



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



2016

Tartalomjegyzék

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

Kedves Fizikus Hallgató!

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

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

A Fizikus mesterképzés másfél évtizedes éves múltja tekint vissza a Műegyetemre. 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. PIPEK JÁNOS
dékán

TÁJÉKOZTATÓ A FIZIKUS MESTERKÉPZÉSRŐL

Miért ajánljuk a Műegyetemi fizikusképzést?

A pályaválasztás során célszerű az egyéni érdeklődést és a várható társadalmi igényeket egyaránt figyelembe venni. Gyorsan változó világunkban különösen nehéz előre látni, hogy milyen speciális szaktudás lesz jól hasznosítható 5, 10 vagy 15 év múlva. Ha a diplomás szakemberek széles alapokon 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 bevetheők.

Öröndetes 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 **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.
- Az **Alkalmazott fizika specializáción** belül a *Nanotechnonológia és anyagtudomány*, illetve az *Optika és fotonika* modulok választhatók. Az anyagvizsgálati módszerek és az anyagtudományi, optikai tárgyak mellett tervező-fejlesztő ismeretek oktatására is sor kerül, mivel itt a cél, hogy a hallgatók a fizikát a gyakorlati problémák megoldására legyenek képesek felhasználni.
- A **Nukleáris technika 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, a <http://www.ttk.bme.hu> címen olvasható.

A Fizikus mesterszak mintatanterve

Tárgy / Tárgycsoport		Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
				1	2	3	4
Alapozó ismeretek: 8 kredit				6	2		
Kötelezően választható gazdaságtudományi tárgy		KV	2/0/0/f		2		
Numerikus módszerek		K	4/0/2/f	6			
Szakmai törzsanyag: 20 kredit	NA, OP, KF, NT			14	5	1	
	OF			8	11	1	
A fotonika alapjai	NA, KF, NT, OF	KV	2/1/0/v	4			
	OP	K					
Magfizika	NA, OP, KF	KV	2/1/0/v		4		
	NT, OF	K					
Nanotechnológia és anyagtudomány	OP, KF, NT, OF	KV	3/0/0/v	4			
	NA	K					
Részecskefizika **		KV	2/1/0/v	4			
Statisztikus fizika 2 **	NA, OP, NT, OF	KV	2/1/0/v	4			
	KF	K					
Számítógépes szimulációk a fizikában **		KV	2/1/0/f		4		
Kollokvium 1, 2		K	2/0/0/f		1	1	
Fizika laboratórium	NA, OP, KF, NT	K	0/0/6/f	6			
	OF				6		
Differenciált szakmai ismeretek: 53 kredit	NA, OP, KF, NT			10	20	23	
	OF			16	17	20	
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: 27 kredit	NA, OP, KF, NT	K/KV		8	11	8	
	OF			14	8	5	
Diplomamunka-készítés: 30 kredit		K	0/0/30/f				30
Szabadon választható tárgyak: 9 kredit	NA, OP, KF, NT	SZV			3	6	
	OF					9	
TELJES KÉPZÉS: 120 kredit				30	30	30	30

Jelölések a fenti táblázatban és az ismertető további részeiben is.

* a tárgy a Fizika alapszaknak is kötelezően választható tárgya, tehát . korábbi teljesítés esetén nem vehető föl.

** a tárgy oktatása angol nyelven történik

A 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: Alkalmazott fizika, *Nanotechnológia és anyagtudomány* modul;

OP: Alkalmazott fizika, *Optika és fotonika* modul;

KF: *Kutatófizikus;*

NT: *Nukleáris technika;*

OF: *Orvosi fizika.*

A tárgyak *típusa*: **K** kötelező, **KR** kritérium; **KV** kötelezően választható, **SZV** ajánlott szabadon választható, (**KV¹** kiemelt kötelezően választható).

Az Alkalmazott fizika specializáció Nanotechnológia és anyagtudomány moduljának tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
Félvezetők fizikája	KV ¹	2/0/0/v	3			
A felületfizika alapjai *	KV	2/0/0/f	3			
Az anyagtudomány alapjai és alkalmazásai *	KV	2/0/0/v	3			
Nemkonvencionális anyagok	KV	2/0/0/v	3		3	
Szupravezetés **	KV	2/0/0/v	3			
Fényforrások	SZV	2/0/0/v	3			
Monte Carlo módszerek	SZV	2/0/1/f	4			
Fizikai alapismeretek	KR	0/0/0/a		0		
Szakmai gyakorlat	KR	0/0/9/a		0		
Anyagtudomány laboratórium	KV ¹	0/0/3/f		4		
Fejezetek a modern anyagtudományból	KV ¹	2/0/0/v		3		
Nanotechnológia laboratórium	KV ¹	0/0/3/f		4		
Optikai spektroszkópia az anyagtudományban	KV ¹	3/0/0/v		4		
Trendek a nanotechnológiában	KV ¹	2/0/0/f		2		
Trendek az anyagtudományban	KV ¹	2/0/0/f		2		
A nanofizika alapjai	KV	3/0/0/v		4		
Csoportelmélet a szilárdtestkutatásban **	KV	2/0/0/v		3		
Felületfizika és vékonyrétegek	KV	2/0/0/f		3		
Mágneses rezonancia **	KV	2/1/0/v		4		
Mágnesség elmélete **	KV	2/1/0/v		4		
Mikro- és nanotechnológiák *	KV	2/0/0/f		3		
Optikai anyagok és technológiák 1.	KV	2/0/0/v		3		
Számítógépes mérésvezérlés *	KV	0/0/2/f		3		
Elektron és ionoptikák	SZV	2/0/0/v		3		
Fotonika laboratórium	SZV	0/0/3/f		4		
Infravörös és Raman-spektroszkópia	SZV	2/0/2/v		4		
Atomi szintű számítógépes szimuláció szilárdtestekben	KV	1/0/1/v			3	
Elméleti nanofizika **	KV	2/1/0/v			4	
Kémiai módszerek a nanotechnológiában	KV	2/0/0/v			3	
Modern szilárdtestfizika **	KV	3/2/0/v			6	
Számítógépes mérésvezérlés projektmunka LabVIEW környezetben *	KV	0/0/2/f			3	
A sűrűség funkcionál elmélet alapjai **	SZV	2/0/0/v			3	
Kvantuminformatika **	SZV	2/0/0/v			3	
Kvantumoptika **	SZV	2/1/0/v			4	
Lézerek ipari és biológiai alkalmazása	SZV	2/0/0/f			3	
Optikai anyagok és technológiák 2.	SZV	2/0/0/v			3	
Szilárdtestek elektronszerkezete **	SZV	2/1/0/v			4	

