallgatói Képviselő, a Fizikus Szakbizottság és a Kari Tanács egyetértésével a tanulmányok során előfordulhatnak. A dokumentumok mindenkor aktuális változata a [kar honlapján](#) olvasható.

## A Fizikus mesterszak mintatanterve

Tárgy / Tárgycsoport	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. a tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
<b>Alapozó ismeretek: 8 kredit</b>			<b>6</b>	<b>2</b>		
Kötelezően választható közismereti tárgy *	KV	2/0/0/f		2		
Numerikus módszerek	K	4/0/2/f	6			
Fizikai (NA, OP, KF) / Orvosi fizika (OF) / Nukleáris technika (NT) alapismeretek	KR	0/0/0/a	0			
<b>Szakmai törzsanyag: 23 kredit</b>	<b>NA, OP, KF, NT</b>		<b>16</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	
	<b>OF</b>		<b>10</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	
A fotonika alapjai **	NA, KF, NT, OF	KV	2/1/0/v	5		
	OP	K				
Magfizika	NA, OP, KF, OF	KV	2/1/0/v		5	
	NT	K				
Nanotechnológia és anyagtudomány **	OP, KF, NT, OF	KV	3/0/0/v	5		
	NA	K				
Részecskefizika **		KV	2/1/0/v	5		
Statisztikus fizika 2 **	NA, OP, NT, OF	KV	2/1/0/v	5		
	KF	K				
Számítógépes szimulációk a fizikában **		KV	2/1/0/f		5	
Orvosi képzés	NA, OP, KF, NT	KV	3/1/0/v	5		
	OF	K				
Kollokvium 1, 2 **		K	2/0/0/f		1	1
Fizika laboratórium	NA, OP, KF, NT	K	0/0/6/f	6		
	OF				6	
<b>Differenciált szakmai ismeretek: 50 kredit</b>	<b>NA, OP, KF, NT</b>			<b>10</b>	<b>20</b>	<b>23</b>
	<b>OF</b>			<b>16</b>	<b>17</b>	<b>20</b>
Önálló laboratórium 1		K	0/0/7/f		7	
Önálló laboratórium 2		K	0/0/13/f			13
Szeminárium 1, 2, 3		K	0/2/0/f	2	2	2
Szeminárium 4		K	0/0/2/a			0
Specializációs tárgyak: 24 kredit	NA, OP, KF, NT	K/KV		6	10	8
	OF			11	8	5
Szakmai gyakorlat		KR	0/0/0/a			0
<b>Diplomamunka-készítés: 30 kredit</b>			<b>K</b>	<b>0/0/30/f</b>		<b>30</b>
Szabadon választható tárgyak: 9 kredit	NA, OP, KF, NT	SZV			3	6
	OF					9
<b>TELJES KÉPZÉS: 120 kredit</b>	<b>NA, OP, KF, NT</b>			<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
	<b>OF</b>			<b>29</b>	<b>31</b>	<b>30</b>

**Jelölések** a fenti táblázatban és az ismertető további részeiben is.

\* A tárgycsoport tárgyai (ill. a későbbiekben, az adott tárgy) a Fizika alapszakon is kötelezően választhatóak.  
A korábban már teljesített tárgy ismételtelen nem vehető föl.

\*\* A tárgy oktatása angol nyelven történik.

**Heti óraszámok:** **ea** előadás, **gy** gyakorlat, **lab** laboratórium; **követelmény (köv):** **v** vizsga, **f** félévközi jegy, **s** szigorlat, **a** aláírás; **kredit (kr).** Rövid jelölés: ( **ea / gy / lab / köv / kr** ).

**Specializációk:** **NA:** Nanotechnológia és anyagtudomány; **OP:** Optika és fotonika; **KF:** Kutatófizikus;

**NT:** Nukleáris technika; **OF:** Orvosi fizika.

A tárgyak típusa: **K** kötelező, **KR** kritérium; **KV** kötelezően választható, **SZV** ajánlott szabadon választható.

## A Nanotechnológia és anyagtudomány specializáció tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
<b>Kiemelt tárgycsoport (legalább 13 kredit teljesítendő)</b>						
A nanofizika alapjai **	KV	3/0/0/v		5		
Fejezetek a modern anyagtudományból	KV	2/0/0/v		3		
Félvezetők fizikája **	KV	2/0/0/v	3			
Korszerű félvezető eszközök **	KV	2/0/0/v		3		
Optikai spektroszkópia az anyagtudományban **	KV	3/0/0/v		5		
Modern szilárdtestfizika **	KV	3/2/0/v	7			
Nanotechnológia laboratórium	KV	0/0/3/f		4		
Anyagtudomány laboratórium	KV	0/0/3/f		4		
Trendek az anyagtudományban	KV	2/0/0/f		2		
Trendek a nanotechnológiában **	KV	2/0/0/f		2		
<b>További specializációs tárgyak (legalább 11 kredit teljesítendő)</b>						
Atomi szintű számítógépes szimulációk szilárdtestekben	KV	1/0/1/v			3	
Csoportelmélet a szilárdtestkutatásban **	KV	2/0/0/v		3		
Elméleti nanofizika **	KV	2/1/0/v			5	
Felületfizika és vékonyrétegek	KV	2/0/0/f		3		
Kvantuminformatika **	KV	2/0/0/v	3			
Kvantumszámítógép-architektúrák **	KV	2/0/0/v			3	
Kémiai módszerek a nanotechnológiában **	KV	2/0/0/v			3	
Mágneses rezonancia **	KV	2/1/0/v		5		
Mágnesség elmélete **	KV	2/1/0/v		5		
Nemkonvencionális anyagok	KV	2/0/0/v	3		3	
Optikai anyagok és technológiák	KV	3/0/0/v		5		
Szilárdtestek elektronszerkezete **	KV	2/1/0/v			5	
Szupravezetés **	KV	2/0/0/v	3			
Topologikus szigetelők **	KV	2/0/0/v			3	
Transzport komplex nanoszerkezetekben **	KV	2/0/0/v			3	
Bevezetés az adattudományba 1	KV	3/0/1/v			4	
Adattudományi programozási feladatok	KV	0/1/0/f			2	
A szilárdtestfizika alapjai *	KV	2/0/0/v	2			
Alkalmazott szilárdtestfizika * **	KV	2/0/0/v		2		
A felületfizika alapjai *	KV	2/0/0/f	3			
Az anyagtudomány alapjai és alkalmazásai *	KV	2/0/0/v	3			
Mikro- és nanotechnológiák *	KV	2/0/0/f		3		
Számítógépes mérésvezérlés *	KV	0/0/2/f		3		
Számítógépes mérésvezérlés projekt munka LabVIEW környezetben *	KV	0/0/2/f			3	
Tudományos programozás * **	KV	2/0/1/f		4		
Válogatott fejezetek a korszerű technológiákból * **	KV	2/0/0/v	2			

## Az Optika és fotonika specializáció tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
A végeselem modellezés alapjai *	KV	0/0/2/f		3		
Félvezetők fizikája	KV	2/0/0/v	3			
Fényforrások	KV	2/0/0/v	3			
Fizikai optika	KV	2/1/0/v	5			
Fotonika laboratórium	KV	0/0/3/f		4		
Kvantumoptika **	KV	2/1/0/v			5	
Lézerek ipari és biológiai alkalmazása	KV	2/0/0/f			3	
Lézerfizika	KV	2/0/0/v		3		
Nemkonvencionális anyagok	KV	2/0/0/v	3		3	
Nemlineáris optika alapjai és alkalmazásai	KV	2/0/0/v			3	
Optikai anyagok és technológiák	KV	3/0/0/v		5		
Optikai jelfeldolgozás és adattárolás	KV	2/0/0/v		3		
Optikai mérés technika	KV	2/0/0/v			3	
Optikai spektroszkópia az anyagtudományban	KV	3/0/0/v		5		
Optikai tervezés	KV	2/2/0/v		6		
Mikroszkópia *	KV	2/0/0/f		3		
Optika *	KV	2/2/0/v	4			
Számítógépes mérésvezérlés projekt munka Lab-VIEW környezetben *	KV	0/0/2/f			3	
Számítógépes mérésvezérlés *	KV	0/0/2/f		3		
<b>Ajánlott szabadon választható tárgyak</b>						
ELI előkészítő laboratórium	SZV	0/0/4/f		4		
Infravörös és Raman-spektroszkópia	SZV	2/0/2/v		6		
Kvantuminformatika **	SZV	2/0/0/v			3	
Kvantumrendszerek koherens kontrollja	SZV	2/0/0/v				3
Lézerek és lézerrendszerek tervezése és építése	SZV	2/0/0/f			3	
Monte Carlo módszerek	SZV	2/0/1/f	5			
Optoelektronikai eszközök	SZV	2/0/0/v			3	



## A Kutatófizikus specializáció tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
<b>Kiemelt tárgycsoport (legalább 7 kredit teljesítendő)</b>						
Modern szilárdtestfizika **	KV	3/2/0/v	7			
Kvantumtérelmélet **	KV	3/2/0/v		7		
Komplex hálózatok **	KV	2/0/0/v	3			
Fázisátalakulások **	KV	2/1/0/v		5		
<b>A specializáció további tárgyai (legalább 17 kredit teljesítendő)</b>						
A klasszikus mezőelméletek geometriája **	KV	2/0/0/v			2	
A nanofizika alapjai	KV	3/0/0/v		5		
Csoportelmélet a szilárdtestkutatásban **	KV	2/0/0/v		3		
Dinamikai rendszerek **	KV	3/1/0/v		5		
Elméleti nanofizika **	KV	2/1/0/v			5	
Evolúciós játékelmélet **	KV	2/0/0/v		3		
Félvezetők fizikája	KV	2/0/0/v	3			
Korszerű félvezető eszközök	KV	2/0/0/v		3		
Korrelációs módszerek a kvantumkémiaiában 1 **	KV	2/0/0/v			2	
Kvantuminformatika **	KV	2/0/0/v			3	
Kvantumoptika **	KV	2/1/0/v			5	
Mágneses rezonancia **	KV	2/1/0/v		5		
Mágnesség elmélete **	KV	2/1/0/v		5		
Optikai spektroszkópia az anyagtudományban	KV	3/0/0/v		5		
Soktestprobléma 1 **	KV	3/1/0/v		6		
Szilárdtestek elektronszerkezete **	KV	2/1/0/v			5	
Szupravezetés **	KV	2/0/0/v	3			
Vektorterek a fizikában	KV	2/0/0/f		2		
Csoportelmélet fizikusoknak*	KV	2/2/0/v	5			
Elektrodinamika 2 *	KV	2/0/0/v	2			
Elektrodinamika gyakorlat 2 *	KV	0/2/0/f	3			
Klasszikus és kvantumkáosz *	KV	2/0/0/v		3		
Kvantummechanika 2 *	KV	2/0/0/v		2		
Kvantummechanika gyakorlat 2 *	KV	0/2/0/f		3		
Mechanika 2 *	KV	2/0/0/v		2		
Mechanika gyakorlat 2 *	KV	0/2/0/f		3		
Műszaki és fizikai problémák számítógépes megoldása *	KV	0/0/2/f	3			
Relativitáselmélet *	KV	2/0/0/v	3			
Számítógépes mérésvezérlés *	KV	0/0/2/f		3		
<b>Ajánlott szabadon választható tárgyak</b>						
A sűrűségfüggő elmélet alapjai **	SZV	2/0/0/v			3	
Egydimenziós rendszerek fizikája **	SZV	2/0/0/v			3	
Haladó kvantumtérelmélet **	SZV	2/1/0/v			4	
Lézerfizika	SZV	2/0/0/v		3		
Mágnesség elmélete 2 **	SZV	2/0/0/v			3	
Mesterséges intelligencia az adattudományban **	SZV	1/2/0/f		5		
Rendezetlen rendszerek fizikája **	SZV	2/1/0/v		4		
Soktestprobléma 2 **	SZV	2/1/0/v			4	
Statisztikus térelmélet **	SZV	2/1/0/v			4	
Számítógépes mérésvezérlés projekt munka LabVIEW környezetben *	SZV	0/0/2/f			3	
Topologikus szigetelők **	SZV	2/0/0/v			3	
Véletlen mátrixelmélet és fizikai alkalmazásai **	SZV	2/0/0/v			3	

## A Nukleáris technika specializáció tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
<b>A specializáció kritérium tárgya</b>						
Nukleáris technika szigorlat	KR	0/0/0/s				0
<b>A specializáció tárgyai (teljesítendő 24 kredit)</b>						
Atomerőművek	KV	3/1/0/v		5		
Atomerőművi kémia	KV	2/1/0/f			4	
Atomerőművi üzemzavar elemzések	KV	3/2/0/v		6		
Atomreaktorok üzemtana	KV	2/2/0/f	5			
Bevezetés a fúziós plazmafizikába	KV	2/0/0/v	3			
Bevezetés az elméleti plazmafizikába	KV	2/0/0/v	3			
CFD módszerek és alkalmazások	KV	2/1/0/f			4	
Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából 1, 2	KV	2/0/0/v		3	3	
Félvezetők fizikája	KV	2/0/0/v	3			
Fúziós nagyberendezések	KV	2/0/1/f		4		
Fúziós plazmafizikai laboratórium	KV	0/0/2/f			2	
Magnetohidrodinamika alacsonydimenziós rendszerekben	KV	2/0/0/v		3		
Monte Carlo módszerek	KV	2/0/1/v	4			
Monte Carlo részecsketranszport módszerek	KV	2/0/0/v			3	
Nemkonvencionális anyagok	KV	2/0/0/v	3			
Neutron- és gammatranszport számítási módszerek	KV	2/1/0/f			4	
Nukleáris üzemanyagciklus	KV	2/1/0/f	4			
Orvosbiológiai célú radionuklidok előállítása és felhasználása	KV	2/0/1/v			4	
Orvosi képzés	KV	3/1/0/v	5			
Radioaktív anyagok terjedése környezeti és biológiai rendszerekben	KV	2/2/0/v			4	
Radioaktív hulladékok biztonsága	KV	3/0/1/v			4	
Radioanalitika	KV	3/0/2/f		6		
Reaktorfizikai számítások	KV	3/1/0/v	4			
Reaktorszabályozás és műszerezés	KV	2/1/0/v			4	
Röntgen- és gamma spektrometriai módszerek	KV	2/1/0/v	4			
Sugárvédelem 2	KV	2/0/2/v		5		
Számítógépes mérésvezérlés *	SZV	0/0/2/f		3		
Ütközéses transzport mágnesezett plazmákban	KV	1/2/0/f			5	
Zajmódszerek nukleáris rendszerekben	KV	2/0/0/v		3		
<b>Ajánlott szabadon választható tárgyak</b>						
A nukleáris leszerelés kérdései	SZV	2/0/0/v			3	
Alacsonyhőmérsékletű plazmafizika	SZV	2/0/0/v			3	
Anyagvizsgálat neutronokkal	SZV	2/0/0/v		3		
Atomerőművi anyagvizsgálatok	SZV	2/0/0/v			3	
Nukleáris elektrodinamika	SZV	2/0/0/v		3		
Számítógépes mérésvezérlés projektmunka LabVIEW környezetben *	SZV	0/0/2/f			3	
Válogatott fejezetek a magfizikából	SZV	2/0/0/v			3	

## Az Orvosi fizika specializáció tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
<b>A specializáció kötelező tárgyai (16 kredit)</b>						
Funkcionális anatómia	K	2/0/2/v		4		
Sugárbiológia	K	2/1/0/f	3			
Sugárterápia fizikai alapjai	K	2/0/2/v		4		
Sugárvédelem az orvosi fizikában	K	3/0/1/f	5			
Orvosi fizika szigorlat	KR	0/0/0/s				0
<b>A specializáció kötelezően választható tárgyai (teljesítendő 8 kredit)</b>						
Brachytherápia	KV	2/0/0/v			3	
Félvezetők fizikája	KV	2/0/0/v	3			
Fizikai optika	KV	2/1/0/v	5			
Infravörös és Raman-spektroszkópia	KV	2/0/2/v		6		
Lézerek ipari és biológiai alkalmazása	KV	2/0/0/f			3	
Mágneses rezonancia **	KV	2/1/0/v		5		
Mágneses rezonancia és klinikai alkalmazása 1, 2	KV	2/0/0/v		3	2	
Mágnesség elmélete **	KV	2/1/0/v		5		
Minőségbiztosítás és jogi szabályozás	KV	2/0/1/v			4	
Monte Carlo módszerek	KV	2/0/1/v	4			
Monte Carlo részecsketranszport módszerek	KV	2/0/0/v			3	
Nemkonvencionális anyagok	KV	2/0/0/v	3			
Neutron- és gammatranszport számítási módszerek	KV	2/1/0/f			4	
Nukleáris medicina	KV	2/0/1/v		4		
Optikai jelfeldolgozás és adattárolás	KV	2/0/0/v		3		
Optikai spektroszkópia az anyagtudományban	KV	3/0/0/v		5		
Optikai tervezés	KV	2/2/0/v		6		
Orvosbiológiai célú radionuklidok előállítása és felhasználása	KV	2/0/1/v			4	
Radioaktív anyagok terjedése környezeti és biológiai rendszerekben	KV	2/2/0/v			4	
Radioaktív hulladékok biztonsága	KV	3/0/1/v			4	
Radioanalitika	KV	3/0/2/f		6		
Rendszerélettan	KV	3/1/0/v	4			
Röntgendiagnosztika fizikai alapjai	KV	2/0/1/v		4		
Sugárterápia 2	KV	2/0/0/v			3	
Szupravezetés **	KV	2/0/0/v	3			
Ultrahang diagnosztika	KV	2/0/0/v			3	
<b>Ajánlott szabadon választható tárgyak</b>						
Számítógépes mérésvezérlés *	SZV	0/0/2/f		3		
Számítógépes mérésvezérlés projektmunka LabVIEW környezetben *	SZV	0/0/2/f			3	

# TANTÁRGYLEÍRÁSOK

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12AF32</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>				

## A felületfizika alapjai \*

A tantárgy célja, hogy az előző félévekben elsajátított fizikai ismeretekre alapozva a hallgatók megismerkedjenek a felületfizikában használatos alapfogalmakkal, alapvető mérés technikákkal és leggyakoribb alkalmazásokkal.

*Tematika:* Felületfizika: definíció és jelentőség. Jól definiált felületek, határfelületek és vékonyrétegek előkészítése. Vékonyréteg előállítási technológiák. Felületek, határfelületek és vékonyrétegek morfológiája és szerkezete, nukleáció, felületi szerkezet vizsgálati lehetőségei. Adszorpció a szilárdtest felületén: fiziszorpció, kemiszorpció. Tömbi és felületi diffúzió. Felületanalitikai mérési módszerek és összehasonlításuk.

### *Irodalom:*

H. Ibach: Physics of Surfaces and Interfaces;

P.W. Atkins: Fizikai kémia I – III;

H. Lüth: Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF81</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>	<b>KV</b>	<b>K</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>

## A fotonika alapjai

A kurzus célja, hogy általános optikai ismeretekre támaszkodva megismertesse a hallgatót a modern fotonika rohamosan bővülő területével. A fotonika mindinkább előtérbe kerül olyan alkalmazásokban, ahol az elektronikai eszközök elérik sebesség és sávszélesség korlátaikat. A kurzus szemléletesen, a legszükségesebb matematikai, fizikai és optikai alapokkal igyekszik áttekinteni a fotonikai eszközöket, bemutatva azok működését és alkalmazását.