Az Alkalmazott fizika specializáció Optika és fotonika moduljának tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
Félvezetők fizikája	KV	2/0/0/v	3			
Fényforrások	KV	2/0/0/v	3			
Fizikai optika	KV	2/1/0/v	4			
Nemkonvencionális anyagok	KV	2/0/0/v	3		3	
Optika *	KV	2/2/0/v	4			
Monte Carlo módszerek	SZV	2/0/1/f	4			
Orvosi képalkotás	SZV	3/1/0/v	4			
Fizikai alapismeretek	KR	0/0/0/a		0		
Szakmai gyakorlat	KR	0/0/9/a		0		
Fotonika laboratórium	KV	0/0/3/f		4		
Lézerfizika	KV	2/0/0/v		3		
Mikroszkópia *	KV	2/0/0/f		3		
Optikai anyagok és technológiák 1.	KV	2/0/0/v		3		
Optikai jelfeldolgozás és adattárolás	KV	2/0/0/v		3		
Optikai spektroszkópia az anyagtudományban	KV	3/0/0/v		4		
Optikai tervezés	KV	2/2/0/v		4		
Elektron és ionoptikák	SZV	2/0/0/v		3		
ELI előkészítő laboratórium	SZV	0/0/4/f		4		
Infravörös és Raman-spektroszkópia	SZV	2/0/2/v		4		
Számítógépes mérésvezérlés *	SZV	0/0/2/f		3		
Kvantumelektronika	KV	3/0/0/v			4	
Lézerek ipari és biológiai alkalmazása	KV	2/0/0/f			3	
Nemlineáris optika és alkalmazásai	KV	2/0/0/v			3	
Optikai anyagok és technológiák 2.	KV	2/0/0/v			3	
Optikai mérés technika	KV	2/0/0/v			3	
A femtoszekundumos lézerektől az attofizikáig	SZV	2/0/0/v			3	
Kvantumoptika **	SZV	2/1/0/v			4	
Lézerek és lézerrendszerek tervezése és építése	SZV	2/0/0/f			3	
Optoelektronikai eszközök	SZV	2/0/0/v			3	
Számítógépes mérésvezérlés projektmunka LabVIEW környezetben *	SZV	0/0/2/f			3	

A Kutatófizikus specializáció tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
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			
Félvezetők fizikája	KV	2/0/0/v	3			
Műszaki és fizikai problémák számítógépes megoldása *	KV	0/0/2/f	3			
Relativitáselmélet *	KV	2/0/0/v	3			
Szupravezetés **	KV	2/0/0/v	3			
Monte Carlo módszerek	SZV	2/0/1/f	4			
Fizikai alapismeretek	KR	0/0/0/a		0		
Szakmai gyakorlat	KR	0/0/9/a		0		
Kvantumtérelmélet **	KV ¹	3/2/0/v		6		
A nanofizika alapjai	KV	3/0/0/v		4		
Csoportelmélet a szilárdtestkutatásban **	KV	2/0/0/v		3		
Dinamikai rendszerek	KV	3/1/0/v		5		
Evolúciós játékelmélet **	KV	2/0/0/v		3		
Fázisátalakulások és kritikus jelenségek **	KV	2/1/0/v		4		
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		
Mágneses rezonancia **	KV	2/1/0/v		4		
Mágnesség elmélete **	KV	2/1/0/v		4		
Mechanika 2 *	KV	2/0/0/v		2		
Mechanika gyakorlat 2 *	KV	0/2/0/f		3		
Optikai spektroszkópia az anyagtudományban	KV	3/0/0/v		4		
Soktestprobléma 1 **	KV	3/1/0/v		5		
Számítógépes mérésvezérlés *	KV	0/0/2/f		3		
Vektorterek a fizikában **	KV	2/0/0/f		2		
Egydimenziós rendszerek fizikája **	SZV	2/0/0/v		3		
Lézerfizika	SZV	2/0/0/v		3		
Rendezetlen rendszerek fizikája **	SZV	2/1/0/v		4		
Modern szilárdtestfizika **	KV ¹	3/2/0/v			6	
A klasszikus mezőelméletek geometriája **	KV	2/0/0/v			2	
Elméleti nanofizika **	KV	2/1/0/v			4	
Komplex hálózatok **	KV	2/0/0/v			3	
Korrelációs módszerek a kvantumkémiaiában **	KV	2/0/0/v			3	
Kvantuminformatika **	KV	2/0/0/v			3	
Kvantumoptika **	KV	2/1/0/v			4	
Szilárdtestek elektronszerkezete **	KV	2/1/0/v			4	
A sűrűség funkcionál elmélet alapjai **	SZV	2/0/0/v			3	
Atomi szintű számítógépes szimuláció szilárdtestekben	SZV	1/0/1/v			3	
Hullámcsomag dinamikai módszerek a fizikában **	SZV	2/0/0/v			3	
Kvantum Monte Carlo módszerek **	SZV	2/0/0/f			3	
Kvantumelektronika	SZV	3/0/0/v			4	
Mágnesség elmélete 2 **	SZV	2/0/0/v			3	
Soktestprobléma 2 **	SZV	2/0/0/v			3	
Statisztikus térelmélet **	SZV	2/0/0/v			3	
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	
Topologikus szigetelők 2 **	SZV	2/0/0/v				3

A Nukleáris technika specializáció tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
Bevezetés a fúziós plazmafizikába	KV	2/0/0/v	2			
Félvezetők fizikája	KV	2/0/0/v	3			
Monte Carlo módszerek	KV	2/0/1/f	4			
Nemkonvencionális anyagok	KV	2/0/0/v	3		3	
Nukleáris üzemanyagciklus	KV	3/0/0/v	3			
Orvosi képzőkötés	KV	3/1/0/v	4			
A nukleáris leszerelés kérdései	SZV	2/0/0/v	2			
Alacsony hőmérsékletű plazmafizika	SZV	2/0/0/v	2			
Válogatott fejezetek a magfizikából	SZV	2/0/0/v	2			
Nukleáris alapismeretek	KR	0/0/0/a		0		
Szakmai gyakorlat	KR	0/0/9/a		0		
Atomerőművek	KV	3/1/0/v		5		
Atomerőművi üzemzavar elemzések	KV	3/2/0/v		6		
Atomreaktorok üzemtana	KV	3/1/0/v		3		
Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából 1	KV	2/0/0/v		3		
Fúziós nagyberendezések	KV	2/0/0/v		2		
Radioanalitika	KV	3/0/2/v		5		
Reaktorfizikai számítások	KV	3/1/0/v		4		
Röntgen- és gamma spektrometriai módszerek	KV	2/0/0/v		2		
Sugárvédelem 2	KV	2/0/2/v		4		
Nukleáris elektrodinamika	SZV	2/0/0/v		2		
Számítógépes mérésvezérlés *	SZV	0/0/2/f		3		
Fejezetek a magas hőmérsékletű kísérleti plazmafizikából 2	KV	2/0/0/v			3	
Fúziós plazmafizikai laboratórium	KV	0/0/2/f			2	
Monte Carlo részecsketranszport módszerek	KV	2/0/0/v			2	
Neutron- és gammatranszport számítási módszerek	KV	2/2/0/v			5	
Orvosbiológiai célú radionuklidok előállítása és felhasználása	KV	2/0/1/v			3	
Radioaktív anyagok terjedése környezeti és biológiai rendszerekben	KV	2/1/0/v			3	
Radioaktív hulladékok biztonsága	KV	1/0/1/v			2	
Reaktorszabályozás és műszerezés	KV	3/0/0/v			3	
Ütközéses transzport mágnesezett plazmákban	KV	1/2/0/f			4	
Atomerőművi anyagvizsgálatok	SZV	2/0/0/v			2	
Számítógépes mérésvezérlés projektmunka LabVIEW környezetben *	SZV	0/0/2/f			3	
Nukleáris technika szigorlat	KR	0/0/0/s				0
Atomerőművi kémia	KV	2/0/0/v				2
CFD módszerek és alkalmazások	KV	2/1/0/f				3
Anyagvizsgálat neutronokkal	SZV	2/0/0/v				3

Az Orvosi fizika specializáció tárgyai

Tárgy	Típus	Óraszám / követelmény	Kredit, ill. tárgyteljesítés szemeszterenkénti ütemezése			
			1	2	3	4
Orvosi képalkotás	K	3/1/0/v	4			
Sugárbiológia	K	2/1/0/f	3			
Sugárvédelem az orvosi fizikában	K	3/0/1/f	4			
Félvezetők fizikája	KV	2/0/0/v	3			
Fizikai optika	KV	2/1/0/v	4			
Monte Carlo módszerek	KV	2/0/1/f	4			
Nemkonvencionális anyagok	KV	2/0/0/v	3		3	
Rendszerélettan	KV	3/1/0/v	4			
Szupravezetés **	KV	2/0/0/v	3			
Funkcionális anatómia alapjai	K	4/0/0/v		4		
Sugárterápia fizikai alapjai	K	2/0/2/v		4		
Orvosi fizika alapismeretek	KR	0/0/0/a		0		
Szakmai gyakorlat	KR	0/0/9/a		0		
Infravörös és Raman-spektroszkópia	KV	2/0/2/v		4		
Mágneses rezonancia **	KV	2/1/0/v		4		
Mágneses rezonancia és klinikai alkalmazása	KV	2/0/0/v		2		
Mágnesség elmélete **	KV	2/1/0/v		4		
Nukleáris medicina	KV	2/0/1/v		3		
Optikai jelfeldolgozás és adattárolás	KV	2/0/0/v		3		
Optikai spektroszkópia az anyagtudományban	KV	3/0/0/v		4		
Optikai tervezés	KV	2/2/0/v		4		
Radioanalitika	KV	3/0/2/v		5		
Röntgendiagnosztika fizikai alapjai	KV	2/0/1/v		3		
Számítógépes mérésvezérlés *	SZV	0/0/2/f		3		
Brachyterápia	KV	2/0/0/v			2	
Lézerek ipari és biológiai alkalmazása	KV	2/0/0/f			3	
Mágneses rezonancia és klinikai alkalmazása 2	KV	2/0/0/v			2	
Minőségbiztosítás és jogi szabályozás	KV	2/0/1/v			3	
Neutron- és gammatranszport számítási módszerek	KV	2/2/0/v			5	
Orvosbiológiai célú radionuklidok előállítása és felhasználása	KV	2/0/1/v			3	
Radioaktív anyagok terjedése környezeti és biológiai rendszerekben	KV	2/1/0/v			3	
Radioaktív hulladékok biztonsága	KV	1/0/1/v			2	
Sugárterápia 2	KV	2/0/0/v			2	
Ultrahang diagnosztika	KV	2/0/0/v			2	
Számítógépes mérésvezérlés projektmunka LabVIEW környezetben *	SZV	0/0/2/f			3	
Orvosi fizika szigorlat	KR	0/0/0/s				0

TANTÁRGYLEÍRÁSOK

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

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. Adsorpció a szilárdtest felületén: fizisorpció, kemisorpció. 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
BMETE12MF60	2	0	0	v	3		SZV			

A femtoszekundumos lézerektől az attofizikáig

A kurzus megismerteti az ELI lézerberuházás (szegedi „szuperlézer”) alapjául is szolgáló femtoszekundumos lézertechnológiával, valamint az ilyen lézereknek egy gyorsan fejlődő alapkutatói alkalmazásával (attofizika). A tananyag a nemlineáris optikai bevezető után tárgyalja a módusszinkronizált lézerműködés alapjait, az ilyen lézerek kvantitatív leírásával együtt. A rövid lézerimpulzusok előállítására alkalmas szélessávú lézeryanagok ismertetése után a leggyakrabban használt Ti:zafir lézerek felépítését és az ehhez kapcsolódó optikai technológiai kérdéseket veszem sorra. A félév első felét a femtoszekundumos lézerimpulzusok erősítésével és összenyomásával kapcsolatos kérdések zárják le. Külön előadást szentelek a vivő-burkoló fázis fogalmának, fázisstabilizált lézereknek, optikai hullámformák reprodukálható előállításának, és az ezekhez kapcsolódó, a 2005-ös fizikai Nobel-díjban jelentős szerepet játszó optikai frekvenciametrológiának. A félév második felében az ún. extrém nemlineáris optikai tartományban lejátszódó fény-anyag kölcsönhatási folyamatok kerülnek sorra, különös figyelmet fordítva a magasharmonikus-keltésre épülő attoszekundumos impulzuselőállításra. Az elmúlt tíz év áttörést hozó alapvető attoszekundumos kísérleteinek ismertetése után, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontbeli laborlátogatás zárja a félévet.

Irodalom:

B.W. Demtröder: Laser Spectroscopy I-II., Springer Berlin Heidelberg 2008.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF49	2	1	0	v	4	KV	K	KV	KV	KV

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. Elektroabszorpció. 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. Méréseszközök 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 spinor-mezőkön; 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 előállítása 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-matematikusan 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
BMETE11MF37	3	0	0	v	4	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 nanovezetékek; 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 nanoszerkezetek, 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
BMETE80MF11	2	0	0	v	2				SZV	

A nukleáris leszerelés kérdései

Atommagfizikai 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 Atomszorompó 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-prolifерáció magyar vonatkozásai; a rendszer jövője.

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

A sűrűségfukcionál elméleti alapjai **

Sok-részecskés Fock-tér és sűrűségoperátor. Redukált sűrűségoperátorok. A kölcsönható elektron rendszerek egzakt egyenletei és a független részecske közelítés sűrűségoperátor képpen. 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 elektronegativitás. 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
BMETE80MF49	2	0	0	v	2				SZV	

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
BMETE12MF50	0	0	3	f	4	KV ¹				

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
BMETE80MF59	2	0	0	v	3				SZV	

Anyagvizsgálat neutronokkal

A statisztikus rendszer leírása: Klasszikus vagy kvantumos. 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. (Magleakciókat 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. Kisszögű 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
BMETE80MF14	3	1	0	v	5				KV	

Atomerőművek

II., III. és IV. generációs atomerőművek bemutatása. Különböző típusú atomerőművek elvi hőkapcsolási sémáinak összehasonlítása, primer és szekunder körű főberendezések és rendszerek részle-

tes 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
BMETE80MF15	2	0	0	v	2				SZV	

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
BMETE80MF54	2	0	0	v	2				KV	

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. Vízezelés, 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, Liljenzen, Rydberg: Nuclear and Radiochemistry (válogatott fejezetek).

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

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, közegecsúszás, 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
BMETE12MF51	1	0	1	f	3	KV		SZV		

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
BMETE80MF18	3	1	0	v	3				KV	

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 állapotellenőrzésük 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
BMETE12AF31	2	0	0	v	3	KV				

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
BMETE80MF19	2	0	0	v	2				KV	

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 (hullámgörbe, 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, görbületi 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
BMETE80MF96	2	0	0	v	2					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 (hullámgörbe, 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, görbületi 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
BMETE80MF96	2	1	0	f	3				KV	

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, végelemek, rács-Boltzmann módszer) és az azokkal kapcsolatos alapfogalmakat. A módszerek ismertetésénél a hangsúlyt a kereskedelmi CFD kódokban leggyakrabban alkalmazott véges-térfogatok 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 kommersziális 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
BMETE11MF12	2	0	0	v	3	KV		KV		

Csoportelmélet a szilárdtestkutatásban **

Alapismeretek: szimmetria pontcsoportok, véges csoportokra vonatkozó fontosabb tételek, reprezentációk, karaktertáblák. Rezgési spektroszkópia: kiválasztási szabályok, direktszorzat-reprezentációk, faktorcsoport. Elektronátmenetek: kristálytér-felhasadás, $SO(3)$ és $SU(2)$ csoportok, korrelációs diagramok, kristály kettőscsoportok. Kristályrácsok szimmetriája: tércsoportok, krisztallográfiai 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
BMETE11AF40	2	2	0	v	5			KV		