*Tematika:* Az optika és fotonika kapcsolata, a fotonika kialakulásának szükségszerűsége. Fotonok keltése spontán és indukált emisszióval: LED, lézerdióda, optikai erősítő. Erősített spontán emisszió és szuperlumineszcens LED. Kitekintés: egyfoton-források. A fény manipulálása üvegszálakban: üvegszál alapú optikai eszközök, szálerősítők. Fotonikus szálak és speciális alkalmazásaik. Fehér lézer. Az elektro-optika effektus és alkalmazásai: elektro-optikai Pockels- és Kerr-effektus. Elekt-roabszorpció. Magneto-optika: a Faraday-effektus és az optikai izolátor. Kitekintés: az optikai Kerr-effektus, önfókuszálás, önfázis-moduláció. Az akusztó-optikai effektus és alkalmazása: akusztóoptikai-effektus, modulátorok, fényeltérítők, szűrők és speciális eszközök. Integrált fotonikai eszközök és „fényáramkörök”. Optikai kapcsolók és átkötések. Mérőeszközök optikai frekvenciákon: optikai idő és frekvenciamérés. Atomóra, frekvenciafésű. Biofotonika: biológiai minták optikai manipulálása (optikai csapda, „optikai oszcilloszkóp”, FRET, szuperfelbontás). Kitekintés: optogenetika. Fotodetektorok és napelemek. Egyfoton-detektorok.

### *Irodalom:*

B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics, 2nd Edition (2007) John Wiley & Sons;

S.O. Kasap: Optoelectronics and Photonics: Principles and Practices, 2nd Edition (2013) Pearson.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE94MM11	2	0	0	f	2			KV		

## A klasszikus mezőelméletek geometriája \*\*

*Klasszikus elektrodinamika:* a Maxwell-egyenletek formás alakja; a vektorpotenciál bevezethetősége kohomologikus szempontból; mérce-transzformáció; az elektrodinamika reprezentációja spinormezőkön; a Diracegyenlet; mágneses monopólusok az elektrodinamikában: a Dirac-féle töltéskvantálás. *A Riemann-geometria elemei:* differenciálható sokaságok feletti vektornyalábok definíciója, példák; kovariáns deriválás (konnexió, párhuzamos eltolás) vektornyalábokon; a görbületi tenzor előállítás a párhuzamos eltolás sorfejtése segítségével; a Riemann görbületi tenzor és annak szimmetriái. *Az általános relativitás-elmélet elemei:* az  $SO(4)$  csoport véges dimenziós komplex reprezentációinak osztályozása; a Riemann görbületi tenzor invariáns dekompozíciója: a skalárgörbület, a nyomtalan Ricci-tenzor és a Weyl-tenzorok bevezetése; a vákuum Einstein-egyenlet (e fogalmak áttekintése Lorentz-esetben is). *A Yang–Mills-elmélet elemei:* A Yang–Mills-egyenletek; (anti)önduális konnexiók (insztantonok) fogalma, Atiyah, Hitchin, Singer tételei. *Komplex- és majdnem komplex sokaságok:* definíciója, holomorf vektornyalábok; tenzorok felbontása majdnem komplex sokaságok felett; a majdnem komplex-sokaságok integrálhatóságára vonatkozó Newlander–Nirenberg-tétel kimondása. *A tvisztor-tér fogalma:* egy négydimenziós irányított Riemann-sokaság tvisztor-tere; ezen kanonikus majdnem komplex struktúra előállítása; a majdnem komplex struktúra integrálható, ha a Riemann-sokaság félig konformálisan lapos (Penrose, Atiyah–Hitchin–Singer); példák tvisztorterekre: a kerek  $S^4$  tvisztor-tere  $CP^3$  és ennek csodálatos geometriája. Az ADHM-konstrukció: az (anti)öndualitási-egyenletek megoldása tvisztor-terekkel.

### Irodalom:

Fizika és geometria (Fizikus-matematikus nyári iskola, Óbánya, 1997) Szerk.: Barnaföldi G., Rimányi R., Matolcsi T., MAFIHE, Budapest (1999);  
R.S. Ward, R.O. Wells: Twistor geometry and field theory, Cambridge Univ. Press (1991);  
R.M. Wald: General relativity, Chicago Univ. Press (1984).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF53	3	0	0	v	5	KV		KV		

## A nanofizika alapjai

Az elmúlt évtizedben az elektronikai eszközök miniaturizálása áttörő fejlődésen ment keresztül. A mindennapjainkban használt készülékek építőkövei már súrolják a nanométeres mérethatárt, így a további méretcsökkentés nem egyszerű technológiai probléma. A nanométeres méretskálán az elektronok koherens viselkedése és kölcsönhatása, ill. az anyag atomi kvantáltsága számos új jelenséget eredményez, melyek feltérképezése és megértése a nanofizikai alap kutatás komoly kihívása. A kurzus ezen jelenségkörökbe kíván bepillantást nyújtani, elsősorban kísérleti eredmények bemutatásán és szemléletes megértésén keresztül.

*Tematika:* Karakterisztikus méretskálák a nanofizikában; félvezető ipar fejlődése; félvezető heteroátmenetek, kétdimenziós elektrongáz; nanostruktúrák készítése. Diffúzív és ballisztikus nano-vezetékek; kvantumvezetékek, Landauer-formalizmus; vezetőképesség kvantálás. Interferenciajelenségek nanoszerkezetekben, koherenciavesztés. Egész számú és frakcionális kvantált Hall-jelenség. A zaj mint jel, sörétzaj kvantum pont-kontaktusban; töltéshordozók töltésének mérése; klasszikus és kvantum káosz kaotikus billiárdokban; kétrészecske interferencia; Hanbury Brown & Twiss kísérlet fotonokkal és elektronokkal. Kvantumpöttyök és alkalmazásaik, mesterséges atomok, spin-Qbitek. Szén nanoszerkezetek: grafén, szén nanocsövek, fullerének. Szupravezető nano-

szerkezetek, Andrejev-reflexió, mezoszkopikus proximity jelenségek. Spintronika, spinszelep, spinnyomaték, spindekoherencia, spininjektálás, nemlokális mérések. Nanomechanikai rendszerek.

*Irodalom:*

S. Datta: Electronic Transport in Mesoscopic Systems, Cambridge University Press (1997);

T. Ihn: Semiconducting nanostructures, OUP Oxford (2010);

Y.V. Nazarov, Y.M. Blanter: Quantum Transport: Introduction to Nanoscience, Cambridge University Press.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>SZV</b>	

### A nukleáris leszerelés kérdései

Atomfizikai alapok. Atommagok kötési energiája. Atommagreakciók. A maghasadás és magfúzió. A láncreakció létrejötte és feltételei. Urándúsítás, plutóniumkinyerési technológiák. Maghasadáson alapuló atomfegyverek. Fúziós atomfegyverek. Légköri és földalatti robbantásokból nyerhető információk. Miniaturizálás és szimuláció. Nukleáris technológiák és nukleáris anyagok forgalmának ellenőrzésével (safeguards) kapcsolatos műszaki és fizikai alapismeretek. A nukleáris fegyverek jelentősége; nukleáris doktrínák; nukleáris kérdések a NATO-ban. A nukleáris non-proliferációs rendszer elemei, jelentősége, működése. A nukleáris fegyverzetkorlátozás története: előzmények, Hiroshima és Nagaszaki, az atomkorszak és a hidegháború. Az Atomsorompó szerződés pontjai, a felülvizsgálati konferenciák és a kibővítési konferencia, az 1997-es PrepCom. Küszöbországok: a de facto atomhatalmak, a jó útra tértek, a potenciális küszöbországok és a szovjet utódállamok. Atomfegyvermentes övezetek lakatlan és lakott területeken. A nukleáris robbantások története és a korlátozásukra tett kísérletek: PTBT, küszöbszerződések, a CTBT. Biztonsági garanciák (pozitív és negatív), a "no first use" elve. Verifikáció, a szerződéses kötelezettségek betartásának ellenőrzése és annak problémái. Exportellenőrzés és a nemzetközi exportellenőrzési rendszerek. A nukleáris terrorizmus újabb kérdései. A nukleáris non-proliferáció magyar vonatkozásai; a rendszer jövője.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF15</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>			<b>SZV</b>		

### A sűrűségfunkcionál elméleti alapjai \*\*

Sok-részecskés Fock-tér és sűrűségoperátor. Redukált sűrűségoperátorok. A kölcsönható elektron rendszerek egzakt egyenletei és a független részecske közelítés sűrűségoperátor képből. N-előállíthatóság. A Fermi-lyuk és a lokalizált pályák. Az elektron sűrűség. Kato tétele és a cusp (csúcs) feltételek. Az elektron sűrűség 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.

Nagy Á.: Molekulák elektronsűrűség elméletei (KLTE Elméleti Fizika Tanszék, 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).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11AF05	2	0	0	v	2	KV				

### A szilárdtestfizika alapjai \* \*\*

Kristályok szimmetriái, kristályrendszerek, Bravais-rácsok. Diffrakció elmélete, szerkezeti tényező, atomi szórás tényező. Röntgen-, elektron- és neutronszórás kísérletek. Rácsrezgések harmonikus közelítésben, dinamikus-mátrix, normál koordináták, diszperziós-reláció, állapot-sűrűség. Rácsrezgések kvantummechanikai leírása, fononok energiája és impulzusa, a diszperziós reláció kísérleti meghatározása. Bose–Einstein-statisztika, szilárd testek fajhője, Debye-közelítés. Elektrokronok Drude-modellje, transzport és optikai tulajdonságok. Fermi–Dirac-statisztika, elektrongáz fajhője, mágneses szuszceptibilitása. Bloch-elektronok, sáv szerkezet közel-szabad elektron modellben és szoros kötésű közelítésben, effektív tömeg.

Sólyom Jenő: A modern szilárdtestfizika alapjai I-III. ELTE, Eötvös Kiadó, 2002-2003,  
Ch. Kittel: Introduction to Solid State Physics, Wiley, New York, 1986.  
N.W. Ashcroft, N.D. Mermin: Solid State Physics, Saunders, Philadelphia, 1976.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12AF42	0	0	2	f	3		KV			

### A végelem modellezés alapjai \*

A végelem módszer alapjainak elméleti összefoglalása és gyakorlati problémák megoldása a módszer segítségével. A legfontosabb tárgykörök, klasszikus, paricális differenciálegyenletekkel leírható fizikai problémák megoldása: hullámegyenlet, Laplace- és Poisson-egyenlet, hő-transzfer, konvekció-diffúzió, Helmholtz-egyenlet, Navier–Stokes-egyenlet, Schrödinger-egyenlet, összetett problémák.

*Irodalom:*

K.H. Huebner: The Finite Element Method for Engineers, 2001, ISBN 0-471-37078-9.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE95AM43	0	1	0	f	2	KV				

### Adattudományi programozási feladatok

A tárgy célja a Bevezetés az adattudományba 1 tárgyban kevésbé tárgyalt adattudományi fogalmak, algoritmusok a korábban megszerzett matematikai ismeretekre épülő, gyakorlati megközelítésű megismertetése. Az adatmanipulálás, prediktív analízis, megjelenítés lépései valódi adatokkal, elsősorban Python-csomagok (pandas, scikit-learn, matplotlib, ggplot) és R használatával, ismerkedés más adattudományi szoftverek használatával. Bayes-hálók, Együttes módszerek osztályozásra (véletlen erdő, bagging, boosting), Klaszterezés (k-közép, hierarchikus, DBSCAN, EM algoritmus), Ajánlórendszerek, Dimenziócsökkentés (PCA) Asszociációs szabályok, Anomáliák (outlierek) detektálása. Nagyobb esettanulmányok, kitekintés. Az adatmanipulálás, prediktív analízis, megjelenítés lépései valódi adatokkal, elsősorban Python-csomagok (pandas, scikit-learn, matplotlib, ggplot) és R használatával, ismerkedés más adattudományi szoftverek használatával..

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAG</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>SZV</b>	

### Alacsonyhőmérsékletű plazmafizika

Plazmák előfordulása és típusai a természetben és a laboratóriumban. Tartalmi áttekintés. Termikus és nem-termikus plazmák. Töltéshordozók mozgása vákuumban. Fő jellemzők és paraméterek. Töltött részecskék mozgása és elemi folyamatai ionizált gázokban. Ütközési hatáskeresztmetszetek. Kétrészecske-ütközések kinematikája, Coulomb-szórás. Részecsketranszport leírásának módszerei. Boltzmann egyenlet. Folyadék egyenletek származtatása. Monte Carlo részecskeszimulációs módszer. A sebességeloszlás függvény meghatározása Monte Carlo szimulációval. A sebességeloszlás függvény relaxációja homogén elektromos térben. Egyenfeszültségű gázkisülések: átütés, önfenn tartási folyamatok, működési módok, térrészek. Egyenfeszültségű gázkisülések önkonzisztens numerikus leírása: állandósult állapotú kisülések, dinamikus viselkedés, nehéz részecskék szerepe alacsony nyomású gázkisülésekben. Folyadék és hibrid modellek. Kapacitív csatolású rádiófrekvenciás gázkisülések működése, impedanciaillesztés. Particle-in-Cell / Monte Carlo ütközések (PIC/MCC) szimulációs módszer. Kapacitív csatolású rádiófrekvenciás gázkisülések: a DC előfeszültség kialakulása és szerepe, elektronok fűtési mechanizmusai elektropozitív és elektronegatív gázokban, ionfluxus és ionenergia szabályozásának módszerei. Erősen csatolt plazmák / Poros plazmák. A porrészecskék feltöltődése, a rájuk ható erők, poros plazma kísérleti berendezés. Molekuladinamikai szimulációs módszer alapjai és alkalmazása erősen csatolt plazmák leírására: struktúra, transzport, kollektív gerjesztések (hullámok). Plazmadiagnosztika: elektromos szondák és optikai spektroszkópia..

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11AF11</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>2</b>	<b>KV</b>				

### Alkalmazott szilárdtestfizika \* \*\*

Fémek, félvezetők sáv szerkezete, elektromos vezetési jelenségek, elektron-szórás mechanizmusok, 2 dimenziós elektrongáz. Si-technológia (FET, flash memória), heteroszerkezetek (félvezető lézer, MEMT), nanoelektronika, egyelektron-tranzisztor. – Mágneses anyagok, mágneses momentumok eredete és kölcsönhatása, mágneses szerkezetek. Fémek mágnessége, spin-polarizált sávok, magnetotranszporton alapuló spintronikai eszközök (spin-szelep, MRAM). Spin-tranzisztor, mágneses félvezetők. – Szupravezetés jelensége, első és másodfajú szupravezetők. Szupravezető anyagok, magas hőmérsékletű szupravezetők. Szupravezetők alkalmazásai (mágnesek, SQUID).

#### Irodalom:

Ch. Kittel: Introduction to Solid State Physics. Wiley, New York, 1986.

N.W. Ashcroft, N.D. Mermin: Solid State Physics. Saunders, Philadelphia, 1976.

Sólyom J.: A modern szilárdtestfizika alapjai I-III. ELTE Eötvös Kiadó, 2002-2003.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF50</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>f</b>	<b>4</b>	<b>KV<sup>1</sup></b>				

### Anyagtudomány laboratórium



A tárgy célja az anyagtudomány területén az anyagok jellemzésére használt mérési módszerek illetve technológiák elvi és gyakorlati szintű, az alkalmazási lehetőségekre is kiterjedő megismertetése. Az egyes laboratóiumi gyakorlatok során ismertetésre kerül egy-egy mérési módszer elve, a mintaelőkészítés és -mérés technikai feltételei, valamint a mérésből nyerhető információk és azok kiértékelése. Bemutatásra kerülnek gyakorlati mérési példák és az azokból nyerhető technológiai információk. A laboratóiumi gyakorlat során a hallgatók az egyes részfeladatokat a lehetőségekhez mérten önállóan végzik. A mérések esetenként egy miniprojekt keretében csatlakozhatnak egy technológiai laboratóiumi gyakorlathoz, így a hallgató a mintakészítéstől a mérés kiértékelésig átfogó képet kaphat az anyagtudomány egy-egy szakterületéről. A kiválasztott módszerek mindegyikéről az adott témával foglalkozó elismert szakember tart laborgyakorlatot Budapesten, az elérhető legújabb berendezések mellett. Tervezett témakörök: Rezgési spektroszkópiák, Infravörös spektroszkópia, Raman spektroszkópia, Elektron diffrakció, Röntgen diffrakció, Mag mágneses rezonancia (NMR), Elektron spin rezonancia (ESR), Félvezető szerkezetekkel kapcsolatos mérések.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF59</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>SZV</b>	

### **Anyagvizsgálat neutronokkal**

A statisztikus rendszer leírása: Klasszikus vagy kvantum. Eszközök: fázistér, eloszlás függvény vagy sűrűségoperátor. Fluktuáció disszipáció tétel előkészítése és tárgyalása. Neutronok kölcsönhatása az anyaggal. A szórás leírása: a Fermi-potenciál, szórási hossz, potenciálformák. Szórás atomi rendszereken, koherens, inkoherens szórás. Rugalmas, rugalmatlan szórás. A spin figyelembe vétele. (Magreakciókat nem tárgyaljuk.) A neutronoptika alapjai: A törésmutató, neutron interferometria. Neutron holográfia. Belső forrás, belső detektor. Hideg és ultrahideg neutronok. A neutronnyaláb formálása: Neutronforrások. Moderátorok. Neutronvezető. Monokromátorok. Sebesség szelektorok. Detektorok. Neutronpolarizáció diffrakcióval, reflexióval. Néhány mérőeszköz: Neutrondiffrakció. Repülési idő spektrométer. Háromtengelyű spektrométer (rugalmatlan szórás). Neutronspinecho. Kisszőgű szórás. Radiográfia. Reflektometria. Interferometria. A mérések feldolgozása: Kapcsolat a szórási hatáskeresztmetszet és a korrelációs függvény között. Oldatok, kolloidok, polimerek egzotikus tulajdonságai.

#### *Irodalom:*

Cser L.: Kondenzált közegek vizsgálata neutronsórással, Typotex, 2010, Budapest;

R. Pynn: Neutron Scattering, Los Alamos Science, 1990.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF14</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>				<b>KV</b>	

### **Atomerőművek**

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 G.: Erőművek, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004;

T.H. Margulova: Atomerőművek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>SZV</b>	

### **Atomerőművi anyagvizsgálatok**

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 G.: Erőművek, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004;

T.H. Margulova: Atomerőművek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAH</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	

### **Atomerőművi kémia**

Atomerőművek fő típusai, az alkalmazott vízüzemek, primerkörű, szekunderkörű vízüzem. A víz radiolízise. Az atomerőművek szerkezeti anyagainak korróziója, sugártűrése. A radioaktív izotópok forrásai az atomerőművekben: hasadóanyagok, transzmutációs termékek, hasadási termékek, aktíválási termékek. A fűtőelem meghibásodások típusai, meghatározásuk módja. Vízkészítés, víztisztító rendszerek, atomerőművi hulladékok kezelése, feldolgozása. Az atomerőművek radioanalitikai ellenőrző módszerei és rendszere. Kontamináció, dekontaminálás. Radioaktív izotópok kibocsátása az atomerőműből: levegőbe és felszíni vizekbe, kibocsátás ellenőrzése. Üzemi és hatósági környezetellenőrzés.