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
BMETE93MM02	3	1	0	v	5			KV		

Dinamikai rendszerek

Folytonos és diszkrét idejű dinamikai rendszerek, folytonos versus diszkrét: követőfüggvény, diszkretizáció. Egyensúlyi helyzetek lokális elmélete: Grobman–Hartman-lemma, stabil-instabil-centrális sokaság, Poincaré-normálforma. Attraktorok, Ljapunov-függvények, LaSalle-elv, fázis-portré. Strukturális stabilitás, egyensúlyi helyzetek/fixpontok és periodikus megoldások elemi bifurkációi, bifurkációs görbék biológiai modellekben. Sátor és logaritmikus 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
BMETE12MF48	0	0	10	f	30	K	K	K	K	K
BMETE11MF33										
BMETE80MF53										
BMETE80MF71										

Diplomamunka-készítés

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

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

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 – Reformation 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
BMETE15AF34	2	0	0	v	2			KV		
BMETE15AF42	0	2	0	f	3			KV		

Elektrodinamika 2, és Elektrodinamika gyakorlat 2 *

Elektrosztatika: Laplace-egyenlet megoldása gömbi és hengerkoordinátákban. Földelt gömb külső térben, csúcshatás. 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. Oszcilláló töltérendszerek 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
BMETE12MF22	2	0	0	v	3	SZV	SZV			

Elektron- és ionoptikák

Párhuzamos síkú energia analizátor, Hengeres tükör energia analizátor (CMA) Fékezőteres energia analizátor, (RFA) A "lock in" detektálás matematikai elmélete Centrális erőter fókuszálása, Fél-gömb energia analizátor (HSA), 127 fokos henger energia analizátor Általános pályagörbe megfontolások: statikus elektromos tér jelenlétében. statikus mágneses tér jelenlétében idővariáns elektromos tér jelenlétében Statikus mágneses tér alkalmazásai. Homogén B térben mozgó részecske differenciál egyenletének tárgyalása Homogén mágneses tér mint fókuszáló hatás. Lineáris tömegspektrométer, Dempster-tömegspektrométer. Egymásra merőleges homogén E és B térben, nulla kezdősebességgel induló részecske mozgása. Wien-féle tömegszűrő. Repülési idő tömegspektrométer (PTOF, CTOF) A vibrációs átlagerőter A kvadrupól tömegspektrométer és kvadrupól ioncsapda, Részecskegyorsítók. I. Kaszkádgenerátor. Van der Graaf generátor. Ciklotron. Részecskegyorsítók. II A szinkrotron és a szinkrociklotron. Lineáris gyorsító. Betatron. A tértöltés hatásai és a kritikus áramsűrűség Elektronforrások (katódok) A termikus elektronemisszió jelensége és a Richardson–Dushman-formula. A téremisszió jelensége és a Schottky-formula. Ionforrások. Gáz

ionforrások, Folyadék ionforrások, Duoplazmatron, Töltött részecskék detektálása vákuumban. Faraday serleg, Szekunder elektron sokszorozó, Fotomultiplier-szcintillátor detektor, Channelplate.

Irodalom:

Hárs György, Fizikai elektronika, (elektron és ionoptikák) Műegyetemi kiadó 1992, J-05007;
Csurgai Á., Simonyi K.: Az információtechnika fizikai alapjai (elektronfizika) Mérnöktovábbképző Intézet 1997;
Simonyi K.: Elméleti villamosság, Tankönyvkiadó 1973.

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

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
BMETE15MF47	2	1	0	v	4	KV		KV		

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, egyrészecske szintek), A véletlen mátrix elmélet alapjai (szinttasztítás, univerzalitási osztályok), Coulomb-blokád és spektroszkópia (mester egyenletek, co-tunneling, Kondo-effektus), Pont kontaktusok vezetőképessége és kvantum-zaja. Nanocsövek, él-állapotok. Molekuláris transport. 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
BMETE15MF11	2	0	0	v	3			KV		

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 kapcsolatrendszer 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
BMETE15MF48	2	1	0	v	4			KV		

Fázisátalakulások és kritikus jelenségek **

Első és másodrendű átalakulások, korrelációs hossz, önhasonlóság és univerzalitás. Néhány tipikus fázisátalakulás (egytengelyű mágnesek, folyadék-gőz, Mott-átalakulás). Átlagtér elmélet, kritikus exponensek, Ginzburg-kritérium. Szimmetriák és Landau-elmélet. Renormálás alapjai: decimálás, az egy dimenziós Ising-modell, magasabb dimenzió és kritikus pont. A két dimenziós Ising-modell esete, az általánosított transzformáció. Fixpontok, kritikus felület, releváns és irreleváns operátorok. A szabadenergia kritikus skálázása, univerzális exponensek, skálaoperátorok korrelációs függvénye. Véges méret skálázás, elsőrendű fixpontok. Kvantum kritikus rendszerek: az egy dimenziós Ising-lánc diszkussziója. Kvantum-klasszikus leképezés, magasabb dimenziós fázisdiagramok. Superfolyékonyság és XY modell. Vortexek és Kosterlitz–Thouless-fázisátalakulás. Hubbard–Stratonovic-transzformáció, és kontinuum elmélet. Goldstone-módusok, nagy n határeset. Kvantum mágnesek.

Irodalom:

J. Cardy: Scaling and Renormalization in Statistical Physics (Cambridge University Press, 1996).

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

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, töltéskicserélődés spektroszkópia, motional stark effektus. *Lézerek. Thomson szórás, incoherent, ion kollektív.* Plazma törésmutatója, interferometria, polarimetria. Lézer indukált fluoreszcencia. *Plazma turbulencia.* Turbulens transzport. Turbulencia kísérleti jellemzése és az ehhez használt speciális módszerek. *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 ¹				

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 sajátságai. 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 lefolyása 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 ¹	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, sáv szerkezet. Rácshibák, szennyező atomok, lokalizált állapotok. Effektív tömeg közelítés, töltéshordozók félvezetőkben. Spin-pálya kölcsönhatás, kp közelítés. Kváziklasszikus dinamika, Boltzmann-egyenlet, transzport külső terekben, vezetőképesség, Hall-effektus, mágneses ellenállás. Tiszta és adalékolt félvezetők: sekély nívók, mély nívók, elektromos vezetőképesség és Hall-effektus több sáv esetén, termoelektromos- és termomágneses jelenségek. Transzport instabilitások, Gunn dióda, alagút dióda. Inhomogén félvezetők, diffúzió, Einstein reláció. Eltérések a hőmérsékleti egyensúlytól. Diffúzió és vezetési jelenségek adalékolt félvezetőkben. Zener dióda, p-n átmenet, bipoláris tranzistorok. Kölcsönhatások fénnyel, fotovezetés, szabad töltéshordozók abszorpciója. Rekombinációs mechanizmusok: sugárzásos rekombináció, rekombináció nívón keresztül. Világító dióda (LED) és félvezető lézerek elve, felépítése, működése és alkalmazásai. Hagyományos és epitaxiális növesztési eljárások, minősítő technikák, rácsillesztés, band-engineering, heteroszerkezetek, szuper-rácsok, nagy mobilitású 2-dimenziós elektrongáz és nagyfrekvenciás alkalmazásai, HEMT. Termikus zaj, sörétzaj, $1/f$ zaj, fluktuáció-disszipáció. Zajszűrés és a sáv szélesség. Felületi állapotsűrűség, távoli dőpolás, Schottky barrier, Schottky dióda, Ohmikus kontaktusok, MOS szerkezetek, High-k dielektrikumok, flash memóriák, napelemek, CCD eszközök. Önszerveződő növekedés, növesztés előre definiált szubsztrátokra, cleaved edge overgrowth, nanovezetékek epitaxiális növesztése, optikai- és elektronsugaras litográfia, split-gate technológia, AFM litográfia. Egyelektron tranzistor, 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
BMETE12MF14	2	0	0	v	3	SZV	KV			

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
BMETE15MF31						KR	KR	KR		
BMETE80MF12	0	0	0	a	0				KR	
BMETE80MF79										KR

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
BMETE12MF03							K			
BMETE11MF02	0	0	6	f	6	K		K		
BMETE80MF01									K	
BMETE80MF80										K

Fizika laboratórium

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) valamint **Nanotechnológia és anyagtudomány (NA):** 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-kvantálás, 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, kritikussági 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 méréseivel (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 mérés technikába 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-fejvel Sugárterápiás

besugárzástervezés-teleterápia Sugárterápia besugárzástervezés-brachyterápia PTW szemi-flexibilis ionizációs kamra kalibrálása

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF56	2	1	0	v	4		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
BMETE12MF57	0	0	3	f	4	SZV	KV			

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 alapkutatástól 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
BMEVIEUM000	4	0	0	v	4					K

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
BMETE80MF55	2	0	0	v	2				KV	

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
BMETE80MF56	0	0	2	f	2				KV	

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
BMETE15MF52	2	0	0	v	3			SZV		

Hullámcsomag dinamikai módszerek a fizikában **

A tantárgy bevezetést nyújt a hullámcsomag dinamikai módszerek alkalmazásába a kvantummechanika és az elektrodinamika terén.

Tematika: A fizikai rendszerek energiafüggő és időfüggő leírása. Az idő szerepe a nem-relativisztikus és a relativisztikus fizikában. Szóráselméleti alapismeretek. A hullámcsomag időfejlődésének kiszámítására használható numerikus módszerek. Hullámcsomag dinamika a nem-relativisztikus kvantummechanikában. Egyrészecske rendszerek. A pszeudopotenciál konstrukciója. Többrészecske rendszerek. Hullámcsomag dinamika a relativisztikus kvantummechanikában. Hul-

lámcsomag dinamika az elektrodinamikában. Alkalmazások. „Filozófiai” kérdések: alagutazási idő, szuperluminális mozgás, a kvantum és a klasszikus leírás kapcsolata, ...

Irodalom:

Cohen, Tannoudji: Quantum mechanics;

Taflove, Hagness: Computational electrodynamics;

Brillouin: Wave propagation and group velocity.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF62	2	0	2	v	4	SZV	SZV			KV

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, közelítő-módszerek (SNOM, SERS).

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

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 redukzív 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 szterikus 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, tumorellenes 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
BMETE15MF41	1	0	0	f	1	K	K	K	K	K
BMETE15MF42										

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
BMETE15MF38	2	0	0	v	3			KV		

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
BMEVEFAM???	2	0	0	v	3			KV		

Korrelációs módszerek a kvantumkémiaiában **

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF40	2	0	0	f	3			SZV		

Kvantum Monte Carlo módszerek **

A tantárgy bevezetést nyújt a kölcsönható kvantummechanikai sokrészecske-rendszerek sztochasztikus módszerekkel történő elemzésébe, amelyek a számítógépek teljesítményének ugrásszerű növekedése következtében az 1970-es évek végétől terjedtek el. Áttekintjük az alapvető algoritmusokat: a variációs Monte Carlo-t (VMC), a pályaintegrál kvantum Monte Carlo-t (PIMC), a diffúziós Monte Carlo-t (DMC), a Green-függvény kvantum Monte Carlo-t (GFMC), a Hirsch-Fye-algoritmust, és a folytonos idejű kvantum Monte Carlo-t, valamint ez egyes módszerekkel elemezhető problémák körét, a módszerek főbb alkalmazási területeit és sikereit (kölcsönható elektrongáz, folyékony és szuperfolyékony hélium, hidrogén fázisdiagramja, molekulafizikai alkalmazások, nanostruktúrák). Célul tűzzük ki, hogy a kurzus elvégzése után a hallgatók képesek legyenek saját kvantum Monte Carlo kódjaik elkészítésére, ezáltal kölcsönható kvantummechanikai problémák sztochasztikus elemzésére.

Irodalom:

M.H. Kalos, P.A. Withlock: Monte Carlo methods;

D.M. Ceperley: Path integral methods in the theory of Condensed Helium;

R.P. Feynman, A.R. Hibbs: Quantum Mechanics and Path Integrals.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF16	3	0	0	v	4	SZ		KV		

Kvantumelektronika

Atomos gáz szuszceptibilitása (félklasszikus tárgyalás), sugárzási tér kvantálása, vákuumingadozás Lamb-féle eltolódás, fotoeffektus H-atomon, Thomson-szórás kölcsönhatási kép, időfejlesztő operátor, Raman-szórás, frekvencia kétszerezés, parametrikus erősítés, fáziskonjugáció szabadelektron lézer.

Irodalom:

A. Yariv: Quantum electronics, John Wiley & Sons, 1987; Marx Gy.: Kvantummechanika;

Landau, Lifsic: Elméleti fizika, Nem relativisztikus kvantummechanika, Elektrodinamika.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF42	2	0	0	v	3	SZ		KV		

Kvantuminformatika **

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

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

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. Magyari: Kvantummechanika feladatok, Tankönyvkiadó, 1972.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF49	2	1	0	v	4	SZ	SZ	KV		

Kvantumoptika **

Koherencia a klasszikus optikában. Sugárzási átmenetek kvantumos anyagban, atomokban és félvezetőkben. Fotodetektálás, fotonstatisztikák, szuper- és szub-Poisson-statisztikájú fény. A Hanbury-Brown és Twiss-kísérlet, foton antibunching. Koherens és összenyomott állapotok, Wigner-függvények. Rezonáns atom-fény kölcsönhatás, sűrűségoperátor, Rabi-oszcilláció. Atomok rezonátorban, Purcell-effektus, erős csatolás. Hideg atomok, Bose-kondenzáció, optikai rácsok. Kvantumkriptográfia és kvantuminformatika. Összefonódás, kvantumteleportáció, Bell-egyenlőtlenségek

Irodalom:

M. Fox: Quantum Optics: an Introduction, Oxford University Press 2006.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF46	3	2	0	v	6			KV ¹		

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 perturbációszámítás, 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
BMETE12MF63	2	0	0	f	3		SZV			

Lézerek és lézerrendszerek tervezése és építése

Lézerfizikai ismételtes: 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 móduscsatolás gyakorlati megvalósítása, konfigurációk. Tipikus impulzusparaméterek. Gyakorlati rezonátor, erősítő és pumpálási konfigurációk elemzése az impulzusparaméterek szempontjából, tipikus Z-konfiguráció tervezése Ti:zafír 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. Szállézerek tervezési szempontjai, szálerősítők alkalmazása nagy impulzusenergiákra.

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
BMETE12MF58	2	0	0	f	3	SZV	KV			KV

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, felületötvöztetés, 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 interferometrikus 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 lézeralkalmazások: 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, InTechOpen, 2011.