*Irodalom:*

Choppin, Liljenzén, Rydberg: Nuclear and Radiochemistry (válogatott fejezetek).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF34</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>6</b>				<b>KV</b>	

### **Atomerőművi üzemzavar elemzések**

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 tranziensek 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, közegegység, 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 Z., Aszódi A.: Csernobil, tények, okok hiedelmek, Typotex, 2005;  
 D. Mosey: Reactor accidents, Sidcup: Nuclear Engineering Internation 2006.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF51</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>f</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>				

### Atomi szintű számítógépes szimuláció szilárdtestekben

Bevezetés a lehetséges alkalmazásokba, Unix alapjai. Molekulák és tökéletes kristályok geometriája. A szilárdtest különböző modelljei. Az atommagok és az elektronok szétválasztása: Born–Oppenheimer-közelítés, pszeudopotenciálok, projektorok. Tipikus bázisfüggvények és tulajdonságaik: síkhullámok, lokalizált bázistípusok. Hartree–Fock-elmélet, azon alapuló módszerek. Félempirikus számítási módszerek. Sűrűségfunkcionál-elmélet: Hohenberg–Kohn-, Kohn–Sham-tételek, az elmélet (fél)lokális közelítései. A DFT-n alapuló szoros-kötés számítási módszer. Hibrid-funkcionálok. Időfüggő sűrűségfunkcionál-elmélet, sokrészecske perturbációs módszerek: bevezetés.

*Irodalom:*

Gali Á.: Atomi szintű számítógépes szimuláció szilárdtestekben: elmélet és gyakorlat I.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>5</b>				<b>KV</b>	

### Atomreaktorok üzemtana

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, egyenlőtlenségek kialakulását a kiegészi ciklus alatt, ciklusvégi speciális üzemviteli vonatkozásokat (pl. manőverező képesség romlása). Ezen túlmenően 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 állapotellen-

őrzésük lehetőségeit. A reaktortartály üzemvitellel összefüggő tulajdonságainak és állapotellenőrzésének ismertetése, valamint a reaktorszabályozás beavatkozó szervei és eszközei üzemének bemutatása zárja az előadást.

*Irodalom:*

Csom Gy.: Atomerőművek üzemtana I-II.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12AF31</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>				

### **Az anyagtudomány alapjai és alkalmazásai \***

A tantárgy célja a modern anyagtudományi alapismeretek elsajátítása és alkalmazása fizika és a mérnöki tudomány különböző területein. Tárgyalt tématerületek: Anyagtudomány és mérnöki tevékenység. Modern anyagok, a velük szemben támasztott követelmények. Az első és másodrendű kötőerők szerepe az anyagok tulajdonságaiban. A termikus folyamatok jelentősége, termodinamika, termokémia, Hess-tétel, Born–Haber-ciklus. Kémiai potenciál, egyensúlyi állandó. Reakciósebességi egyenletek. Arrhenius- és Eyring-egyenlet. A kristályhibák jelentősége a gyakorlatban, pl. az elektromos és mechanikai tulajdonságokban. A kristály hibahelyeinek egyensúlyi koncentrációja. Érzékelők a mérnöki tudományban. Alapelvek, fizikai és kémiai szenzorok. Nyomásérzékelők, hőmérők, nyúlásmérő bélyegek, mágneses érzékelők. Roncsolás mentes anyagvizsgálat. Ultrahangos repedésvizsgálat, röntgenvizsgálat, mágneses elveket használó vizsgálatok. Konkrét alkalmazási példák.

Alternatív energiaforrások és energiahordozók; a kérdéskör ellentmondásai. Hidrogéngazdaság, bioetanol. Tüzelőanyag cellák, mint folyamatos áramforrások.

*Irodalom:*

Tisza M.: Az anyagtudomány alapjai, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2008;

P.W. Atkins, Fizikai-kémia: Tankönyvkiadó, 2002;

W.D. Callister Jr.: Materials: Science and Engineering, An Introduction, John Wiley and Sons Inc., 6th edition, 2003.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>KV</b>	

### **Bevezetés a fúziós plazmafizikába**

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 magnetohidro-dinamikai 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE95AM36	3	0	1	v	4	KV				

## Bevezetés az adattudományba

A tárgy célja az adattudomány alapfogalmainak a korábban megszerzett matematikai ismeretekre épülő, gyakorlati megközelítésű megismertetése. A hallgatók a kezdetektől teljes, a gyakorlati életből vett valós alkalmazási példákon keresztül az ismereteket megtapasztalva, egyfajta spirál mentén egyre mélyebbre haladva precíz elméleti és egyúttal praktikus gyakorlati ismeretekhez jutnak. Az elméleti ismeretek gerincét a gépi tanulás algoritmusai adják, a gyakorlati feladatok építenek a Python nyelv ismeretére.

*Előadás:* Történet, példák, esettanulmányok, az adattudományba sorolható diszciplínák. Ellenőrzött tanulás – Lineáris Modellek + modell validálás. Legkisebb négyzetek módszere. Lineáris Regresszió. Gradiens módszer, maximum-likelihood becslés. Polinomiális regresszió, logisztikus regresszió, Perceptron, Newton-módszer, Naive-Bayes. Általánosított lineáris modellek (Exponenciális család), tanulási/validációs/tesztelési halmaz, cross-validáció, Bias-Variance tradeoff, regularizáció, Precision-Recall, F1-score, ROC görbe. SVM, lineáris SVM, kernel trükk. Neurális hálók. Döntési fák. Véletlen erdők. Boosting. Nem Ellenőrzött tanulás. Klaszterezés. K-means klaszterezés. EM algoritmus. PCA, ICA. Nagyobb esettanulmányok, kitekintés.

*Gyakorlat:* Az adatmanipulálás, prediktív analízis, megjelenítés lépései valódi adatokkal (pl. kaggle) elsősorban Python-csomagok (pandas, scikit-learn, matplotlib, ggplot) és R használatával.

*Irodalom:*

Veres G.: Magashőmérsékletű plazmafizika alapjai (jegyzet)

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF29	2	0	0	v	3				KV	

## Bevezetés az elméleti plazmafizikába

Statisztikus fizikai alapok, az eloszlásfüggvény. Az ütközési operátor: Boltzmann és Landau operátor. Boltzmann-egyenlet, Vlasov-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 G.: Magashőmérsékletű plazmafizika alapjai (jegyzet)

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE80MFAQ	2	0	0	v	3					KV

## Brachyterápia

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 magnetohidro-dinamikai 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAB</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	

### CFD módszerek és alkalmazások

A tantárgy a háromdimenziós CFD (Computational Fluid Dynamics) technika alapjait és atom-energetikai alkalmazásait mutatja be a hallgatóknak. A tantárgy keretében áttekintjük a hő- és áramlási 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, véges-térfogatok, 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-egyenlet-rendszer 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF12</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>		<b>KV</b>		

### Csoportelmélet a szilárdtestkutatásban \*\*

Alapismeretek: szimmetria pontcsoportok, véges csoportokra vonatkozó fontosabb tételek, reprezentációk, karaktertáblák. Rezgési spektroszkópia: kiválasztási szabályok, direktszorzat-reprezentációk, faktorcsoporthoz. Elektronátmenetek: kristálytér-felhasadás, SO(3) és SU(2) csoportok, korrelációs diagramok, kristály kettőscsoportok. Kristályrácsok szimmetriája: tércsoportok, kristallográfiai nomenklátúra, 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 J.: Csoportelméleti módszer a kvantummechanikában (Akadémia Kiadó, Budapest, 1979).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11AF40</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>			<b>KV</b>		

### Csoportelmélet fizikusoknak \*

A tantárgy célja a csoportelmélet alapjainak megismertetése a fizikushallgatókkal: megtanuljuk, hogy egy rendszer szimmetriái hogyan használhatók ki a rendszer leírásakor, ill. hogy a természet szimmetriái hogyan jelennek meg a fizikai törvényekben. A csoportelméleti és ábrázoláselméleti fogalmakat gyakorlati példákra is alkalmazzuk.

*Elmélet:* Szimmetriák a természetben és a fizikában. Csoportok definíciója, alaptulajdonságai. Néhány speciális csoport. Homomorfizmus, izomorfizmus. Részcsoportok, mellékosztályok, Lagrange tétele. Normális részcsoport, faktorcsoport, homomorfizmus-tétel. Konjugált osztályok, centralizátor. Csoportthatás, pálya, stabilizátor. Ábrázolások és tulajdonságaik, ekvivalens ábrázolások, irreducibilis ábrázolások. Schur-lemmák. Ábrázolások karaktere, karakterek tulajdonságai, karaktertáblák. Ábrázolások direkt összege, felbontása. Szorzatábrázolás. Lie-csoport fogalma, infinitezimális generátorok, Lie-algebra. Topológiai tulajdonságok, univerzális fedőcsoport. Forgáscsoport és ábrázolásai. Lorentz-csoport és egyéb mátrixcsoportok.

*Gyakorlat:* Normálrezgések, kristályok, kvantummechanikai hullámfüggvények leírása csoportelmélet segítségével. Kiválasztási szabályok.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE93MM02</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>			<b>KV</b>		

### Dinamikai rendszerek

Folytonos és diszkrét idejű dinamikai rendszerek, folytonos versus diszkrét: követőfüggvény, diszkrétizáció. Egyensúlyi helyzetek lokális elmélete: Grobman–Hartman-lemma, stabil-instabil-centrális sokaság, Poincaré-normálforma. Attraktorok, Ljapunov-függvények, LaSalle-elv, fázisportré. Strukturális stabilitás, egyensúlyi helyzetek/fixpontok és periodikus megoldások elemi bifurkációi, bifurkációs görbék biológiai modellekben. Sátor és logaritmusos függvények, Smale-patkó, szolenoid: topológiai, kombinatorikus, mértékelméleti tulajdonságok. Káosz a Lorenz-modellben.

*Irodalom:*

P. Glendinning: Stability, Instability and Chaos, Cambridge University Press, Cambridge, 1994;

C. Robinson: Dynamical Systems, CRC Press, Boca Raton, 1995;

S. Wiggins: Introduction to Applied Nonlinear Analysis and Chaos, Springer, Berlin, 1988.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF76</b>						<b>K</b>				
<b>BMETE12MF75</b>							<b>K</b>			
<b>BMETE11MF33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>f</b>	<b>30</b>			<b>K</b>		
<b>BMETE80MF53</b>									<b>K</b>	
<b>BMETE80MF71</b>										<b>K</b>

### Diplomamunka-készítés

A diplomamunka elkészítése a témavezető és / vagy a konzulens útmutatása alapján.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF05</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>			<b>SZV</b>		

## Egydimenziós rendszerek fizikája \*\*

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, élállapotok formájában. A kurzus feltételezi a Green-függvény technika alapvető ismeretét (Soktestprobléma 1), és a következő témakörök köré szerveződik: a természetbeli egydimenziós 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:

G. D. Mahan: Many-Particle Physics, (Plenum Press, New York and London, 1981);  
 J. Cardy: Scaling and Renormalization in Statistical Physics, (Cambridge University Press, 1997);  
 J. Delft, H. Schoeller: Bosonization for Beginners – Refermionization for Experts, Annalen Phys. 7, 225-305 (1998);  
 A. Auerbach: Interacting Electrons and Quantum Magnetism, (Springer-Verlag, New York).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15AF34</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>2</b>			<b>KV</b>		
<b>BMETE15AF42</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>3</b>			<b>KV</b>		

## Elektrodinamika 2, és Elektrodinamika gyakorlat 2 \*

*Elektrosztatika:* Laplace-egyenlet megoldása gömbi és hengerkoordinátákban. Földelt gömb külső térben, csúcs hatás. Multipólus kifejtés gömbi koordinátákban. A polarizáció anyagi modellje, Clausius–Mossotti-egyenlet, molekuláris polarizálhatóság. *Magnetosztatika és kvázisztatikus terek:* mágneses skalárpotenciál, gömbmágnes tere, megoldási módszerek nemlineáris anyagokban. *Dinamika:* elektromágneses hullámok vákuumban és anyagban. Diszperzió, plazmafrekvencia, Kramers–Kronig-relációk. Hullámvezető, üregrezonátor. Veszteségek, jósági tényező. Oszilláló töltérendszer sugárzása. Elektromos dipól, kvadrupól, mágneses dipól sugárzás. Tetszőleges mozgást végző töltés Liénard–Wiechert potenciálja, térerősségek, sugárzás teljesítménye, szögeloszlása, spektruma. Szinkrotronsugárzás. Elektromágneses hullámok szórása, hatáskeresztmetszet, szórás szilárd testen és gázon. Cserenkov-sugárzás, átmeneti sugárzás. Abraham–Lorentz-féle sugárzási visszahatás. *Relativisztikus elektrodinamika:* Lagrange-formalizmus. Ponttöltés és elektromágneses tér kölcsönhatása kovariáns alakban, energia-impulzus tenzor, komponensek jelentése, energia-impulzus mérlegegyenlet. Sugárzási tér relativisztikus tárgyalása..

### Irodalom:

J.D. Jackson: Klasszikus elektrodinamika, Typotex;  
 Jakovác Antal, Takács Gábor, Orosz László: Elektrodinamika jegyzet, BME, 2013;  
 L.D. Landau, E.M. Lifsic: Elmélet Fizika II. és VIII. kötet, Tankönyvkiadó.



Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF61</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>f</b>	<b>4</b>		<b>SZV</b>			

### ELI előkészítő laboratórium

A tárgy célja a hallgatók felkészítése a modern optikai mérésekből, korszerű mérés technológiák és mérőeszközök megismerése, illetve kezelésének elsajátítása. Emellett a legújabb optikai és lézertechnológiai jellegű kutatási témákkal is megismerkednek a hallgatók, amelyek műveléséhez a legmodernebb optikai eszközökre van szükség: femtoszekundumos lézerekre, erősítőkre, Terahertz forrásokra, nemlineáris optikai elemekre, adaptív optikai eszközökre; és az ezekhez kapcsolódó diagnosztikára: interferométerek, spektrométerek, autokorrelátor. A tárgy megalapozza többek között az ELI szuperlézer-kutatóközpontban folyó kutatás-fejlesztési feladatokban való sikeres, aktív részvétel lehetőségét, mind az intézet fejlesztési, mind üzemelési fázisában. Főbb mérési területek: lézernyalábok karakterizálása és formálása, ultrarövid lézerimpulzusok mérési módszerei, femtoszekundumos impulzusok alakformálása, excimer lézerek, THz generálás, ultrarövid impulzusok erősítése, diszperzió kompenzáció és mérés, nemlineáris folyamatok, másodrendű harmonikus keltése.

#### Irodalom:

R. Paschotta: Encyclopedia of Laser Physics and Technology, John Wiley & Sons, 2008;  
Demtröder: Laser Spectroscopy Vol. 1-2, 4. th edition, Springer, 2008.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF66</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>	<b>KV</b>		<b>KV</b>		

### Elméleti nanofizika \*\*

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. Molekulákat és szemcséket tudnak kontaktálni, és mikrorezonátorokba helyezni. A tárgy az ilyen eszközök leírásával és a fellépő új jelenségekkel foglalkozik. A kurzus az alapképzés részét képező Kvantummechanika1-2, Szilárdtestfizika és Statisztikus fizika tárgyak ismeretét tételezi fel.

*Tematika:* Apró szemcsék leírása (Coulomb kölcsönhatás, koherencia, egyrészescke szintek), A véletlen mátrix elmélet alapjai (szinttaszítás, univerzalitási osztályok), Coulomb-blokád és spektroszkópia (mester egyenletek, co-tunneling, Kondo-effektus), Pont kontaktusok vezetőképessége és kvantum-zaja. Nanocsövek, él-állapotok. Molekuláris traszport. Szupravezető szemcsék, Josephson-átmenetek és kvantum-bitek. Kvantum spin manipuláció.

#### Irodalom:

S. Datta: Lessons from Nanoscience: A New Perspective on Transport, World Scientific, 2012.;  
E. Akkermans, G. Montambaux, J.-L. Pichard, J. Zinn-Justin: Mesoscopic Quantum Physics, North Holland, 1996.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF11</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>			<b>KV</b>		

### Evolúciós játékelmélet \*\*

A tantárgy a Fizika alapképzési szakon megszerezhető statisztikus fizika ismeretekre építve ad egy általános bevezetést a sokszereplős evolúciós játékelméletbe.

*Tematika:* Klasszikus játékelméleti fogalmak (stratégia, nyeremény, 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:*

K. Sigmund: Az élet játéka (Akadémiai Kiadó, Budapest, 2003);

J. Hofbauer, K. Sigmund: Evolutionary Games and Population Dynamics (Cambridge University Press, 1998);

G. Szabó, G. Fáth: Evolutionary games on graphs, cond-mat/0607344.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF63</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>			<b>KV</b>		

### Fázisátalakulások \*\*

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. Magashőmérsékletű 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF45</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>KV</b>	

### Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából 1

*Bevezetés a kísérleti magas hőmérsékletű plazmafizikába.* Hogyan nyerhetünk energiát atommagokból: fúzió és fission. 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–Shafranow-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 általánoságban; 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).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE80MF46	2	0	0	v	3				KV	

## Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából 2

*Bevezetés. Plazma diagnosztika: aktív spektroszkópia.* Részecske injektálási technikák (szennyezők: termikus, supersonikus gáznyaláb, termikus atomnyaláb, blow-off, gyorsított atomnyalábok). Nyaláb emissziós spektroszkópia, töltéscserélődés 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. *Pelletek 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.

*Irodalom:*

Dunai D., Kálvin S., Kocsis G., Szepesi T., Zoletnik S.: Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából (BME TTK egyetemi jegyzet, 2013).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF52	2	0	0	v	3	KV <sup>1</sup>				

## Fejezetek a modern anyagtudományból

A tantárgy az alapképzési szakon elsajátított fizika ismeretekre alapozva a modern anyagtudomány válogatott fejezeteinek tárgyalásával, konkrét példákon keresztül célozza a hallgatók ez irányú tudásának megszerzését.