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

Lézerfizika

Félklasszikus (kvantált anyag és klasszikus elektromágneses tér) és kvantumos (kvantált anyag és tér) lézermódusok tárgyalása. Lézermódusok frekvenciája. Lézermódus sávszélessége. 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, csörpölt tükrök. Szállézer, 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
BMETE80MF00	3	0	0	v	4	KV	KV	KV	K	K

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: Alap-állapotú 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
BMETE11MF43	2	1	0	v	4	KV		KV		KV

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
BMETE80MF90	2	0	0	v	2					KV

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
BMETE80MF68	2	0	0	v	2					KV

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 háttérrel, 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 paraméterektől, 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
BMETE11MF44	2	1	0	v	4	KV		KV		KV

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 Scientific, 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-zárójel, 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 sűrűlő 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
BMETE12AF33	2	0	0	f	3	KV				

Mikro- és nanotechnológiák *

Mikrotechnológia, nanotechnológia és molekuláris nanotechnológia definíciója, összehasonlítása, egymáshoz való viszonya. A technológia feltételei. Mikro- és nanofizika. Vékonyrétegek leválasz-

tására alkalmas módszerek: fizikai rétegleválasztási módszerek (vákuumpárolgatás, lézerablációs párolgatás, 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). Rétegminősítési 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 information technology, Wiley-VCH, 2003.

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

Mikroszkópia *

A mikroszkóp története, az összetett optikai mikroszkóp kialakulása. A modern mikroszkópiai 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
BMETE80MF92	2	0	1	v	3					KV

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 eszközszükséglete. 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
BMETE11MF41	3	2	0	v	6	KV		KV¹		

Modern szilárdtestfizika **

A tantárgy a Fizika alapképzési (BSc) szakon megszerezhető szilárdtestfizika és statisztikus fizika ismeretekre építve a kölcsönható többreszecske 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
BMETE80MF41	2	1	0	f	4	SZV	SZV	SZV	KV	KV

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, I²-, Kolmogorov-próba. Empirikus próbák egyenletes eloszlású véletlen számok vizsgálatára. Speciális eljárások nem egyenletes eloszlású véletlen számok generálására. Normális, exponenciális-, gamma-, béta- és Poisson-eloszlású változók generálása. Hatványfüggvényekkel leírható eloszlások mintavételezése. Véletlen vektorok generálásának módszerei. Térben izotróp irányeloszlás generálásának speciális eljárásai. Adott valószínűségű diszkrét események szimulálása Monte Carlo módszerrel. Eljárások a szimuláció gyorsítására. Folytonos eloszlású események szimulálása Monte Carlo módszerrel. Általános algoritmusok adott eloszlásból történő mintavételezésre. Inverz-eloszlás, elfogadás-elvetés, táblázatos, kompozíciós módszer. Az elfogadás-elvetés módszer általánosítása. Szóráscsökkentő eljárások a részecsketranszport szimulációjánál. A statisztikai súly, az orosz rulett és a trajektóriák felhasználásának módszere.

Irodalom:

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

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE80MF33	2	0	0	v	2				KV	

Monte Carlo részecsketranszport módszerek

Monte Carlo becslők: analóg becslés, ütközési becslők, úthossz becslő. A becslés szórása, a becsült érték szórása, korrelált mennyiségek becslése, becslők optimális kombinációja. Sorfejtési együtthajtók 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. Szórás-csökkentési módszerek és optimalizálásuk, nulla-szórású Monte Carlo. Adjungált Monte-Carlo. Midway-módszer, korrekton módszer, kontributon módszer. Monte-Carlo perturbációszámítás. Kritikussági számítások: forrás konvergencia, külső és belső detektorok. Nem-Boltzman problémák: szórás-csökkentés pulse height becslőre, zajszimuláció: magasabb momentumok becslése szórás-csökkentés 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
BMETE11AF41	0	0	2	f	3			KV		

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, hullámeqyenlet, 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
BMETE11MF36	3	0	0	v	4	K	KV	KV	KV	KV

Nanotechnológia és anyagtudomány

A tárgy a nanotechnológia és anyagtudomány terén a legfontosabb trendeket, gyártástechnológiákat és anyagvizsgáló módszereket ismerteti korszerű kutatási és fejlesztési eredmények példáin keresztül.

Tematika: A nanofizika koncepciója, karakterisztikus méretskálák, a makroszkopikus tulajdonságoktól eltérő, meglehetősen jelenségek. Az anyag mikroszkopikus feltérképezése nanométeres skálán: pásztázó szondás módszerek, elektronmikroszkópia. Nanoszerkezetek gyártása „top-down” módszerekkel: foto- és elektronsugár-litográfia, rétegleválasztási és speciális megmunkálási módszerek. Nanoszerkezetek gyártása „bottom-up” módszerekkel: önszerveződő nanoszerkezetek. Félvezető technológia, szilícium technológia, félvezető heteroszerkezetek, kétdimenziós elektrongáz. Legfontosabb informatikai és optikai alkalmazások. Új koncepciók az informatikában: spintronika, memrisztorok, molekuláris elektronika, kvantumelektronika. Anyagszerkezet feltérképezése szórás-kísérletekkel. Az anyag elektromos és rezgési tulajdonságainak vizsgálata optikai spektroszkópiai módszerekkel. Felületanalitikai módszerek. Modern anyagcsaládok (pl. szén nanoszerkezetek, multifunkcionális anyagok, kétdimenziós kristályok, stb.) és alkalmazásaik a korszerű szenzoroktól az orvostudományig.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF54	0	0	3	f	4	KV ¹				

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. Bemutatásra 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 litográfiás 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 tranzisztor 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
BMEVEFAM???	2	0	0	v	3	KV	KV		KV	KV

Nemkonvencionális anyagok **

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

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: kvantumradír, 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
BMETE80MF23	2	2	0	v	5				KV	KV

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
BMETE80MF47	2	0	0	v	2				SZV	

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
BMETE80MF08	0	0	0	s	0				KR	

Nukleáris technika szigorlat

A vizsga során összefoglaló áttekintésről kell bizonyosságot 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
BMETE80MF97	2	0	1	v	3					KV

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. Izotópdiagnosztika gamma-kamerás síkleképezéssel: alkalmazott forrástípusok, hatásfok, elérhető képparaméterek, zajforrások, vizsgálati célok. A SPECT elve, kivitelezésének módjai, képminőséget befolyásoló tényezők, alkalmazási irányok. A PET elve, kivitelezésének módjai, képminőséget befolyásoló tényezők, alkalmazási irányok. A PET alkalmazásához szükséges izotópok előállítása gyorsítókban, 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 izotópdiagnosztikában, 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
BMETE80MF13	3	0	0	v	3				KV	

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 uránérccek bányászata és feldolgozása; izotópdúsítás, fűtőelemgyártás; az atomerőművek általános műszaki jellemzői; termikus reaktorról 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
BMETE92MF00	4	0	2	f	6	K	K	K	K	K

Numerikus módszerek

MATLAB numerikus szoftver használata. Hibaszámítás. Lineáris egyenletrendszerek direkt és iteratív megoldása: Gauss-elimináció, Gauss-transzformáció. Mátrixok 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. Mátrixok speciális alakra való transzformálása. Jacobi módszer sajátértékek és sajátvektorok meghatározására. QR módszer sajátértékek meghatározására. Közönséges 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. Közönséges differenciálegyenletek kezdetiérték feladatainak numerikus megoldása: egy lépéses módszerek alapfogalmai; Runge–Kutta-formulák, egy lépéses 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
BMETE12AF35	2	2	0	v	4		KV			

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. Fősíkok 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. Négyyszög- és köraperetúra távolférfi diffrakciója. Szinuszos rács Fraunhofer-diffrakciós képe. Polarizáció. Polarizáció-érzékeny optikai elemek. Kettőstörés. Ordinárius és extraordinárius nyaláb. Fény terjedése anizotróp közegben. Polarizációs prizrnák. 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
BMETE12AF33	2	0	0	v	3	KV	KV			

Optikai anyagok és technológiák 1

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

Irodalom:

Kocsányi L., Várkonyi S.: Optikai anyagok és technológiák. A Bevezetés a modern optikába II (Műegyetemi Kiadó, 1988, szerk. Richter Péter) 5. fejezete;

Horne: Optical production technology, 2nd edition.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12AF34	2	0	0	v	3	SZV	KV			

Optikai anyagok és technológiák 2

E tárgy keretében az elektromágneses fényelmélet és a szilárdtestfizika eredményeire alapozva megismertetjük hallgatóinkat a fény és anyag közötti speciális kölcsönhatások (anizotrópia, kris-

tályoptika nemlineáris optika, vékonyrétegek, hullámvezetés, stb.) gyakorlati hasznosításával. Tár-
gyaljuk az ezeken az effektusokon alapuló optikai elemek előállítására alkalmazható anyagokat,
kristályokat és azok legfontosabb tulajdonságait. Ismertetjük az optikai kristályok előállításának,
megmunkálásának és minősítésének alapvető eljárásait, így pl. a növesztést, az orientálást és a vá-
gást. Összefoglaljuk a csiszolási és polírozási technológiák eltérését az üvegnél alkalmazottakhoz
képest. Diákjaink elsajátítják a vékony réteg optikák (tükrözés gátló rétegszerkezetek, interferencia-
szűrők, stb.) tervezésének, gyártásának és minősítésének alapjait. Hallgatóink betekintést nyernek a
felületi struktúrák és a hullámvezetők létrehozásának (litográfia, diffúzió, ioncsere, protoncsere,
ionimplantáció, maratások, stb.) témakörébe, miáltal eljutnak a legkorszerűbb optikai eszközök,
köztük az integrált optikai áramkörök (OIC) működésének, gyártástechnológiai problémáinak meg-
értéséhez..

Irodalom:

Kocsányi L., Várkonyi S.: Optikai anyagok és technológiák. A Bevezetés a modern optikába II
(Műegyetemi Kiadó, 1988, szerk. Richter Péter) 5. fejezete;

Bond: Crystall Technology, J. Wiley, 1976; H.K. Pulker: Coatings on glass, Elsevier, 1984.

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

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, va-
lamint a feladatra kidolgozott számos rendszer elvét, előnyeit, hátrányait és paramétereit. A klasszi-
kus jelfeldolgozás továbbfejlődésének eredményeként részletesen bemutatja az optikai adattárolás,
optikai számítógépek, és optikai radar-rendszerek elvét, a működő rendszereket és az ezekhez fel-
használt 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
BMETE11MF21	2	0	0	v	3		KV			

Optikai mérés technika

A tantárgy célja áttekintést adni az optikai mérés technika módszereiről és ismertetni a legújabb eljá-
rásokat 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 szemcskép interferometria. Digitális holográfia. Optikai adatfel-

dolgozási módszerek a szemcsekép mérés technikában. Fotoelaszticitás. Fényvezetőszál érzékelők. Szín-mérés, 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
BMETE11MF39	3	0	0	v	4	K	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
BMETE12MF39	2	2	0	v	4		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 foglalattechnikájának 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
BMETE80MF73	2	0	1	v	3				KV	KV

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 liposzómás 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
BMETE80MF87	0	0	0	s	0					KR

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
BMETE80MF91	2	0	1	v	3				KV	KV

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), képalkotási módszerek: transzmissziós, emissziós, gerjesztett technikák, a modalitások vázlatos bemutatása (CT, ultrahang, MRI, PET, SPECT), Sugárterek szimulációja, fizikai és matematikai modellezés, matematikai és fizikai fantomok, lineáris rendszerek. Fourier transzformált és képfeldolgozás, a 2D vetítés, tomográfia, radon-transzformáció, szűrt visszavetítés. Iteratív rekonstrukciós módszerek (ML-EM, OSEM). Korrekciós tényezők, a tomográfias rekonstrukció gyakorlata.. Multimodalitású rendszerek, regisztráció, szegmentáció, fúzió. Képtömörítés 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
BMETE12MF08	0	0	7	f	7	K	K	K	K	K
BMETE11MF07										
BMETE80MF06										
BMETE80MF85										
BMETE12MF47	0	0	13	f	13	K	K	K	K	K
BMETE11MF32										
BMETE80MF52										
BMETE80MF72										

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
BMETE80MF57	2	1	0	v	3				KV	KV

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. Szervetlen heterogén rendszerek: talaj és talajvíz, kőzetek. Biológiai transzportfolyamatok növényi struktúrákban, állati szervezetekben és az emberi szervezetben. Összetett környezeti terjedési programok (kibocsátás + terjedés + immisszió + sugárterhelés), ezek szerepe a nukleárisbaleset-elhárításban. A környezeti monitorozás elve, eszkö-

zei 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
BMETE80MF58	1	0	1	v	2				KV	KV

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 hulladéksomagok 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
BMETE80MF24	3	0	2	v	5				KV	KV

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
BMETE80MF38	3	1	0	v	3				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 MÜSZ 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 **

Struktúrális 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
BMEVIEUM273	2	1	0	v	4					KV

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. Képessé válnak arra, hogy ilyen műszerek, mérési feladatok, adatkezelési-feldolgozási feladatok fejlesztése, tervezése, kivitelezése, a berendezések beüzemeltetése és működtetése során az érintett élettani mechanizmusokat áttekinthessék 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
BMETE15MF43	2	1	0	v	4	KV	KV	KV	KV	KV

Részecskefizika **

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

Tematika: Részecskék felfedezése, tulajdonságaik, rendszerezésük kölcsönhatásaik és szimmetriaelvek alapján. Lokáltság, 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
BMETE80MF37	2	0	0	v	2				KV	

Röntgen- és gamma spektrometriai módszerek

Röntgen és gammaforrások: röntgencsővek, 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 alkalmazásaik. 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, hullámdisziperzív 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. Matrik effektus és másodrendű gerjesztési folyamatok. A REA empirikus módszerei: standard minták, hígítási 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-közel finomszerkezete, kísérleti lehetőségek, alkalmazások a kémiai és biológiai szerkezetkutatásban. A gammaspektroszkópia alkalmazásai.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE80MF99	2	0	1	v	3					KV

Röntgendiagnosztika fizikai alapjai

Röntgensugárzás és anyag kölcsönhatási jelenségei: fényelektromos jelenség, rugalmas szórás, Compton-jelenség, röntgensugarak reflexiója, polarizáció, fékezési sugárzás keletkezése és tulajdonságai, párkeltés folyamata, abszorpció jelenségei. Röntgenforrások: röntgencső, röntgengenerátor, radioaktív izotópok, szinkrotron. Röntgendetektorok: film, fluoreszcens ernyők, gáz-töltésű, szcintillációs és félvezető detektorok, mátrixdetektorok, méréstechnikai tulajdonságaik, hatásfok- és válaszfüggvény, holtidő, koincidencia. Röntgennyaláb abszorpciója, szűrők, röntgenoptikai elemek, megjelenítő eszközök. Radiológiai képalkotás elemei: nagyítás, szórás szerepe a zaj keletkezésében, kontraszt, felbontás, műtermékek. Dual energy X-ray absorptiometry technika. Komputer tomográfia általános mérési geometriái, parallel és cone beam geometria. A CT mechanikai elemei, detektorai, kollimálás, szűrés. Rekonstrukciós eljárások: matematikai alapok, Fourier-féle vetítési tétel, szűrt vetítés, szűrt vissza-vetítési eljárás, algebrai algoritmusok, térbeli és kontraszt feloldás, a leképezés és rekonstrukció hibái. Reflexiós tomográfia, párhuzamos és legyező vetítési technika rekonstrukciós algoritmusai. A CT orvosi alkalmazásai: angiográfia, teljes test CT, mammográfia, fogászati alkalmazás. Dozimetriai alapfogalmak, eszközök és alkalmazásuk a röntgendiagnosztikában. A röntgensugárzás biológiai hatásai, sugárvédelem, biztonsági kérdések, minőségbiztosítás.