*Tematika:* A kémiai kötések szerepe az anyagok tulajdonságaiban. Egykristályok, polikristályos és nemkristályos anyagok. Polimorfizmus és allotrópia. A szén és szilícium az anyagtudományban. Szén- és szilícium módosulatok, ezek sajátosságai. Fémek, kerámiák, polimerek mechanikai tulajdonságai, azok vizsgálati módszerei. Feszültség, rugalmas és plasztikus alakváltozás. Meghibásodások. Fáradás és az azt befolyásoló tényezők. Tervezés, kockázatok, biztonsági faktorok. Kristályhibák és típusaik, jelentőségük az elektromos és mechanikai tulajdonságokban. A diszlokációk szerepe az alakváltozásban. A szilárdság növelése a diszlokációmozgás csökkentésével. A fázisátalakulások hajtóereje, fázisok egyensúlyának termodinamikai feltétele. Kristályosodás és üvegesedés. Szerkezeti anyagok tulajdonságainak módosítása tömbi és felületi hőkezelésekkel. A fázisdiagramok értelmezése, ötvözetek, eutektikumok, intermetallikus vegyületek. A vas-szén rendszer és annak mikroszerkezetei, acélok, tulajdonságaik, felhasználási területeik. A diffúzió hajtóereje, időbeli lefolyá-

sa és mechanizmusai. Felületmenti és szemcsehatár diffúzió, elektromigráció. A diffúzió szerepe a mikroelektronikai alkatrészgyártásban és szilárd fázisú kémiai reakciókban. Monomerek, oligomerek, polimerek. A polimerek szerkezete, a molekulásúly értelmezése polimerekben, a molekulák alakja és szerkezete. Kopolimerek. Amorf és kristályos polimerek. Kompozitok. A korrózió jelensége, fajtái és korrózióvédelem.

*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., 6th edition, 2003.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF53	2	0	0	f	3	KV				

### Felületfizika és vékonyrétegek

A tárgy szilárdtestfizikai alapismeretekre és *A felületfizika alapjai* c. tárgyra 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, adhézióval, továbbá a felületi reakciók és transzportjelenségek leírásával.

*Irodalom:*

F. Bechstedt: Principles of Surface Physics, Springer, 2003;

Ibach: Physics of Surfaces and interfaces, Springer, 2006.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF26	2	0	0	v	3	KV <sup>1</sup>	KV	KV	KV	KV

### Félvezetők fizikája \*\*

Bevezetés: a félvezető fizika jelentősége, modern alkalmazások, az elektronika határai. Kristályszerkezet és szimmetriák, elektronok statisztikája a kristályrácsban, Bloch állapotok, sávszerkezet. 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. Eltérések a hőmérsékleti egyensúlytól. Diffúzió és vezetési jelenségek adalékolt félvezetőkben. Zener dióda, p-n átmenet, bipoláris tranzistorok. Kölcsönhatások fényel, 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, szuper-rácsok, nagy mobilitású 2-dimenziós elektrongáz és nagyfrekvenciás alkalmazásai, HEMT. Termikus zaj, sörétzaj, 1/f zaj, fluktuáció-disszipáció. Zajszűrés és a sávzélesség. Felületi állapotsűrűség, 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, opti-

kai- 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 J.: A modern szilárdtestfizika alapjai.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF14</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>	<b>SZV</b>	<b>KV</b>			

### Fényforrások

A fizikus mesterszakon (MSc) előadásra kerülő tárgy célja, hogy megismertesse a különböző specializációk hallgatóit a fényforrások különböző típusaival, azok működési elvével, sajátosságaival és alkalmazási területeivel. A félév során áttekintjük az ismert fotometriai és világítástechnikai mennyiségeket és azok mérési módszereit, valamint a fénykeltő eszközök fejlődését az izzólámpáktól 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;

W. Elenbaas: Light sources, Macmillan, 1972;

M.A. Cayless, A.M. Marsden: Lamps and Lighting, Arnold, 1997.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF31</b>						<b>KR</b>	<b>KR</b>	<b>KR</b>		
<b>BMETE80MF12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>a</b>	<b>0</b>				<b>KR</b>	
<b>BMETE80MF79</b>										<b>KR</b>

### Fizika / Nukleáris technika / Orvosi fizika alapismeretek

Az aláírás megszerzéséhez azon tárgyak előzetes elvégzése szükséges, amelyeket a mesterszak felvételi eljárása során a Fizikus Szakbizottság a specializáción szükséges előismeretek megszerzése érdekében előírt (főként olyan hallgatók számára, akik nem fizika alapidiplomával nyertek felvételt a képzésre). Pontosabb leírás a képzés tanrendjében található.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF46</b>						<b>K</b>				
<b>BMETE12MF64</b>							<b>K</b>			
<b>BMETE11MF02</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>f</b>	<b>6</b>			<b>K</b>		
<b>BMETE80MF01</b>									<b>K</b>	
<b>BMETE80MF80</b>										<b>K</b>

### Fizika laboratórium

*Nanotechnológia és anyagtudomány (NA):* A laboratórium keretében a hallgatók komplex, modern kutatási eredményekhez közel álló mérési feladatokat valósítanak meg, a méréseket kutatóla-

boratóriumokban is használt modern mérőműszerekkel végzik el. Megtanulják ezen mérőműszerek számítógépes programozását, és a mérésekhez saját készítésű mérésvezérlő programokat készítenek. A mérési jegyzőkönyvek a tudományos publikációk stílusát követik. Tervezett mérési feladatok: Számítógépes mérésvezérlési alapismeretek. Lock-in erősítő programozása, kvarcszenzor vizsgálata. Digitális oszcilloszkóp programozása, atomi méretű nanovezetékek vizsgálata. Hőmérséklet-szabályozó és digitális multiméter programozása, magashőmérsékleti szupravezető fázisátalakulásának mérése. Elektrokémiai rétegleválasztás. Felületanalitikai mérések SIMS és XPS módszerrel. Pásztázó alagútmikroszkóp összeépítése és tesztelése. ESR/NMR spektroszkópia, modern mágneses anyagok vizsgálata magnetooptikai Kerr-effektus méréssel.

**Optika és fotonika (OP):** A kurzus célja, hogy általános optikai ismeretekre támaszkodva optikai-fotonikai mérések elvégzésével a hallgatók gyakorlati tudását, készségeit bővítsük. A mérések elvégzése alapvetően önállóan történik. A mérések a következő témákba kell végezni: üvegszálak, hullámvezetők, lézerdíoda tulajdonságai, diffrakció, térbeli és időbeli koherencia, spektroszkópia, akusztóoptikai szűrő, CD lemezjátszó, optikai átviteli függvény, vékonyréteg párologtatás, ellipszometria és vékonyrétegek, polarizáció és fázis, elektronmikroszkópia és elektronlitográfia.

**Kutatófizikus (KF):** Szupravezetés: kritikus mágneses tér, perzisztens áram, Josephson-effektus. Infra- és Raman-spektroszkópia: fémek Drude-spektruma, Fano-rezonancia, a C60 molekularezgései. Nanofizika: kvantum-Hall jelenség, vezetőképesség-quantálás, atomi transzmissziók mérése. Töltéssűrűség hullámok: nemlineáris jelenségek, dielektromos relaxáció. Mágneses optikai Kerr-effektus: mágneses félvezetők mágnessége.

**Nukleáris technika (NT):** Az alábbi témák közül 12 mérési feladatot kell teljesíteni. Neutronfluxus-eloszlások mérése: makro- és mikroelozslások, azimutális, radiális és axiális irányú elozslások. Spektrális paraméterek mérése a reaktorzónában. Termikus neutronfluxus mérése aktivációs módszerrel. Neutronabszorbensek reaktivitás-értékességének mérése. Üregeffektus mérése. Termikus neutronok diffúziós hosszának mérése. Későneutron paraméterek mérése, uránkoncentráció meghatározása. Mérések szubkritikus rendszeren, kritikusági kísérlet a reaktoron. Neutronaktivációs analízis. Nukleáris detektorok paramétereinek vizsgálata. Különböző anyagok neutron- és gamma- védelmi tulajdonságainak vizsgálata. Szabályozórúd kalibrálása szubkritikus rendszeren. 235U/238U arányának meghatározása az urán hasadási termékeinek elemzése alapján. Mérések reaktorszimulátoron: reaktivitástényezők vizsgálata, reaktormegfűtés tanulmányozása, egyéb, primer- szekunderkörü jelenségek vizsgálata. Atommagok bomlási sémájának meghatározása (n,gamma) magreakciók méréssel (MTA Izotóp Int.). Mössbauer-effektus mérése (ELTE TTK Atomfizika Tanszék). Látogatás speciális nukleáris berendezésekkel rendelkező létesítménybe, intézetekbe (MTA ATOMKI, Debrecen, Országos Onkológiai Intézet, stb.)

**Orvosi fizika (OF):** Bevezető a méréstechnikába Pozitron emissziós mérés, két foton detektor koincidencia kapcsolása SPECT kollimátor vizsgálata Szomatoinfra laboratórium Filmdozimetria TLD sugárvédelmi mérés Komputer tomográfia Tomográfias számítógépes labor Röntgen felezőréteg vastagság mérés Transzmissziós röntgen Mérés Nucline Th-22 gammakamera-fejjel Sugárterápiás besugárzástervezés-teleterápia Sugárterápia besugárzástervezés-brachyterápia PTW szemi-flexibilis ionizációs kamra kalibrálása

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF79	2	1	0	v	5		KV			KV

## Fizikai optika

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 megokolásán gyakoroljuk, mint pl. a szoliton terjedés, a „lassú fény”, vagy a fotonikai kristályok tulajdonságai.

*Irodalom:*

Richter P.: Bevezetés a Moder Optikába, I. kötet (Műegyetemi Kiadó);  
 Solymár L.: Elektromágneses térelmélet és alkalmazásai (Műszaki Könyvkiadó);  
 Born, Wolf: Principles of Optics (Pergamon Press);  
 Saleh, Teich: Fundamentals of Photonics (John Wiley & Sons).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF57</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>f</b>	<b>4</b>		<b>KV</b>			

### Fotonika laboratórium

A tárgy célja, hogy a hallgatók betekintést nyerjenek a fotonika ágazat néhány fontos regionális szereplőjének a kutatás-fejlesztési tevékenységébe és kísérleti módszereibe. A laboratóriumi gyakorlatok anyaga az alapkutatótól az ipari szereplők gyártásközei fejlesztéseig terjednek. A tárgy elsősorban a lézeres anyagmegmunkálás, az optikai kommunikáció, az optikai mérőműszerek, a lézerek a biológiában, a rövid impulzusok alkalmazása, és a kvantumjelenségek az optikában területre fókuszál. A mérési alkalmak során a hallgatók elmélyítik a meglevő elméleti ismereteiket az adott területen, korszerű mérési technikákat ismernek meg és alkalmaznak a gyakorlatban. A laborgyakorlatok egy részére a BME területén, míg másokra Budapest különböző vezető tudományos és ipari központjaiban kerül sor.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMEVIEUM000</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>v</b>	<b>4</b>					<b>K</b>

### Funkcionális anatómia alapjai

Bevezető, általános egyedfejlődés, csonttan. Az ízületek funkcionális anatómiája. Csontfejlődés, sérülések, rehabilitáció. A vázizomzat funkcionális anatómiája. Keringés: a szív (műtétek és rehabilitáció), a nagyvérkör, nyirokkeringés. A légzőrendszer. Az emésztőrendszer. Az urogenitalis 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:*

Szentágothai, Réthelyi: Funkcionális Anatómia I-III;  
 Sobotta: Az Ember Anatómiájának Atlasza, I-II.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAI</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>f</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	

### Fúziós nagyberendezések

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:*

J. Wesson: Science of JET; H. Wobig: Stellarator research at the IPP in Garching;  
ITER Physics Basis Editors: ITER physics Basis, Overview and summary.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF56</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>f</b>	<b>2</b>				<b>KV</b>	

### Fúziós plazmafizikai laboratórium

A tárgy a magyar-cseh SUMTRAIC fúziós kísérleti nyári iskolát fedi le. *Előadás tematikák:* Különböző kísérleti technikák a szabályozott magfúziós kutatásokban. Adatfeldolgozó algoritmusok és eljárások. Magasszintű adatfeldolgozó programnyelvek (MATLAB, IDL). A tokamak üzemeltetés alapjai. *Laborgyakorlatok a COMPASS tokamakon:* Langmuir-szondás mérések. Spektroszkópiai mérések. Látható fény kamera mérések. Mágneses diagnosztikai mérések.

*Irodalom:*

A. Bencze: Measurements in COMPASS tokamak plasmas (egyetemi jegyzet).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF71</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>4</b>			<b>SZV</b>		

### Haladó kvantumtérelmélet \*\*

This course builds upon Quantum Field Theory and discusses advanced topics such as (i) renormalization group and scaling; (ii) role of symmetries and their breaking, (iii) advanced functional techniques, non-perturbative methods and their applications, (iv) effective action, effective potential and (v) instantons and quantum tunneling.

*Irodalom:*

M.E. Peskin, D.V. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory (1995, Addison-Wesley);  
C. Itzykson, J-B. Zuber: Quantum Field Theory (2006, Dover Publications);  
S. Weinberg: The Quantum Theory of Fields I-III (1995, 1996, 2000, Cambridge University Press).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF80</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>v</b>	<b>6</b>		<b>SZV</b>			<b>KV</b>

### Infravörös és Raman-spektroszkópia

Elektromágneses sugárzás és anyag kölcsönhatása: abszorpció, emisszió, szórás. Infravörös abszorpció és Raman-szórás molekulákban, rezgési átmenetek. A kiválasztási szabályok kapcsolata a molekulaszimmetriával. Infravörös és Raman-gerjesztések szilárd testekben. Rácsrezgések és alacsony energiás elektronátmenetek tárgyalása a dielektromos formalizmus segítségével. Csatolt elektron-fonon gerjesztések. Spektroszkópia nanoskálán, közelítér-módszerek (SNOM, SERS).



*Labor gyakorlat:* Az FTIR módszer alapjai, instrumentális jelalak, apodizáció, fáziskorrekció, zero-filling. Fényforrások, monokromátorok, detektorok jellemzői. Abszorpciós és reflexiós alpmérések, a dielektromos függvény meghatározása. Fázisátalakulások spektroszkópiái követése. Kvalitatív és kvantitatív analízis. Infravörös mikroszkópia, gyengített totálreflexió (ATR), közelítésmérések.

*Irodalom:*

P.R. Griffiths, J.A. De Haseth: Fourier Transform Infrared Spectrometry, Wiley-Interscience, 2007;  
D.A. Long: Raman spectroscopy, McGraw-Hill, 1977.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF38	2	0	0	v	3	KV				

### Kémiai módszerek a nanotechnológiában

A kolloidkémia alapjai, szuszpenziók, emulziók. Szolok, gélek és polimerek. Tájékozódás nano- és mikroskálán (mérési technikák): TEM, SEM, cyroTEM, AFM, DLS, UV-VIS, stb. Nanorészecskék szintézise. Kémiai, fizikai és biológiai módszerek (részecskék előállítása redukív módszerekkel). A nanorészecskék kémiai stabilizálása. Nanorészecskék méret és alak szerinti csoportosítása (gömb, rúd, kocka, oktaéder, stb.). Mono- és polidiszperzitás. Nanorészecskék tisztítása és alak szerinti szétválasztása (centrifugálás, gélelektroforézis, kromatográfiás módszerek, stb.). Nanorészecskék stabilizálása. Részecskék közötti kölcsönhatások vizsgálata (elektrosztatikus, van der Waals és sztérikus kölcsönhatások) és ezek felhasználása kolloid részecskék stabilizálására folyadékokban. Nanostruktúrált anyagok tulajdonságai és csoportosításuk. Nanorészecskék speciális tulajdonságai (optikai, elektromos, mágneses, fizikai és kémiai). Nanorészecskék felhasználása a kémiában (heterogén katalízis, napelemek, stb.). Nanorészecskék felhasználása az orvostudományban (szabályozott és célzott hatóanyag leadás, tumorelleses szerek, nanorészecskék felhasználása az orvosi diagnosztikában és képalkotásban).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15AF45	2	0	0	v	3			KV		

### Klasszikus- és kvantumkáosz \*

*Hamiltoni formalizmus, integrálhatóság általában, fizikai példák kaotikus viselkedés megjelenésére folytonos és diszkrét idejű dinamika esetén:* Folytonos, nemautonóm differenciálegyenletek. Anharmonikus, disszipatív oszcillátor. Leképezések, Poincare-leképezés, periodikusan gerjesztett rendszerek, biliárdok. *A fenti modellek ismertetéséből egy-két esetben, pl. az anharmonikus, disszipatív oszcillátor, illetve a Chirikov-leképezés esetén a káosz vizsgálatára kidolgozott módszerek bemutatása:* Lyapunov-exponens, invariáns mérték, Frobenius–Perron-egyenlet, stabilitási analízis, bifurkációk és attraktorok, Kolmogorov-entrópia, KAM tétel. *Kaotikus dinamika nyomai a kvantum mechanikában hasonlóan a korábban részletesebben tárgyalt modellekre alapozva:* Periodikus pályák; WKB módszer és szemiklasszikus (EBK) kvantálás, spektrál statisztika, Gutzwiller trace formula, diagonális közelítés, Loschmidt-echo.

*Irodalom:*

A.M. Ozorio de Almeida: Hamiltonian Systems: Chaos and Quantization;

H.J. Korsch, H.J. Jodl: Chaos;

P. Cvitanovic, et al.: Chaos, Classical and Quantum, webbook: chaosbook.org.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF41</b> <b>BMETE15MF42</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>1</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>K</b>

### Kollokvium 1 és Kollokvium 2

A Kollokvium sorozat első eleme olyan előadássorozat, mely meghívott hazai és külföldi kutatók előadásai révén nyújt betekintést a fizika világába. Az előadások az egyetemen működő kutatóhelyek és az egyetemen nem művelt kutatási témák bemutatásával gazdagítják fizikai ismereteinket. A felmerülő témák, a teljesség igénye nélkül: mágneses monopólusok, kavicsok morzsolódása, a klímaváltozás fizikai szemszögből, hálózatok viselkedése, érvek és ellenérvek PAKS 2-vel kapcsolatban. A hallgatók az egyes előadásokhoz kapcsolódó tudományos közlemények alapján készítenek 5-7 oldalas összefoglalót egy általuk választott téma alapján.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF38</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>			<b>KV</b>		

### Komplex hálózatok \*\*

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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMEVEFAA005</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>2</b>			<b>KV</b>		

### Korrelációs módszerek a kvantumkémiaiában 1 \*\*

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF52</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>		<b>KV</b>		

### Korszerű félvezető eszközök \*\*

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF42</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>		

### Kvantuminformatika \*\*

Kvantumbit, kvantumszámítás, kvantumalgoritmusok. Spin-qubitek szilárdtestekben: kvantumdok, kölcsönhatások, energiaskálák. Egy- és kétqubitese kvantum-logikai műveletek megvalósítása. Információvesztési mechanizmusok: relaxáció, fázisvesztés, dekoherencia. Kísérletek.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15AF36</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>2</b>			<b>KV</b>		
<b>BMETE15AF43</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>3</b>			<b>KV</b>		

## Kvantummechanika 2 és Kvantummechanika gyakorlat 2 \*

Hullámfüggvény Wentzel-Kramers-Brillouin közelítésben. Kváziklasszikus kvantálás. Időfejlődés és kvantummechanikai leírási módok: Schrödinger-, Heisenberg- és Dirac-kép. Sűrűségoperátor. Neumann-egyenlet. Szimmetriák és infinitezimális transzformációk. Időeltolás, időtükrözés. A szóráselmélet. Hullámcsomagok. Hatáskeresztmetszet. Green-függvények, Lippmann-Schwinger-egyenlet. Born-sorozat. Parciális hullámok módszere. Mozgás elektromágneses térben. Aharonov-Bohm-effektus, Landau-nívók. Relativisztikus kvantummechanika. Klein-Gordon-egyenlet. Dirac-egyenlet. Kontinuitási egyenlet, Lorentz-invariancia, teljes impulzusmomentum, pozitron. Dirac-egyenlet megoldása centrális erőterben, hidrogénatom. Nem-relativisztikus határeset, spin-pálya kölcsönhatás.

### Irodalom:

Szunyogh L., Udvardi L., Ujfalusi L., Varga I.: Kvantummechanika feladatgyűjtemény, BME, 2013;  
Gálfi L., Rácz Z.: Elméleti fizikai példatár 3, Tankönyvkiadó, 1983;  
F. Constantinescu, E. Magyar: Kvantummechanika feladatok, Tankönyvkiadó, 1972.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF23</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>		<b>SZV</b>			

## Kvantumrendszerek koherens kontrollja

Atomi átmenetek csatolása elektromágneses térrel. Két-szintes rendszerek: Rabi oszcilláció, analitikusan megoldható modellek. Sokszintes, degenerált energianívójú atomok koherens kontrollja. Robusztus kontroll mechanizmusok: adiabatikus populációtranszfer. A kvantumkontroll alkalmazása a kvantuminformatikában. Maxwell-Bloch egyenletek. Lineáris szuszceptibilitás. T1 és T2 idő mérése. Rezonáns nemlineáris optika: elektromágnesesen indukált transzparencia, koherens fotonmemória. Molekulák rezgési állapotának koherens kontrollja.

### Irodalom:

B.W. Shore: The Theory of Coherent Atomic Excitation;  
M.O. Scully, M.S. Zubary: Quantum Optics  
W.H. Louisell: Quantum Statistical Properties of Radiation  
C. Cohen-Tannoudji, Jacques Dupont-Roc, G. Grynberg: Atom-Photon Interactions.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF60</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>				

## Kvantumszámítógép-architektúrák \*\*

Kvantumbitek alapjai: dinamika, mérés, műveletek, áramkörök, algoritmusok. Kvantumrendszerek vezérlése: modell-Hamilton-operátoroktól a logikai műveletekig. Elektronspin-alapú kvantumbitek. Elektronspin koherens vezérlése és kiolvasása. Elektronspin információvesztési mechanizmusai. Bevezetés a szupravezetésbe. Josephson-effektus. Szupravezető kvantumbitek vezérlése és kiolvasása. Szupravezető kvantumbitek információvesztési mechanizmusai. Áramkörök kvantumelektro-

dinamikája. Összefonódás szupravezető kvantumbitekben. Többkvantumbites eszközök. Aktuális kutatási irányok áttekintése.

*Irodalom:*

Nazarov, Blanter: Quantum Transport (Cambridge University Press, 2009)

Zwanenburg et al., Rev. Mod. Phys. 85, 961 (2013)

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF65</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>7</b>			<b>KV</b>		

### **Kvantumtérelmélet \*\***

Relativisztikus invariancia, klasszikus mezők, Noether-tétel. Klein–Gordon-egyenlet. Dirac-egyenlet, Majorana- és Weyl-spinorok. Szabad kvantummezők (skalár, Dirac, elektromágneses); relativisztikus kvantum részecskék. Feynman-féle pályaintegrál. Funkcionális formalizmus. Kovariáns perturbációs számítás, Feynman-diagramok. Redukciós formulák. Szóráselmélet. A renormálás alapjai. Skálafüggés, renormálási csoport. Kapcsolat a statisztikus fizikával. Kritikus jelenségek, skálázás. Effektív potenciál, spontán szimmetriasértés. Goldstone-tétel. Mértékinvariancia, nemábeli mértékelméletek alapjai. Higgs-mechanizmus. A standard modell vázlatos felépítése. Szemiklasszikus kifejtés. Instantonok, a hamis vákuum bomlása. Topologikus gerjesztések.

*Irodalom:*

Itzykson, Zuber: Quantum Field Theory;

Peskin, Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory;

Weinberg: The Quantum Theory of Fields I-III.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF63</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>3</b>		<b>SZV</b>			

### **Lézerek és lézerrendszerek tervezése és építése**

Lézerfizikai ismétlés: koherens erősítés indukált emisszióval, lézerek felépítése, jellemzők. Az erősítő közeg tervezésének alapjai általánosan, szilárdtest, folyadék és gázhalmazállapotú erősítő közegek. Szilárdtest erősítő részletes elemzése, összetételek, kristálytani orientáció, geometriák – termikus viszonyok elemzése a különböző geometriai viszonyok esetén. Az erősítő kristályok befoglalásának és termikus kezelésének gyakorlati megvalósításai, vékonylemez és vékony rúd lézerek, tervezőprogramok alkalmazása a termikus és mechanikai stabilitás elérésére. Az erősítő közegben fellépő nemlineáris effektusok befoglalása a tervezésbe, a termikus, optikai és nemlineáris effektusok együttes hatása szerint az erősített sugárzás számítása. Rezonátorok felépítése, geometriai tervezés a stabilitás számítására három dimenzióban, alapvető rezonátor-konfigurációk kiépítése, tervezése specifikus tervezőprogrammal. Ultrarövid impulzusok létrehozásának feltételei, passzív móduscsatlás gyakorlati megvalósítása, konfigurációk. Tipikus impulzusparaméterek. Gyakorlati rezonátor, erősítő és pumpálási konfigurációk elemzése az impulzusparaméterek szempontjából, tipikus Z-konfiguráció tervezése Ti:zafir lézerben. SESAM és csörpölt tükrök, elérhető impulzusparaméterek. Ultrarövid impulzusok erősítése, regeneratív illetve multipassz erősítők tervezési szempontjai, tipikus gyakorlati konfigurációk. Az erősítőkben fellépő nemlineáris hatások, csörp és zajok becslésének módszerei. CPA erősítés elve és gyakorlati megvalósításai, stretcher és kompresszor konfigurációk, tervezési szempontok. Dazzler elve, alkalmazása. Parametrikus erősítés elve, anyagok, elérhető paraméterek, tervezési szempontok. NOPCPA konfigurációk. Fázis-vivó stabilizált impulzusok létrehozása, az oszcillátor és erősítő tervezése, kontraszt, tisztítás. Lézerdiódák fajtái, diódapumpa-

rendszerek tervezése. Szállérek tervezési szempontjai, szálerősítők alkalmazása nagy impulzus-energiákra.

*Irodalom:*

W. Köchner: Solid State Laser Engineering, Springer London, Limited, 2006;

R. Paschotta: Encyclopedia of Laser Physics and Technology, John Wiley & Sons, 2008;

S. Watanabe: Ultrafast Optics V, Springer, 2007.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF58</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>3</b>		<b>KV</b>			<b>KV</b>

### Lézerek ipari és biológiai alkalmazásai

A tantárgy átfogó képet nyújt a lézerek alkalmazási területeiről, a lézertechnikán alapuló változatos műszerek és berendezések sokaságáról. A tárgy tematikája: Ipari lézeralkalmazások, bevezetés és jellemzés: anyagmegmunkálással és nem anyagmegmunkálással járó alkalmazások. Lézer-anyag kölcsönhatások, anyagok és lézerek jellemzői. Anyagfelületek lézeres megváltoztatása: hőkezelés, felületátolvasztás, felületedzés, felületek bevonása, felületötvözés, felületszilárdítás és tisztítása. Lézeres térfogati megmunkálások. Anyageltávolítás: fúrás, vágás, karcolás, jelölés, hegesztés, trimmelés. Anyagmegmunkálással nem járó alkalmazások: vonal- és szintkitűzés, hossz- és távolságmérés, vonalkód leolvasás, gyors prototípusgyártás. Lézerek alkalmazása felületek minőségének és alakjának mérésére, reflexión és szóráson alapuló felület-minőség mérés, letapogatásos interferometrius kiolvasású felületmérés (Talysurf), atomerő-mikroszkópia. Interferometria alkalmazása felületek minőségének és alakjának mérésére, alacsony koherenciájú interferometria, tipikus alkalmazások és műszerek. Lézeralapú technikák a félvezetőiparban. Lézeres mikroszkópia az iparban és orvostudományban, fluoreszcens és reflexiós konfokális mikroszkópia, optikai koherencia tomográfia, fajtái és alkalmazásai. Kétfoton mikroszkópia elve, technikai alapjai. Lézerek alkalmazása diagnózis és terápia készítésében. Lézerfény szöveti kölcsönhatásai. Lézeres diagnózis módszerei. Lézeres sebészet előnyei és hátrányai. Daganatok lézeres kezelése. Speciális lézer-alkalmazások: orvosi holográfia, lézercsipesz, lézere részecskegyorsítás és alkalmazása hadronterápiára, lézeres gyümölcsválogató berendezések, lézerek alkalmazása a műszemlencse-technológiában és fejlesztésben.

*Irodalom:*

R. Paschotta: Encyclopedia of Laser Physics and Technology, John Wiley & Sons, 2008;

Demtröder: Laser Spectroscopy Vol. 1-2, 4. th edition, Springer, 2008; saját jegyzet;

Bevezetés a modern optikába I-III., Jakubczak: Lasers – Applications in Science and Industry, In-TechOpen, 2011.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF17</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>		<b>KV</b>	<b>SZV</b>		

### Lézerfizika

Félklasszikus (kvantált anyag és klasszikus elektromágneses tér) és kvantum (kvantált anyag és tér) lézerelmélet tárgyalása. Lézermódusok frekvenciája. Lézermódus sáv szélessége. Egy-módusú működés megvalósítási lehetőségei. Frekvenciastabilizálás módszerei. Másod-harmonikus keltés. Nemlineáris polarizáció, alkalmas anyagok. Hatásfok növelés, fázisillesztés módszere. Parametrikus oszcilláció. Ultrarövid impulzusok. Kerr-lencsés módusszinkronizálás, impulzusösszenyomás, csör-

pölt tükrök. Szállézerék, optikai szolitonok. Hangolható ultrarövid impulzusok. Impulzusformálás. TW-os ultrarövid és attosec impulzusok. Ultrarövid impulzusok mérése.

*Irodalom:*

Bevezetés a modern optikába III. (jegyzet 050393); 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;  
 A. Yariv: Quantum electronics, John Wiley & Sons, 1987.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF62</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>	<b>K</b>	<b>KV</b>

### Magfizika

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSC) szakon „Kísérleti magfizika” tárgy keretében megszerezhető 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 energia-termelés, kozmológia magfizikai alapjai, nukleáris asztrofizika.

*Irodalom:*

Györgyi G.: Elméleti magfizika (Műszaki Könyvkiadó 1965);  
 Muhin: Kísérleti magfizika (Tankönyvkiadó 1985);  
 Eisenbud, Garvey, Wigner: Az atommag szerkezete (Akadémiai Kiadó 1969);  
 Neutronfizika (szerk.: Kiss D., Akadémiai Kiadó 1971);  
 K. Krane: Introductory Nuclear Physics (Wiley and Sons);  
 Atommagfizika (szerk.: Fényes T., Akadémiai Kiadó 2006).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF56</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>	<b>KV</b>		<b>KV</b>		<b>KV</b>

### Mágneses rezonancia \*\*

A tantárgy célja a mágneses rezonancia alapjainak megismertetése a fizikushallgatókkal, a fő hangsúlyt a magmágneses rezonancia spektroszkópiára helyezve.

*Elmélet:* Mágneses rezonancia alapjai, fajtái és módszerei. Bloch-egyenletek. Spinrelaxáció. Bloch-egyenletek megoldása kis gerjesztésre, Kramers–Kronig-reláció. Impulzusmódszerek, free induction decay, spinechó, relaxációs idők mérése. A mágneses rezonancia atomi elmélete. Dipólus-dipólus kölcsönhatás. Magic angle spinning. Hiperfinom kölcsönhatások: kémiai eltolódás, Knight-eltolódás. Mágneses rezonanciás képalkotás alapjai.

*Gyakorlat:* Mérési gyakorlat, adatfeldolgozás és -modellezés..

*Irodalom:*

C.P. Slichter: Principles of Magnetic Resonance (Springer).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAK</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>					<b>KV</b>

## Mágneses rezonancia és klinikai alkalmazásai

A tárgy rövid tematikája a következőképpen foglalható össze: 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:*

C. Westbrook, C.K. Roth, J. Talbot: MRI in Practice (3rd Edition), Wiley-Blackwell, 2005.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF75</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>					<b>KV</b>

## Mágneses rezonancia és klinikai alkalmazásai 2

A tárgy a Mágneses rezonancia és klinikai alkalmazásai c. tárgy ismeretanyagára építve megismerteti a hallgatókat a mágneses rezonancia képalkotás magasabb szintű matematikai és fizikai háttérével, a gyakorlatban előforduló képalkotási hibákkal, azok javítási lehetőségeivel, és a modern mérés gyorsítási eljárásokkal.

*Tematika:* Kémiai eltolódás hatása a leképezésre és korrekciós lehetőségei (zsír szaturáció, spektrálisan szelektív gerjesztés, IR nullázás, SPSP technikák, egy- és több pontú víz-zsír szeparációs módszerek). Gyors képalkotás EPI szekvencia és változatai segítségével, tipikus EPI artefaktumok és korrekciós lehetőségeik. Jel/zaj arány függése a képalkotási paramétereiktől, zajstatisztika valós és k-térben, kontrasztok. Hagyományos parallel imaging technikák: Matematikai háttér, gyorsítási faktor, SMASH, GRAPPA, és SENSE szekvenciák. Modern parallel imaging: Egyszerre többszeletes (Simultaneous multislice, Multiband) képalkotás, Controlled aliasing. Fázisban megszorított képalkotás. Compressed sensing MRI alapelemei. Modern diffúziós MRI: q-space imaging, probability displacement function mérése.

*Irodalom:*

E.M. Haacke et al.: Magnetic Resonance Imaging – Physical Principles and Sequence Design.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF57</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>	<b>KV</b>		<b>KV</b>		<b>KV</b>

## Mágnesség elmélete \*\*

Landau-nívók és a kvantált Hall-effektus alapjai. Kiterjedt elektronállapotok mágnessége. Direkt kicserélődés, atomok és ionok mágnessége. A magnetit. Kinetikus kicserélődés, Mott-átmenet, Mott-szigetelők. A Heisenberg modell, mint a félig töltött nagy-U Hubbard-modell effektív Hamilton-operátora. Heisenberg-mágnesek, a mágneses rendeződés átlagtér, és spinhullám elmélete. Spontán szimmetriasértések a Heisenberg-modellben.

*Irodalom:*

P. Fazekas: Lecture notes on electron correlation and magnetism (World Sci. Singapore, 1999).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF14	2	0	0	v	3			SZV		

### Mágnesség elmélete 2 \*\*

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:*

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

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15AF32	2	0	0	v	2			KV		
BMETE15AF44	0	2	0	f	3			KV		

### Mechanika 2 és Mechanika gyakorlat 2 \*

Szimmetriák, Noether-tétel, mozgásállandók. Kanonikus egyenletek, kanonikus transzformációk, Poisson-zárójelek, integrálhatóság. Egyszerű dinamikai rendszerek. A kaotikus rendszerek alaptulajdonságai. (Hamilton–Jacobi-egyenlet, hatás-szög változók.) A kontinuummechanika alapjai: sebességtér, feszültségtér, mozgásegyenlet, kontinuitási egyenlet. Az energia mérlegegyenlete. Ideális és sűrűdő folyadékok alapegyenletei. Deformálható testek mechanikájának elemei, egyensúly, mozgásegyenletek. Hanghullámok. Folytonos rendszerek Hamilton-elve. Impulzussűrűség, Hamilton-sűrűség. Noether-áramok.

*Irodalom:*

Nagy K.: Elméleti mechanika; L.D. Landau, E.M. Lifsic: Elméleti fizika I-II;

Budó Á.: Mechanika; H. Goldstein: Classical Mechanics;

V.I. Arnold: A klasszikus mechanika matematikai módszerei.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF75	1	2	0	f	5			SZV		

### Mesterséges intelligencia az adattudományban \*\*

Machine learning and neural networks, basics concepts. Linear/logistic regression. Feedforward neural networks, backpropagation. Convolutional neural networks. Practical examples: image re-



cognition, feature detection, natural language processing, temporal data processing, model parameter prediction..

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12AF33</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>				

### Mikro- és nanotechnológiák \*

Mikrotechnológia, nanotechnológia és molekuláris nanotechnológia definíciója, összehasonlítása, egymáshoz való viszonya. A technológia feltételei. Mikro- és nanofizika. Vékonyrétegek leválasztására alkalmas módszerek: fizikai rétegleválasztási módszerek (vákuumpárologtatás, lézerablációs párologtatás, molekulásugaras epitaxiás rétegnövesztés, porlasztás), kémiai rétegleválasztási módszerek (kémiai gőzfázisú leválasztás). Adalékolás (diffúzió, ionimplantáció). Litográfia (foto, röntgensugaras, elektronsugaras, ionsugaras). Rétegtávolítási technológiák: nedves „kémiai” marás, száraz marás (plazma, ionsugaras). Réteginősítési eljárások: röntgendiffrakció, transzmissziós elektronmikroszkópia, pásztázó elektronmikroszkópia, szekunder ion tömegspektrometria, röntgen fotoelektron-spektroszkópia, Auger elektronspektroszkópia, pásztázó alagútmikroszkópia, atomerő mikroszkópia. Vastagréteg technológia: szitanyomtatás, beégetés, vastagréteg paszták. Nanométeres eszközök: egy elektronnal működő eszközök, rezonáns alagúteffektuson alapuló eszközök, mikroelektromechanikai rendszerek, szenzorok. Molekuláris nanotechnológia.

#### Irodalom:

Mojzes I.: Mikroelektronika és technológia. Műegyetemi Kiadó, 2005;

R. Waser (Ed.): Nanoelectronics and ionformation technology, Wiley-VCH, 2003.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12AF34</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>3</b>		<b>KV</b>			

### Mikroszkópia \*

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

#### Irodalom:

Richter P.: Bevezetés a modern optikába I-III.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAO</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>v</b>	<b>4</b>					<b>KV</b>

### Minőségbiztosítás és jogi szabályozás

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 tűréshatárai. 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF55</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>7</b>	<b>KV</b>		<b>KV<sup>1</sup></b>		

### Modern szilárdtestfizika \*\*

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSc) szakon megszerezhető szilárdtestfizika és statisztikus fizika ismeretekre építve a kölcsönható többrészeske rendszerek (elsősorban elektronrendszerek) leírását mutatja be a következő témakörök tárgyalásával: azonos részecskék, másodkvantálás, kölcsönható elektronrendszer Bloch- és Wannier-bázison, fémek ferromágnessége, lineáris válasz elmélet, fémek szuszceptibilitása, árnyékolás, Hartree–Fock-közelítés, spinsűrűség hullámok, Bose-folyadék.

#### Irodalom:

Sólyom J.: A modern szilárdtestfizika alapjai III: Kölcsönhatás az elektronok között (Eötvös Kiadó, Budapest, 2003).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAD</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>f</b>	<b>5</b>		<b>SZV</b>		<b>KV</b>	<b>KV</b>

### Monte Carlo módszerek

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 ge-

nerálásának 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;  
I. Lux, K. Koblinger: Monte Carlo Particle Transport Methods, CRC Press,1991.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA9</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>KV</b>	<b>KV</b>

### Monte Carlo részecsketranszport módszerek

Monte Carlo becslők: analóg becslés, ütközési becslők, úthossz becslő. A becslés szórása, a becslés érték szórása, korrelált mennyiségek becslése, becslők optimális kombinációja. Sorfejtési együtthetők 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. Kritikusági 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, K. Koblinger: Monte Carlo Particle Transport Methods, CRC Press,1991;  
J. Spanier, E.M. Gelbard: Monte Carlo Principles and Neutron Transport Problems, Addison-Wesley, 1969.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11AF41</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>f</b>	<b>3</b>			<b>KV</b>		

### Műszaki és fizikai problémák számítógépes megoldása \*

A tárgy keretében a félév során 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: Numerikus módszerek I-III. MATLAB documentation set.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF54</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>f</b>	<b>4</b>	<b>KV</b>				

### Nanotechnológia laboratórium

A tárgy célja a nanotechnológia területén használt előállítási technológiák és vizsgálati módszerek elvi és gyakorlati szintű, az alkalmazási lehetőségekre is kiterjedő megismertetése. Az egyes laboratóriumi gyakorlatok során ismertetésre kerül egy-egy mérési módszer elve, a minta-előkészítés és -mérés technikai feltételei, valamint a mérésből nyerhető információk és azok kiértékelése. Bemutásra kerülnek gyakorlati mérési példák és az azokból nyerhető technológiai információk. A laboratóriumi gyakorlat során a hallgatók az egyes részfeladatokat a lehetőségekhez mérten önállóan végzik. A mérések esetenként egy miniprojekt keretében csatlakozhatnak egy technológiai laboratóriumi gyakorlathoz, így a hallgató a mintakészítéstől a mérés kiértékelésig átfogó képet kaphat a nanotechnológia egy-egy szakterületéről. A nanotechnológia laboratórium meghatározó részét képezi egy több napos projektmunka, melynek keretében a hallgatók nanoáramköröket gyártanak modern litográfiai módszerekkel. A kiválasztott módszerek mindegyikéről az adott témával foglalkozó elismert szakember tart laborgyakorlatot Budapesten, az elérhető legújabb berendezések mellett. Tervezett témakörök: Tisztatér bemutatása, alapstruktúra készítése fotolitográfiával, tervezérelt tranzistor készítése félvezető nanovezetékből elektronsugár-litográfiával, kontaktusok párologtatása UHV rétegleválasztó rendszerrel, az elkészült áramkör karakterizálása elektronmikroszkóppal, atomerő mikroszkóppal és elektromos transzport mérésekkel. Exfoliált grafén elhelyezése Si hordozón, megtekintés optikai mikroszkóppal, rétegszám vizsgálata Raman-mikroszkóppal, grafén minta vizsgálata AFM-el és STM-el. Vizsgálatok transzmissziós elektronmikroszkóppal.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMEVEFAA707</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>		<b>KV</b>	<b>KV</b>

### Nemkonvencionális anyagok

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF59</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>		<b>KV</b>			

### Nemlineáris optika alapjai és alkalmazásai

Optikai adatátvitel: eikonál-egyenlet, szendvics szerkezet, egy és többmódusú optikai szálak, módusok, diszperzió, energia-viszonyok, száloptikai csatolók, meta-anyagok, csatolt módusok perturbációs elmélete, DFB lézer, szál-lézer, szálerősítők, száloptikai hálózatok, polarizáció-kontroll, egyéb alkalmazások (száloptikai mérések, optikai giroszkóp, stb.) Nemlineáris optika: kristályoptika, nemlineáris (klasszikus) optika, optikai aktivitás elmélete, Jones-féle számítás, lineáris- és másodrendű elektrooptikai jelenség (Kerr-, Faraday-, Zeeman-, Cotton–Mouton-effektus, stb.), nemlineáris kristályok, másodharmonikus keltés, Maxwell–Bloch-egyenletek, forgóhullámú közelítés, inhomogén kiszélesedés, területi elv, önindukált átlátszóság, fázis moduláció, telítődési jelenségek, nemlineáris spektroszkópia, haladó hullámú erősítés, parametrikus folyamatok, önfokuszálás, a nemlineáris impulzusterjedés alapjai, szolitonok, csillapodás, diszperzió, foton-párkeltés. Alkalmazások: kvantumradár, kvantum teleportáció, QKD, CQKD, a foton állapotának mérése, stb.

*Irodalom:*

Nussbaum, Phillips: Modern optika;  
Allen, Eberly: Optical resonance and two-level atoms;  
Mandel, Wolf: Optical coherence and quantum optics;  
Nussenzweig: Introduction to quantum optics.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	<b>KV</b>

### **Neutron- és gammatranszport számítási módszerek**

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSc) szakon a Reaktorfizika c. 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAF</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>SZV</b>	

### **Nukleáris elektrodinamika**

Kovariáns perturbációszámítás, S-mátrix. Kvantumtérelmélet alapjai, kvantált terek. Elektromágneses sugárzás és anyag kölcsönhatása (pl.: deuteron fotodezintegrációja). Elektron-atommag kölcsönhatás: rugalmas szórás (Möller-potenciál), rugalmatlan szórás, kollektív gerjesztések. Lézer-elektron-atommag csatolt folyamatok.

*Irodalom:*

A.I. Akhiezer, A. G. Sitenko, V. K. Tartakovszkii: Nuclear Electrodynamics;  
J. M. Eisenberg, W. Greiner: Nuclear Theory (Vol. 1-2).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAR</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>v</b>	<b>4</b>					<b>KV</b>

### **Nukleáris medicina**

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. Izo-

tópdiaosztika gamma-kamerás síkleképezéssel: alkalmazott forrástípusok, határfok, 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 előállítás gyorsítóiban, 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, 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF08</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>s</b>	<b>0</b>				<b>KR</b>	

### Nukleáris technika szigorlat

A vizsga során összefoglaló áttekintésről kell bizonytságot adni a magfizika (kísérleti és elméleti), a sugárvédelem és a nukleáris mérés technika területén szerzett ismeretekről.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	

### Nukleáris üzemanyagciklus

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 kiégett 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:*

Csom Gy.: Atomerőművek üzemtana, II/1. kötet, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004;

Csom Gy.: Atomenergia rendszerek nukleáris üzemanyag-ciklusának továbbfejlesztési lehetőségei, Akadémiai Kiadó, 1988.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE92MF00</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>f</b>	<b>6</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>K</b>

### Numerikus módszerek

MATLAB numerikus szoftver használata. Hibaszámítás. Lineáris egyenletrendszerek direkt és iteratív megoldása: Gauss-elimináció, Gauss-transzformáció. Matrikák faktorizációi. Lineáris egyenletrendszerek kondicionáltsága. Jacobi-, Seidel-, SOR iteráció; az iteráció konvergenciája, hibabecslése. Optimalizációs típusú eljárások lineáris egyenletrendszerek megoldására. Sajátértékek becslése. Hatványmódszer mátrixok sajátérték-sajátvektor feladatára. Inverz hatvány módszer. Matrikák speciális alakra való transzformálása. Jacobi módszer sajátértékek és sajátvektorok meghatározására. QR módszer sajátértékek meghatározására. Közöséges interpoláció polinommal. Hermite-féle interpoláció. Interpoláció harmadfokú spline-nal. Közelítés legkisebb négyzetek értelemben polinommal és trigonometrikus polinommal; trigonometrikus interpoláció; a gyors Fourier-transzformáció alapja. Numerikus integrálás: Newton–Cotes-formulák és alkalmazásuk. Gauss-típusú kvadraturák. Nemlineáris egyenlet-rendszerek megoldása. Polinomok gyökei. Közöséges differenciál-egyenletek kezdetiérték feladatainak numerikus megoldása: egylépéses módszerek alapfogalmai; Runge–Kutta-formulák, egylépéses módszerek stabilitása, konvergenciája és hibabecslése. Többlépéses módszerek.

*Irodalom:*

Faragó I., Horváth R.: Numerikus módszerek, egyetemi jegyzet, 2013;  
 Faragó I., Fekete I., Horváth R.: Numerikus módszerek példatár, egy. jegyzet, 2013;  
 S. Gisbert: Matlab – Frissített kiadás. Numerikus módszerek, grafika, statisztika, eszköztárak, Typotex, 2011.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12AF35</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>4</b>		<b>KV</b>			

**Optika \***

Fénymodellek. Fermat-elv, Huygens-elv, Huygens–Fresnel-elv. Hullámegyenlet. Fényterjedés abszorbens közegben. Fény reflexiója és transzmissziója sík határfelületen. Totálreflexió, elhaló hullám, Brewster-effektus. Geometriai optika. Eikonál-egyenlet. Paraxiális optika, mátrix optika. Fósiók fogalma. Két- és többsugaras interferencia, alapvető interferométerek (Michelson, Mach–Zehnder). Optikai rács felbontóképessége. Fabry–Perot-interferométer. Skalár diffrakció, Fresnel–Kirchoff-integrálformula. Fraunhofer- és Fresnel-közelítés. Négyzög- és körapertúra távolférfi diffrakciója. Szinuszos rács Fraunhofer-diffrakciós képe. Polarizáció. Polarizáció-érzékeny optikai elemek. Kettöstörés. Ordinárius és extraordinárius nyaláb. Fény terjedése anizotróp közegben. Polarizációs prizmak. Fázistoló és polarizációt forgató lemezek. Statisztikus optika. Időbeli és térbeli koherencia. A koherencia-függvény kapcsolata az interferogram láthatóságával és a fényforrás spektrális teljesítménysűrűségével.

*Irodalom:*

Richter P.: Bevezetés a Modern Optikába I.; Klein, Furtak: Optics.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF77</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>			

**Optikai anyagok és technológiák**

A tárgy az elektromágneses fényelmélet és a szilárdtestfizika eredményeire alapozva megismerteti a hallgatóságot a fény és anyag közötti kölcsönhatás gyakorlati megvalósulásával. Tárgyalja az optikai elemek előállítására alkalmazható anyagokat és azok legfontosabb tulajdonságait. Ismerteti az

előállítási technológiákat és azok eszköz rendszerét, beleértve a a tömbi üveg és kristályos alapanyagok tulajdonságait meghatározó (orientáció) és módosító (diffúzió, ioncsere, protoncsere stb.) technológiákat, a legfontosabb felületkialakító eljárásokat (csiszolás, polírozás, maratás stb.) és azok minősítési módszereit. Diákjaink elsajátítják a vékony réteg optikák (tükrözés gátló rétegszerkezetek, interferencia szűrők, stb.) tervezésének, gyártásának és minősítésének alapjait. Betekintést nyernek a felületi struktúrák és a hullámvezetők létrehozásának témakörébe és ezáltal eljutnak a korszerű integrált optikai eszközök működésének, gyártástechnológiai problémáinak megértéséhez.

*Irodalom:*

Kocsányi L., Várkonyi S.: Optikai anyagok és technológiák.

Bevezetés a modern optikába II (Műegyetemi Kiadó, 1988, szerk. Richter Péter) 5. fejezet.

Horne: Optical production technology, 2nd edition.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF19</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>		<b>KV</b>			<b>KV</b>

### Optikai jelfeldolgozás és adattárolás

A tantárgy az Optika c 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 összehasonlítás 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;

B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics Wiley Series in Pure and Applied Optics. 2. Edition – 2007;

H. Guenther: International Trends in Applied Optics.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF21</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>		<b>KV</b>			

### Optikai mérés technika

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. Fényvezetősál 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;  
B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics Wiley Series in Pure and Applied Optics. 2. Edition 2007.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF54	3	0	0	v	5	KV	KV	KV		KV

### Optikai spektroszkópia az anyagtudományban

Elektromágneses hullám terjedése izotróp közegekben, határfelületek, komplex válaszfüggvények, Kubo-formula, Kramers-Kronig összefüggés; atomi spektroszkópia, röntgenemissziós és -abszorpciós spektroszkópia; itineráns és sávelektronok gerjesztései, excitonok, plazmonok, szín-centrumok; forgási és rezgési átmenetek, Fourier-transzformációs és Raman-spektroszkópia; Idő-felbontásos spektroszkópia, pumpa-próba kísérletek; Közeltér mikroszkópia.

*Irodalom:*

- H. Kuzmany: Solid State Spectroscopy, an Introduction, 2nd Edition, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.  
Kamarás K.: Spektroszkópia és anyagszerkezet. Bevezetés a modern optikába V. kötet, Műegyetemi Kiadó, 2000.  
M. Dressel, G. Grüner: Electrodynamics of Solids, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF78	2	2	0	v	6		KV			KV

### Optikai tervezés

A tárgy az 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 tervező-programok 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF21	2	0	0	v	3		SZV			

### Optoelektronikai eszközök

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.

*Irodalom:*

Saleh, Teich: Fundamentals of Photonics (John Wiley, 1991);

Blackwell, Thornton: Mastering Optics: An applications guide to optical engineering (McGraw-Hill, 1996).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAM</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>v</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	<b>KV</b>

### **Orvosbiológiai célú radionuklidok előállítása és felhasználása**

Radionuklidok előállítása orvosi célokra: az izotóptermeléshez szükséges nukleáris adatok; reaktoros termelés, termelés részecskegyorsítókkal. Gyorsítótípusok. Radionuklid generátorok. A besugárzott targetek radiokémiája a radionuklidok előállítása során. Ciklotronok egyéb alkalmazásai. A legfontosabb diagnosztikai célú izotópok előállítása. Gyorsítók használata a terápiában, az endoradioterápiában használt legfontosabb izotópok. Molekuláris nukleáris képalkotás. PET és SPECT radiofarmakonok. Kismolekulás gyógyszer-hatóanyagok, makromolekulák, bioszimiláris és liposómás gyógyszerek radioizotópos jelölése. Modern elválasztástechnikai módszerek az orvosbiológiai célú radiokémiában..

*Irodalom:*

Radiochemistry and Radiopharmaceutical Chemistry in Life Sciences (Handbook of Nuclear Chemistry Vol. 4. Ed. Vértes et);

S.M. Qaim: New trends in nuclear data research for medical radionuclide production (Radiochim. Acta 101. 473. 2013).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF87</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>s</b>	<b>0</b>					<b>KR</b>

### **Orvosi fizika szigorlat**

A vizsga során összefoglaló áttekintésről kell bizonytságot adni a magfizika (kísérleti és elméleti), a funkcionális anatómia, a rendszerélettan, az orvosi képalkotás és a sugárterápia fizikai alapjai területeken szerzett ismeretekről.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAN</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>				<b>KV</b>	<b>KV</b>

### **Orvosi képalkotás**

A tantárgy célkitűzése az orvosi képalkotás matematikai és informatikai eszköztárának megismertetése a hallgatókkal.

*Tematika:* A kép fogalma, matematikai leírása, a képminőség jellemzése (Kontraszt, geometriai felbontás, zaj, detektálási kvantumhatásfok, jel-zaj viszony, MTF), képképzési 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 tomográfiai rekonstrukció gyakorlata.. Multimodalitású rendszerek, regisztráció, szegmentáció, fúzió. Képarchiváló és kommunikációs rendszerek, képtömörítés, DICOM szabvány.

*Irodalom:*

F. Natterer, F. Wübbeling: Mathematical Methods in Image Reconstruction, SIAM, 2001;  
 B. Bendriem, D.W. Townsend: The Theory and Practice of 3D PET, Springer 1998.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF71</b>						<b>K</b>				
<b>BMETE12MF69</b>							<b>K</b>			
<b>BMETE11MF07</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>f</b>	<b>7</b>			<b>K</b>		
<b>BMETE80MF06</b>									<b>K</b>	
<b>BMETE80MF85</b>										<b>K</b>
<b>BMETE12MF72</b>						<b>K</b>				
<b>BMETE12MF70</b>							<b>K</b>			
<b>BMETE11MF32</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>f</b>	<b>13</b>			<b>K</b>		
<b>BMETE80MF52</b>									<b>K</b>	
<b>BMETE80MF72</b>										<b>K</b>

**Önálló laboratórium 1 - 2**

A tantárgy keretében a hallgatók diplomamunkájuk témakörében végeznek kutatási feladatokat témavezetőjük irányításával.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF32</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	<b>KV</b>

**Radioaktív anyagok terjedése környezeti és biológiai rendszerekben**

Radioaktivitás megjelenése a környezetben – okok és kibocsátási folyamatok. Az akut és krónikus kibocsátások. A kibocsátási forrástagok jellemzői. Sztatikus és dinamikus transzportszámítások általános struktúrája. Radioaktivitás terjedése homogén és heterogén környezeti rendszerekben. Homogén rendszerek: levegő, felszíni vizek, karsztvizek. Szeretlen heterogén rendszerek: talaj és talajvíz, kőzetek. Biológiai transzportfolyamatok növényi struktúrákban, állati szervezetekben és az emberi szervezetben. Összetett környezeti terjedési programok (kibocsátás + terjedés + immiszió + sugárterhelés), ezek szerepe a nukleárisbaleset-elhárításban. A környezeti monitorozás elve, eszközei és kivitelezése. A terjedési modellek és a környezeti monitorozás kapcsolata, a validálás lehetőségei és módszerei.

*Irodalom:*

Hydrological Dispersion of Radioactive Material in relation to Nuclear Power Plant Siting 50-SG-S6, IAEA, Wien, 1985;

D. Petruzzelli: Migration and Fate of Pollutants in Soils and Subsoils NATO ASI Series vol. 32. Berlin, 1993;

Gács I.: Szennyezőanyagok légköri terjedése. Előadásjegyzet. BME Energetika Tanszék, 1996.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF31</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>v</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	<b>KV</b>

### **Radioaktív hulladékok biztonsága**

A radioaktív hulladékokra vonatkozó nemzetközi és magyarországi szabályzás elvei és gyakorlata, a radioaktív hulladékok összetett kategorizálásának alapjai, kapcsolata a sugárvédelem más területeivel. Kategorizálás a hulladékok aktivitás-koncentrációja, felezési ideje, halmazállapota és a hulladékcsomagok egyéb sajátosságai alapján. A radioaktív hulladék keletkezésével járó tevékenységek bemutatása, az egyes alkalmazásokhoz kapcsolható hulladékok fizikai, kémiai és sugárvédelmi sajátosságai. Üzemeltetési és leszerelési radioaktív hulladékok. A radioaktív hulladékok feldolgozásának, immobilizálásának és biztonságos elhelyezésének részletes bemutatása, a nukleáris és sugár-egészségügyi biztonság szempontjainak kiemelésével. Egyes hulladékfajták újrahasznosítása. A radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezésének minősítésére szolgáló analitikai és anyagvizsgálati eljárások.

*Irodalom:*

Ormai P.: Nemzetközi és hazai törekvések a radioaktív hulladékok biztonságos kezelésére és elhelyezésére (RHK Kht. 2003);

Zagyvai P. és mások: A nukleáris üzemanyagciklus radioaktív hulladékai (MTA EK 2013).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA7</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>v</b>	<b>6</b>				<b>KV</b>	<b>KV</b>

### **Radioanalitika**

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 elemanalitikában 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).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE80MF38	3	1	0	v	4				KV	

### Reaktorfizikai számítások

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE80MFAA	2	1	0	v	4				KV	

### Reaktorszabályozás és műszerezés

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 hátról 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15AF46	2	0	0	v	3			KV		

### Relativitáselmélet \*

Minkowski-tér-idő, négyesvektorok. Lorentz- és Poincaré-csoport. Idődilatáció, hosszkontrakció, egyidejűség relativitása. Sebesség összeadási formula, rapiditás. Kauzalitás, Zeeman-tétel. Saját-idő, négyessebesség, négyesgyorsulás. Hiperbolikus mozgás. Relativisztikus dinamika. Ekvivalencia elv. Súlyos és tehetetlen tömeg egyenlősége. Kovariancia elve. Geodetikus hipotézis, lokális inerciarendszerek. Riemann és pszeudoriemann geometria, Christoffel-szimbólumok, geodetikusok. Kovariáns deriválás, parallel transzport. Newtoni limesz, a metrikus tenzor és a gravitációs potenciál kapcsolata. A geodetikus egyenlet levezetése variációs elvből. A Riemann-tenzor és tulajdonságai. Riemann-tenzor és parallel transzport zárt görbe mentén. A geodetikus deviációs egyenlet. Ricci-tenzor, skalárgörbület, Bianchi-identitás, Einstein-tenzor. Energia impulzus tenzor, kontinuitási egyenlet, megmaradási törvények. Einstein-egyenletek, Einstein-Hilbert-hatás. Kozmológikus tag. Schwarzschild-megoldás. A Merkúr perihélium vándorlása.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF53	2	1	0	v	4			SZV		

### Rendezetlen rendszerek fizikája \*\*

Strukturális rendezetlenség: Polimerek, fraktálok, folyadékok, üvegek, kvázikristályok. Amorf fémek. Perkoláció. Rendezetlen ferromágnesek: Hiszterézis és Preisach-modell. Doménfal mozgás: lavinák, Barkhausen-zaj és átlagtér-elmélet. Szuperparamágnesség, Griffith-fázis. Frusztrált spin rendszerek és spin-üvegek: Spin-üvegek fenomenológia, a Sherrington–Kirkpatrick-modell és a TAP-egyenlet. A replika-szimmetrikus megoldás, replika szimmetriasértés és rendparaméter. Spin-üvegek droplett-modellje. A lokalizációs kvantum-fázisátalakulás: Szennyezett rendezetlen félvezetők, és a lokalizációs átalakulás jelensége. Anderson elmélete: inverz részvételi arány, lokális állapotsűrűség, és Anderson tétele. A lokalizáció skálaelmélete. A Coulomb-üveg. Kritikus hullámfüggvény és multifraktálok. Kvantum-üvegek: A Bose-üveg. A Fisher-féle skálázás és az erős rendezetlenség fixpont.

*Irodalom:*

K.H. Fischer, J.A. Hertz: Spin Glasses, Cambridge University Press, 1993;  
 E. Akkermans, G. Montambaux, J.L. Pichard, J. Zinn-Justin: Mesoscopic Quantum Physics, North Holland, 1996.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMEVIEUM273</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>4</b>					<b>KV</b>

**Rendszerélettan**

Ismertetésre kerülnek az emberi test sejtjeinek, szerveinek és szervrendszereinek alapvető élettani folyamatai. Tárgyaljuk a sejtszabályozás, a membránelektromosság, az izomműködés, a vérkeringés, a légzés, a táplálkozás és tápanyag feldolgozás, a kiválasztás, a hormonális szabályozás az érzékszervi és idegrendszeri működés főbb jelenségeit és a közöttük lévő összefüggéseket. Bemutatjuk a fontosabb tudományos és klinikai diagnosztikus vizsgálatok élettani alapjait. A rendszerélettani szemléletet követve tárgyaljuk a test homeosztázisának meghatározó szabályozási köreit, azok módosulásait különböző élettani és népegészségügyi szempontból fontosabb kórállapotokban. A hallgatók előtt így ismeretessé válnak a gyakrabban végzett tudományos, klinikai diagnosztikus mérések és terápiás beavatkozások élettani háttérfolyamatai. Képesse válnak arra, hogy ilyen műszerek, mérési feladatok, adatkezelési-feldolgozási feladatok fejlesztése, tervezése, kivitelezése, a berendezések beüzemeltetése és működtetése során az érintett élettani mechanizmusokat áttekintsék és az orvosi, valamint műszaki szakértők közötti nélkülözhetetlen kommunikációt megvalósítsák.

*Irodalom:*

Fonyó A., Ligeti E.: Az orvosi élettan tankönyve. 4 kiadás, Medicina, Budapest, 2008;  
 A.C. Guyton, J.E. Hall: Textbook of Medical Physiology. 11th ed., Saunders, Philadelphia, 2006;  
 Monos E: Hemodinamika: a vérkeringés biomechanikája. Semmelweis Kiadó, Budapest, 2005;  
 Monos E: A vénás rendszer élettana, 3 kiadás, Semmelweis E KODK, Budapest, 2004.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF72</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>

**Részecskefizika \*\***

A tárgy célja: a részecskefizika alapvető jelenségeinek, modelljeinek és kísérleti módszereinek áttekintése.

Tematika: Részecskék felfedezése, tulajdonságaik, rendszerezésük kölcsönhatásaik és szimmetriaelvek alapján. Lokalitás, relativisztikus mezők. Dirac-egyenlet. Elektromágneses kölcsönhatás.

Mértékinvariancia. Erős kölcsönhatás. Izospin szimmetria. SU(3) kvarkmodell alapjai, hadronok. A szín felfedezése. Kvantumszindinamika alapjai. Gyenge kölcsönhatás. Neutrínók. Paritás sértés, CP sértés. CPT szimmetria. Fermi-elmélet alapjai. FCNC probléma, GIM mechanizmus. W és Z közvetítő bozonok, valamint a Higgs-bozon felfedezése. Részecskegyorsítók. Részecskék detektálásának elvei, detektorok. A részecskefizika nyitott kérdései, perspektívák.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAC</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>4</b>				<b>KV</b>	

## Röntgen- és gamma spektrometriai módszerek

Röntgen és gammaforrások: röntgensövek, radioaktív izotópok mint röntgen- és gammaforrások, szinkrotronok. Röntgen/gammasugárzás és anyag kölcsönhatásai: fényelektromos jelenség, szórás jelenségek, reflexió, polarizáció, fékezési sugárzás, párkeltés, abszorpció. Röntgen és gammadetektorok: gáztöltésű, szcintillációs, félvezető és szupravezető detektorok működése, mérés technikai tulajdonságaik, röntgen és gamma spektroszkópiai alkalmazásai. Hatásfok és válaszfüggvény. Energiadisziperzív 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 röntgen vonalak intenzitása: ionizációs valószínűség, fluoreszcencia hozam, abszorpciós él, abszorpciós függvények. Matri克斯 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 röntgenanalitikai 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 környezetvédelmi alkalmazások. Abszorpciós röntgenspektrometria: az abszorpciós függvény távoli- és él-közeli finomszerkezete, kísérleti lehetőségek, alkalmazások a kémiai és biológiai szerkezetkutatásban. A gammaspektroszkópia alkalmazásai.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAC</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>4</b>					<b>KV</b>

## Röntgendiagnosztika fizikai alapjai

Röntgensugárzás és anyag kölcsönhatási jelenségei: fényelektromos jelenség, rugalmas szórás, Compton-jelenség, röntgensugarak reflexiója, polarizáció, fékezési sugárzás keletkezése és tulajdonságai, párkeltés folyamata, abszorpciós jelenségek. Röntgenforrások: röntgenszó, röntgengenerátor, radioaktív izotópok, szinkrotron. Röntgendetektorok: film, fluoreszcens ernyők, gáztöltésű, szcintillációs és félvezető detektorok, matriخذetektorok, mérés technikai tulajdonságaik, hatásfok- és válaszfüggvény, holtidő, ko-incidencia. Röntgenyaláb abszorpciója, szűrők, röntgenoptikai elemek, megjelenítő eszközök. Radiológiai képalkotás elemei: nagyítás, szórás szerepe a zaj keletkezésében, kontraszt, felbontás, műtermékek. Dual energy X-ray absorptiometry technika. Komputertomográfia 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 legyez

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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF68</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>6</b>			<b>KV</b>		

**Soktestprobléma 1 \*\***

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 és statisztikus fizikai ismereteket tételez fel, ugyanakkor lapozó jellegű, ismerete szükséges számos elméleti fizikai tárgy felvételéhez (pl. Egydimenziós rendszerek fizikája, Soktestprobléma II, Rendezetlen rendszerek fizikája stb.)

*Tematika:* A másodkvantált formalizmus, a Green-függvények definíciói és kapcsolatuk mérhető mennyiségekkel, Heisenberg-, Schrödinger-, és kölcsönhatási kép, perturbációs számítás, diagramtechnika (Wick-tétel, Feynman-gráfok), újrafelösszegzések (sajátenergia, vertex függvény, csontváz diagramok), mozgásegyenletek. A technikát megismerése után alkalmazzuk nagy sűrűségű elektrongáz energiájának tárgyalására, Friedel-oszcillációk számolására, az Anderson-féle ortogonalitási katasztrófa és a Fermi-él szingularitás megértésére. Meghatározzuk a lokális mágneses momentumok RKKY kölcsönhatását, kidolgozzuk egy két-dimenziós antiferromágnes átlagtér elméletét, valamint jellemezzük a grafén alacsony energiás gerjesztéseit leíró marginális Fermi-folyadékot. Megismerkedünk a renormalizációs csoport alapjaival és alkalmazzuk egy két-dimenziós kvadrati-kus sávkeresztelés instabilitásainak vizsgálatára. A tárgyhoz kapcsolódó gyakorlatok során a diagramtechnikával kapcsolatos példákat oldunk meg, konzultációs jelleggel.

*Irodalom:*

G.D. Mahan: Many-Particle Physics (Plenum Press, New York and London, 1981);

A.A. Abrikosov, L.P. Gorkov, I. Dzialoshinskii: Methods of Quantum Field Theory in Statistical Mechanics (1963).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF69</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>4</b>			<b>SZV</b>		

**Soktestprobléma 2 \*\***

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.



*Tematika:*: 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 (kölsönható gázok termodinamikája, kvantum transzport, szupravezetés, Hartree–Fock-módszer, RPA).

*Irodalom:*

G.D. Mahan: Many-Particle Physics (Plenum Press, New York and London, 1981);

A.A. Abrikosov, L.P. Gorkov, I. Dzialoshinskii: Methods of Quantum Field Theory in Statistical Mechanics (1963);

Bruus, Flensberg: Many-body quantum theory in condensed matter physics (Oxford UP, 2004).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF73	2	1	0	v	5	KV	KV	K	KV	KV

### Statisztikus fizika 2 \*\*

Kritikus jelenségek: Skálázás és kritikus exponensek, a renormálási csoport alapjai, korrelációs függvények és Ginzburg-kritérium. Magas hőmérsékletű sorfejtés. Időfüggő korrelációk: Egyensúlyi korrelációk, klasszikus fluktuációk, Onsager-relációk. A sűrűség operátor, Neumann-egyenlet, Neumann entrópia. Kubo-formula, fluktuáció-disszipáció tétel. Nem egyensúlyi dinamika: Brown-mozgás, diffúzió, Langevin-egyenlet, Fokker–Planck-egyenlet. Mester-egyenlet, H-tétel, maximális entrópia elve. Részletes egyensúly és Monte Carlo szimulációk. Szimulált hőkezelés. Kölsönható kvantum-rendszerek: Szuperfolyékonyság, Gross–Pitaevski-egyenlet, kvantum-gázok. Fermi-folyadék elmélet.

*Irodalom:*

Kertész J., Zaránd G., Deák A.: Statisztikus fizika jegyzet;

D. Chandler: Introduction to Modern Statistical Physics.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF64	2	1	0	v	4			SZV		

### Statisztikus térelmélet \*\*

A tantárgy bevezetést nyújt a relativisztikus kvantumtérelmélet statisztikus rendszerekre történő alkalmazásaiba.

*Tematika:* Kritikus jelenségek, skálázás, skálainvariancia. Térelméleti leírás alapjai. Skálainvariancia, konform szimmetria tetszőleges dimenzióban. Két-dimenziós konform térelméletek. Virasoro-algebra. Operátorok osztályozása, operátor-állapot megfeleltetés. Állapottér és partíciós függvény. Operátoralgebra. Korrelációs függvények konform térelméletekben. A kritikus pont környezetének leírása. Renormálási csoport folyamok. Releváns és irreleváns perturbációk. Megmaradó mennyiségek. Integrálható kvantumtérelméletek. Analitikus S-mátrix elmélet, bootstrap. Form faktorok és korrelációs függvények integrálható kvantumtérelméletekben. Véges méret effektusok leírása. Termodinamikai Bethe Ansatz és csonkolt állapottér módszer. Nemintegrálható modellek.

*Irodalom:*

Mussardo: Statistical Field Theory; Itzykson, Drouffe: Statistical Field Theory.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF70</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>3</b>					<b>K</b>

## Sugárbiológia

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

Pesznyák Cs., Sáfrány G. (szerk): Sugárbiológia elektronikus tankönyv;

E.J. Hall, A.J. Giaccia: Radiobiology for the Radiologist. Lippincott, Williams & Wilkins, Philadelphia, USA;

Sugáregészségtan, szerk.: Köteles Gy., Medicina Kiadó, Budapest, 2002.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAP</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>					<b>KV</b>

## Sugárterápia 2

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

*Tematika:* Sztereotaxiás agyi sugársebészet és extracraniális sztereotaxia fizikai alapjai, a kezelési módszerek, metszetkép-alkotó eljárásokon alapuló 3D-s besugárzástervezés, dozimetriája és minőségbiztosítása. – 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. – 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MF94</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>v</b>	<b>4</b>					<b>K</b>

## Sugárterápia fizikai alapjai

A tantárgy célkitűzése, hogy a sugárterápiához kapcsolódó orvosi fizikai fogalmakat, mérés technikai problémákat és a besugárzás-tervezéshez kapcsolódó kérdéseket megismertesse a hallgatókkal.

*Tematika:* 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;

F. Khan: The Physics of Radiation Therapy 2nd ed., Williams & Wilkins, 1994.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFA8</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>v</b>	<b>5</b>				<b>KV</b>	

## Sugárvédelem 2

A tantárgy a Fizika alapképzési 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 számítás-sal történő meghatározásait mutatja be.

*Tematika:* Dózisfogalmak részletes elemzése, az egyes fogalmak speciális problémái (KERMA és elnyelt dózis, egyenértékdózis 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).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAL</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>f</b>	<b>5</b>					<b>K</b>

## Sugárvédelem az orvosi fizikában

A fizikai és biológiai dózisfogalmak áttekintése (KERMA és elnyelt dózis, relatív biológiai hatásosság a determinisztikus hatás jellemzésére, egyenértékdózis és effektív dózis a sztochasztikus hatások értékelésére). LNT – pro és kontra. Dózis/kockázat-alapú sugárvédelmi szabályzási rendszer. Dóziskorlát, dózismegszorítás. Kibocsátási korlát. Mentességi szint. A külső dózis- és dózisteljesítmény mérési elve és kivitelezése, eszközei, a mérések kiértékelése. A belső sugárterhelés számítása. A belső sugárterhelés meghatározásához szükséges mérési eljárások – egésztest- és résztest-számlálás, környezeti analízis. Környezeti és biológiai minták instrumentális analízise. A mesterséges eredetű radioizotópok alkalmazásai, kikerülésük a környezetbe. Sugárveszélyes munkahelyek az egészségügyben, munkahelyek tervezése. Személyi sugárvédelem. Radioaktív források szállítása és hulladék-kezelés. Sugárbalesetek az orvosi fizika különböző területein. Páciens védelem és beteg dózis. Sugáregészségtan alapjai. Sugárbalesetek megelőzése és baleseti helyzetek kezelése. Sugárterápiás intézet részegységeinek sugárvédelmi tervezése. Zárt és nyitott radioaktív

készítmények használata. A nem ionizáló sugárzások megjelenési formái, lehetséges élettani hatásai. A nem ionizáló sugárzások alkalmazásai és korlátozásának rendszere.

*Laboratóriumi gyakorlatok:* Egésztest-számlálás. Sugárvédelmi mérések a klinikumban. Sugárterápiás és röntgendiagnosztikai munkahelyek sugárvédelmi tervezése.

*Irodalom:*

Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities (IAEA STS No 47);

Sugárvédelem, szerk.: Fehér I., Deme S., ELTE, Eötvös Kiadó, 2010.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF74</b>						<b>KR</b>				
<b>BMETE12MF73</b>							<b>KR</b>			
<b>BMETE11MF09</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>a</b>	<b>0</b>			<b>KR</b>		
<b>BMETE80MF09</b>									<b>KR</b>	
<b>BMETE80MF88</b>										<b>KR</b>

### Szakmai gyakorlat

**NA, OP:** Az Önálló laboratórium 1 tárgy teljesítését követően a hallgatók konzulensük irányításával és ellenőrzésével végeznek szorgalmi időn kívül három hetes önálló elméleti vagy kísérleti munkát választott témájukban, melynek célja a témában való elmélyedés és a kitűzött célok megvalósítása. Az eredményes szakmai gyakorlat elvégzése után kerül sor a diplomatéma rögzítésére.

**NT, OF:** A három hetes nyári szakmai gyakorlat alatt a specializációval, ill. a diplomamunka témájával kapcsolatos üzem-, ill. intézménylátogatást, valamint önálló kutatómunkát kell végezni. A szakmai gyakorlatról írásbeli beszámolót kell készíteni, amelyet a szakmai gyakorlat(oka)t vezető oktatóval láttamoztatni és véleményeztetni kell.

**KF:** A tantárgy keretében a hallgatók diplomamunkájuk témakörében végeznek kutatási feladatokat diplomatéma vezetőjük irányításával.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11AF38</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>f</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>	<b>SZV</b>	<b>KV</b>	<b>SZV</b>	<b>SZV</b>

### Számítógépes mérésvezérlés \*

A tárgy alapvető célja a számítógépes mérésvezérléssel kapcsolatos ismeretek elsajátítása, illetve rutinszerzés mérőműszerek és adatgyűjtő kártyák programozásában. Ehhez a következő témakörök kerülnek ismertetésre: kommunikáció a műszerekkel soros, GPIB és USB porton keresztül; számítógépes adatgyűjtő kártyák programozása; komplex műszervezrlő felületek létrehozása, adatok ábrázolása és mentése, eseménysorok programozása, számítógéppel gyűjtött adatok online kiértékelése a mérésvezérlő szoftverrel.

A kurzust kéthetente megtartott, alkalmanként 4 órás számítógépes laboratóriumi gyakorlat formájában tartjuk. A félév első felében a szükséges programozási alapismereteket ismertetjük, melyeket a hallgatók rövid példaprogramokon keresztül gyakorolnak be. A félév második felében a hallgatók önállóan hoznak létre három komplex mérésvezérlő/adatkiértékelő felületet (pl. függvényillesztő modul programozása, digitális multiméter vezérlő felület programozása, számítógépes oszcilloszkóp készítése mérőkártya segítségével).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11AF39</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>f</b>	<b>3</b>	<b>KV</b>	<b>KV</b>	<b>SZV</b>	<b>SZV</b>	<b>SZV</b>

### Számítógépes mérésvezérlési projektmunka LabVIEW környezetben \*

A tantárgy célja, hogy a hallgatók megismerjék a számítógépes adatgyűjtés és mérésvezérlés alapjait a széles körben elterjedt grafikus LabVIEW programozási környezetben. A kurzus második felében a hallgatók egy önálló projektmunkát készítenek LabVIEW környezetben, National Instruments adatgyűjtő kártyát használva.

*Tematika:* LabView alapok: a fejlesztői környezet kezelése, a VI-ok elemei. A Front Panel és a Block Diagram. SubVI-ok, Express VI-ok. A grafikus programozás alapjai, dataflow-elv, párhuzamosítás, változók, globális változók. Programozási szerkezetek, ciklusok, elágazások. Programozási minták és technikák. Fájlkezelés, műszerekkel való kommunikáció. Időzítés. Versenyhelyzetek és kiküszöbölésük. Adattípusok, tömbök, struktúrák. Hibakezelés. Grafikus ábrázolás. Eseményen alapuló vezérlés, a felhasználói felület módosítása futási időben. Adatgyűjtés és mérésvezérlés National Instruments adatgyűjtő kártyával: hardverspecifikációk, szoftveres támogatás. Analóg és digitális ki- és bemeneti csatornák. Triggerelés, mintavételezési paraméterek, folyamatos és egyszeri adatgyűjtés. Oszilloszkóp program készítése

Lehetséges példák az elkészítendő projektmunkára: ultrahangos távolságmérő eszköz készítése, oszcilloszkóp és függvénygenerátor készítése, PID hőmérséklet szabályozó rendszer készítése, hangszínszabályozó készítése, lock-in erősítő készítése.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF47, 8, 9</b>						<b>K</b>				
<b>BMETE12MF65, 6, 7</b>							<b>K</b>			
<b>BMETE11MF03, 4, 5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>2</b>			<b>K</b>		
<b>BMETE80MF02, 3, 4</b>									<b>K</b>	
<b>BMETE80MF81, 2, 3</b>										<b>K</b>
<b>BMETE11MF50</b>						<b>K</b>				
<b>BMETE12MF68</b>							<b>K</b>			
<b>BMETE11MF06</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>a</b>	<b>0</b>			<b>K</b>		
<b>BMETE80MF05</b>									<b>K</b>	
<b>BMETE80MF84</b>										<b>K</b>

### Szeminárium 1, 2, 3, 4

A négy féléves tantárgy keretében a hallgatók minden félévben a specializáció témájához kapcsolódó egy-egy élvonalbeli területet dolgoznak fel, és a rájuk eső részt 45 perces előadásban ismertetik.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF70</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>5</b>	<b>KV</b>		<b>KV</b>		

### Szilárdtestek elektronszerkezete \*\*

A tantárgy a fizika alapképzési szakon oktatók kvantummechanika és szilárdtestfizika ismeretekre építkezve a modern szilárdtestfizikai elektronszerkezeti eljárások elméleti alapjainak és módszertanának megismertetését tűzi ki célul.

Tematika: A sűrűségfunkcionál elmélet alapjai. Variációs és pszeudopotenciál módszerek. Korrelált elektronok szilárdtestekben: LDA+U, önkölcsönhatás korrekció, DMFT, GW. Pontcsoport szimmetria az elektronszerkezetben. Spin-pálya kölcsönhatás és időtükrözés. Felületi állapotok, a Bychkov–Rashba-effektus. Green-függvényes technika szoros kötésű közelítésben. Ötvözetek elektronszerkezete, a koherens potenciál közelítés. Fémes (itineráns) mágnesség ab initio elmélete. Stoner-modell. A rendezetlen lokális momentumok módszere.

Sólyom J.: A modern szilárdtestfizika alapjai II, Elektronok a szilárd testekben (ELTE Eötvös Kiadó, 2003).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF45	2	0	0	v	3	KV		KV		KV

### Szupravezetés \*\*

Bevezetés, szupravezetők fenomenologikus leírása, Meissner-effektus, London-egyenletek, első fajú szupravezetők mágneses tulajdonságai, szupravezetők elektrodinamikája. Bardeen–Cooper–Schrieffer-elmélet, a BCS alapállapot, BCS állapot véges hőmérsékleten, termodinamika és transzporttulajdonságok a BCS elméletben. Ginzburg–Landau-elmélet, a GL szabadenergia, GL-egyenletek és megoldásuk lineáris közelítésben, Abrikoszov-örvények, másodfajú szupravezetők mágneses tulajdonságai, az örvényvonalak mozgása és lehorgonyozása. Josephson-effektus és alkalmazásai, szupravezetőt tartalmazó alagútátmenetek, egyen- és váltakozó áramú Josephson-effektus, alagút-átmenet mágneses térben, a SQUID működési elve és alkalmazásai. Magas hőmérsékletű szupravezetők, réteges szupravezetők mágneses tulajdonságai, Lawrence–Doniach-modell, fázisátalakulások a mágneses örvényrendszerben, d-hullám szimmetriájú és egyéb egzotikus szupravezetők.

*Irodalom:*

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

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF34	2	0	0	v	3	KV		SZV		

### Topologikus szigetelők \*\*

Az elmúlt évtized egyik meglepetése, hogy az elektromos vezetés (kölcsönhatásmentes) sávelemélete is tud még valami alapvetően újjal szolgálni. A topologikus szigetelők olyan elektronikusan szigetelő, kristályos anyagok, amelyek felszínén vezető – esetenként tökéletesen vezető – felületi állapotok alakulnak ki. A tantárgy keretében egyszerű példákon keresztül bemutatjuk a sáveleméletben lényeges szerephez jutó topologikus invariánsokat, elméleti módszereket adunk azok kiszámítására, és bemutatjuk, hogy miként védi meg a topológia a felületi állapotokat bizonyos perturbációktól. Betekintést adunk a topologikus szigetelők általános elméletébe és áttekintünk néhány kapcsolódó kísérleti elrendezést és eredményt.

*Tematika:* Egydimenziós kristályok királis szimmetriával: a Su–Schrieffer–Heeger-modell. Adiabaticus dinamika a kvantummechanikában, Berry-fázis, Chern-szám. Adiabaticus töltéspumpálás egydimenziós kristályban. Kvantum anomális Hall-effektus: a Qi–Wu–Zhang-modell. Kétdimenzi-

ős időtükrözésre invariáns topologikus szigetelők: a Bernevig–Hughes–Zhang-modell. Kétdimenziós szigetelők kvantált vezetőképessége.

*Irodalom:*

J. Asbóth, L. Oroszlány, A. Pályi: Topological insulators (elektronikus egyetemi jegyzet).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF24</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>	<b>KV<sup>1</sup></b>				

### **Transzport komplex nanoszerkezetekben**

Bevezetés: karakterisztikus úthosszak, ballisztikus, diffúzív transzport. Spintronika: spin polarizált áram, spin injektálás, GMR, TMR, nemlokális mérés, mágneses félvezetők. Félvezető nanostruktúrák: nanopálcák: növesztési technikák, elektromos tulajdonságok; elektron és lyuk gázok. Szupravezető nanostruktúrák: Andreev reflexió, mezoszkópikus proximity effektusok, szupravezető Qubitok. Szén alapú nanoszerkezetek: nanocső, grafén, fullerének elektron szerkezet, elektromos és optikai tulajdonságok, spin fizika gyémántban vakanciákon. Molekuláris elektronika: kísérleti technikák, transzport egyszerű molekulákon, rezgési spektrumok, mezoszkópikus PIN kód. Hibrid nanostruktúrák: SFS rendszerek, Josephson effektus, Negatív kritikus áram, SQID, S-QDot-S rendszerek. Topológikus szigetelők: Dirac elektronok, spin fizika pl. HgTe 2DEG-ban.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE11MF40</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>2</b>	<b>KV<sup>1</sup></b>				

### **Trendek a nanotechnológiában**

A tárgy a nanotechnológia legújabb eredményeibe, és a nanotechnológiában használt legmodernebb mérés- és gyártástechnikákba nyújt betekintést meghívott szakértők előadásai alapján, amelyeket a tárgy koordinátorainak előadásai fognak egybe. Tervezett témakörök: mikro- és nanomechanikai rendszerek (MEMS és NEMS); pásztázó szondás méréstechnikák; félvezető nanoszerkezetek; nanoszenzorika; nanoinformatika; mikrohullámú méréstechnikák a nanofizikában.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12MF55</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>2</b>	<b>KV<sup>1</sup></b>				

### **Trendek az anyagtudományban**

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, ötvözés, fémes, nem fémes és kompozit szerkezetű anyagok, multifunkcionális anyagok, korrózió, speciális követelmények félvezető anyagokkal szemben, polimerek, műanyagok, szerves- és biológiai anyagok, napelemek, akkumulátorok, passzív elektronikai alkatrészek, implantátumok stb.

### *Irodalom:*

J. Gyulai: Problems of the nanoscience; I. Gaál: Metallic nanocomposites;  
I. Bársony: Nanotechn. in microsystems; Gy. Radnóczy: Thin layers;  
E. Kálmán: Corrosion processes by scanning needle method;  
Gy. Radnóczy: Thin layers; F. Beleznyay Semiconductors;  
A. Csanádi: Mechanical alloying and its applications with special regard on the preparation of nanostructured materials.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15AF54</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>f</b>	<b>4</b>	<b>KV<sup>1</sup></b>				

### **Tudományos programozás \***

Python notebook installálás, alapok, python bevezető. Adattípusok. Függvények, hibakezelés, fájl-műveletek. Numpy, vektor és mátrixműveletek, lineáris algebra. Scipy, műveletek ritka mátrixokkal, sajátérték, sajátvektor. Közöséges differenciálegyenletek numerikus megoldása, peremfeltételek. Parciális differenciálegyenletek numerikus megoldása. Adatfájlok (json, xml) kezelése. Adatok analízise, hierarchikus csoportosítás. Sztochasztikus optimalizálás. Neurális hálózat tanítása, képfeldolgozás.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAS</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>					<b>KV</b>

### **Ultrahang diagnosztika**

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:*

T.L. Szabó: Diagnostic Ultrasound Imaging; Tarnóczy T.: Ultrahangok;  
P.Maróti, L.Berkes, F.Tölgyesi: Biophysics problems.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAE</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>f</b>	<b>5</b>				<b>KV</b>	

### **Ütközéses transzport mágnesezett plazmákban**

A tantárgy az irodalomként megadott 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 fejezeteinek megvitatása mellett a témához kötődő feladatok megoldását is célul tűzte ki. Mindez nagyban elősegíti, hogy a tárgyat 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:*

P. Helander, D.J. Sigmar: Collisional transport in magnetized plasmas.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE12AF14</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	v	<b>2</b>	<b>KV</b>				

### Válogatott fejezetek a korszerű technológiákból \*

Mikrohullámú távolságérzékelés. Közlekedésbiztonsági és háztartási alkalmazások. A környezet energiájának hasznosítása, pl. napelemek, hangenergia, kis hőmérsékletkülönbségek felhasználása mobil eszközök üzemeltetésére. Nagy energiasűrűségű tüzelőanyagcellák, mint nem szennyező, nagyméretű és miniatürizált energiaforrások. Szerves félvezetők, molekuláris elektronika. Szerves fényemittáló dióda, napelem, flexibilis képernyő. Szilárdtest gázérzékelők (elektromos ellenállás, ill. kilépési munka megváltozása alapján), égési folyamatok optimalizálására és környezetvédelmi célokra. Biológia szenzorok, immobilizált proteinek, optikai és elektromos kiolvasás. Számítógépes szimuláció. Piezoelektromos mikromotorok. Mágneses érzékelők, óriás mágneses ellenállás, ezek számítástechnikai és biológiai felhasználásai. Hangolható lézerdiodák, távérzékelés, mini projektorok.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE807410</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	v	<b>2</b>				<b>SZV</b>	

### Válogatott fejezetek a magfizikából

Általános összefoglaló az erős kölcsönhatásról. Az erős kölcsönhatás Yukawa elmélete: skalár részecskevel megvalósuló potenciál meghatározása perturbációszámítással. Radioaktív bomlások Fermi-elmélete, a Fermi-aranyszabály alkalmazása. Alfa-, béta- és gamma-bomlás kvantummechanikai tárgyalása a Fermi-aranyszabályon keresztül (átmeneti mátrixelemek, kiválasztási szabályok, megmaradó mennyiségek, relativisztikus számítások, belső konverzió). A magreakciók általános elmélete, S mátrix tulajdonságai, unitaritás. Proton-proton, neutron-proton szórás. Rezonanciák vizsgálata (közbenső maggal megvalósuló reakciók, hatáskeresztmetszetek, Breit–Wigner-formula). Csillagok fizikája: csillagok megfigyelhető mennyiségei, tulajdonságok, Hertzsprung–Russell-diagram. Energiatermelés csillagokban (magreakció láncok). Csillagfejlődés a virál-tétel és az állapotegyenlet ismeretében. Stabilitási kritériumok. Csillagfejlődés végállapotai: a neutroncsillag „vizsgálata” (neutroncsillag tömegének és sugarának meghatározása, kritikus paraméterek, belső szerkezet).

*Irodalom:*

J.M. Blatt, V.F. Weisskopf: Theoretical Nuclear Physics;

M.G. Bowler: Nuclear Physics;

Németh J., Regály Zs.: Fejezetek az asztrofizikából.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE92AM24</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	v	<b>3</b>			<b>KV</b>		

### Vektorterek a fizikában \*\*

A tenzorszorzat absztrakt definíciója és tulajdonságai. Lineáris leképezések tenzorszorzata és nyoma. A külső algebra alapvető tulajdonságai. Mátrixinvariánsok definíciója a tenzorszorzat segítségével, és kapcsolatuk a karakterisztikus egyenlettel. Hodge-operátor a külső algebrán. Differenciálható sokaságok alapjai. Divergencia, gradiens és Laplace-operátor sokaságokon. Külső deriválás. A téridőn értelmezett Maxwell-egyenletek koordinátamentes alakja. Maxwell-egyenletek felírása görbült téridőn. Gauss–Osztrogradszkij–Stokes-féle integráltétel tetszőleges dimenziójú részsokaságra, számolási példákkal.

*Irodalom:*

Y. Choquet-Bruhat: Analysis, Manifolds and Physics I. II. (Elsevier Sci. B. V., Amsterdam 1996);  
Szenthe J.: Bevezetés a sima sokaságok elméletébe (ELTE Eötvös kiadó, Budapest 2002).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE15MF10</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>			<b>SZV</b>		

### Véletlen mátrix elmélet és fizikai alkalmazásai \*\*

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 kvan-tummechanika illetve statisztikus fizika valamint a valószínűség elmélet segítségével felépíti a véletlen mátrix elméletet. Meghatározza a Dyson sokaságok tulajdonágait, a szintkülönbség eloszlást, a pátkorrelációs 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 áringadozások korrelációinak analízise, tömegközlekedési problémák vizsgálata, stb.

*Irodalom:*

M.L. Mehta: Random matrices (Elsevier, 2004); válogatott review cikkek: T. 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.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
<b>BMETE80MFAJ</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>v</b>	<b>3</b>				<b>KV</b>	

### Zajmódszerek nukleáris rendszerekben

Pázsit Imre professzor angol nyelvű előadása a Chalmers Műszaki Egyetem (Göteborg, Svédország) Nuclear Science and Technology MSc képzésének keretében, melyet videokonferencián bekapcsolódva ill. felvételnél lehet meghallgatni. A tárgy a neutronzaj elméletét és alkalmazási lehetőségeit ismerteti két jól elkülöníthető területen: alacsony teljesítményű rendszerekben (ún. zérózaj) és nagy teljesítményű reaktorokban (ún. teljesítményzaj).

*Zérózaj:* Bevezetés a véletlen folyamatokról, Bevezetés a master-egyenletekről, Master-egyenletek levezetése neutronfluktuációkra zéró teljesítményű rendszerekben, Egyenletek levezetése és megoldása a magasabb momentumokra, Reaktivitás mérési módszerek szubkritikus reaktorokban, A neutronfluktuációk alkalmazása a nukleáris biztonsági ellenőrzésekben

*Teljesítményzaj:* A teljesítményzaj Langevin-egyenlete, reaktorkinetikai közelítések, különböző perturbációk által okozott neutronzaj számítása, az inverz feladat megoldása: a neutronzaj alkalmazása a reaktordiagnosztikában, perturbációk diagnosztikája, globális zónaparaméterek meghatározása

*Irodalom:*

Chalmers jegyzet, előadás diák és interaktív Mathematica notebookok

M.M.R. Williams: Random Processes in Nuclear Reactors. Pergamon Press, 1974.

I. Pázsit and L. Pál: Neutron Fluctuations, Elsevier, 2008.

# A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR VEZETÉSE ÉS HALLGATÓI KÉPVISELETE

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

**Dékán:** DR. HORVÁTH MIKLÓS egyetemi tanár

## **Dékánhelyettesek:**

Gazdasági: DR. VARGA IMRE egyetemi docens  
Nemzetközi és tudományos: DR. KÁROLYI GYÖRGY egyetemi tanár  
Oktatási: DR. PROK ISTVÁN egyetemi docens

## **Dékáni Hivatal:**

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

## **Kari Hallgatói Képviselőlet**

Elnök: GERNER ALEXANDRA  
Cím: 1111 Budapest, Irinyi J. u. 9-11,  
Kármán Tódor Kollégium F013.  
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: SCHMIDT BEÁTA  
Szerkesztőség: 1111 Budapest, Irinyi J. u. 9-11,  
Kármán Tódor Kollégium F013.  
E-mail: [pikkasz@lists.ktk.bme.hu](mailto:pikkasz@lists.ktk.bme.hu)  
Web: <http://karilap.blogspot.com>

# A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR INTÉZETEI ÉS TANSZÉKEI

**Fizikai Intézet** – igazgató: DR. ZARÁND GERGELY, egyetemi tanár

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

Telefon: 463-4107, Fax: 463-3567

**Atomfizika Tanszék** – tanszékvezető: DR. KOPPA PÁL 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. BABARCZY ANNA egyetemi docens

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

Telefon: 463-1273, Fax: 463-1072

**Matematika Intézet** – igazgató: DR. G. HORVÁTH ÁKOS egyetemi tanár

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

Telefon: 463-2762, Fax: 463-2761

**Algebra Tanszék** – tanszékvezető: DR. NAGY GÁBOR PÉTER, 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 tanár

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. CZIFRUS SZABOLCS egyetemi docens

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

Telefon: 463-2523, Fax: 463-1954

**Atomenergetika 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

**Nukleáris Technika Tanszék** – tanszékvez.: DR. SZIEBERTH MÁTÉ egyetemi docens

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

Telefon: 463-2523, Fax: 463-1954