Irodalom:

C.L. Epstein: The Mathematics of Medical Imaging, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, cle@math.upenn.ed;

A.C. Kak, M. Slaney, Principles of Computerized Tomographic Imaging, Electronic Copy (c) 1999, New York;

F. Natterer, F. Wübbeling, Mathematical Methods in Image Reconstruction, Society for Industrial and Applied Mathematics.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF50	3	1	0	v	5			KV		

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, diagrammtechnika (Wick-tétel, Feynman-gráfok), újrafelösszegzések (sajátenergia, vertex függvény, csontváz diagramok), mozgásegyenletek. A technikát megismerése után alkalmazzuk nagy sűrűségű elektron-gáz 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 kvadratikusan 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
BMETE15MF54	2	0	0	v	3			SZV		

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 (kölcsönható 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
BMETE15MF44	2	1	0	v	4	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. Kölcsönható 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
BMETE15MF39	2	0	0	v	3			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 folyamatok. 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 állapotter módszer. Nemintegrálható modellek.

Irodalom:

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

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

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
BMETE80MF94	2	0	2	v	4					K

Sugárterápia fizikai alapjai

A tantárgy célkitűzése, hogy a sugárterápiához kapcsolódó orvosságizikai 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
BMETE80MF95	2	0	0	v	2					KV

Sugárterápia 2

A tantárgy célkitűzése: a sugárterápia speciális készülékeinek és kezelési módszereinek megismertetése 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
BMETE80MF69	3	0	1	f	4					K

Sugárvédelem az orvosi fizikában

A fizikai és biológiai dóziszfogalmak 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 résztestszámlálás, 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. Sugárbaesetek az orvosi fizika különböző területein. Páciens védelem és beteg dózis. Sugáregészségtan alapjai. Sugárbaesetek 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
BMETE80MF30	2	0	2	v	4				KV	

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 mérésével és számításokkal történő meghatározásait mutatja be.

Tematika: Dózisfogalmak részletes elemzése, az egyes fogalmak speciális problémái (KERMA és elnyelt dózis, egyenértékűdózis és effektív dózis sztochasztikus hatások értékelésére), dózis/kockázat-alapú sugárvédelmi szabályzási rendszer, dózis- és dózisteljesítmény mérési elve és kivitelezése, belső sugárterhelés számítása, nukleáris analízis alkalmazása a belső sugárterhelés meghatározásában, összetett sugárvédelmi mérések: radonanalízis, környezeti monitorozás.

Irodalom:

Köteles Gy.: Sugáregészségtan (Medicina, Budapest, 2002.);

Kanyár B.: Radioökológia és környezeti sugárvédelem (Veszprém, 2000).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF11						KR	KR			
BMETE11MF09								KR		
BMETE80MF09	0	0	9	a	0				KR	
BMETE80MF88										KR

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
BMETE11AF38	0	0	2	f	3	KV	SZV	KV	SZV	SZV

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
BMETE11AF39	0	0	2	f	3	KV	SZV	SZV	SZV	SZV

Számítógépes mérésvezérlési projekt munka 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 projekt munkát 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. Oszcilloszkóp program készítése

Lehetséges példák az elkészítendő projekt munkára: ultrahangos távolságmérő eszköz készítése, oszcilloszkóp és függvénygenerátor készítése, PID hőmérsékletszabályozó rendszer készítése, hangszínszabályozó készítése, lock-in erősítő készítése.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE15MF45	2	1	0	f	4	KV	KV	KV	KV	KV

Számítógépes szimuláció a fizikában **

A tantárgy az alapképzés során elsajátított statisztikus fizikai, kvantummechanikai és programozási ismeretekre építve bemutatja a legalapvetőbb szimulációs technikákat és betekintést nyújt az újabb fejleményekbe.

Tematika: Monte Carlo módszer (véletlen számok generálása, fontossági mintavétel, Metropolis algoritmus, határfeltételek, sokaságok, átlagok, karakterisztikus idők, kvantum). Fázisátalakulások (véges méret skálázás, kritikus lelassulás, gyorsítási technikák, kvantum spinlánc). Diszkrét modellek algoritmikus vonatkozásai (perkoláció, mágneses modellek, rácsgázok, sejtautomaták, növekedési modellek). Sztochasztikus differenciálegyenletek (osztályozásuk, a zajok fajtái, módszerek, instabilitások). Schrödinger-egyenlet, kvantum spinlánc (Lánczos-módszer). Molekuláris dinamika (kölesönhatások, megoldási módszerek, sokaságok, eseményvezérelt MD, instabilitások). Hálózatok és alkalmazásai (clustering, page rank). Algoritmikusan definiált modellek: önszervező kritikusság, játékmodellek, Nash-egyensúly).

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF04, 5, 6 BMETE11MF03, 4, 5 BMETE80MF02, 3, 4 BMETE80MF81, 2, 3	0	2	0	f	2	K	K	K	K	K
BMETE12MF07 BMETE11MF06 BMETE80MF05 BMETE80MF84	0	2	0	a	0	K	K	K	K	K

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
BMETE15MF51	2	1	0	v	4	SZV		KV		

Szilárdtestek elektronszerkezete **

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

Tematika: A sűrűségfüggvény 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	3	0	0	v	4	K	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 hőmérsékleti 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			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. Adiabtikus dinamika a kvantummechanikában, Berry-fázis, Chern-szám. Adiabtikus töltéspumpálás egydimenziós kristályban. Kvantum anomális Hall-effektus: a Qi–Wu–Zhang-modell. Kétdimenziós 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
BMETE11MF35	2	0	0	v	3			SZV		

Topologikus szigetelők 2 **

A *Topologikus szigetelők* c. kurzusra építve azt mutatjuk meg, hogyan lehet topologikus szupravezetőkben kvantuminformációt tárolni, ill. feldolgozni. A szupravezetők az egyrészcscsés gerjesztések szempontjából (Bogoljubov–de Gennes-formalizmusban) sávszigetelőknek tekinthetők. Megfelelő körülmények mellett egy szupravezető (Bogoljubov–de Gennes Hamilton-operátora) lehet topologikusan nemtriviális. Az egy- és kétdimenziós esetben az ilyen anyagok topologikusan védett nulla-energiás kötött állapotokat tartalmazhatnak, ezeket Majorana-fermionoknak szokták hívni. Áttekintjük ezen állapotok elméleti és kísérleti státuszát, valamint annak alapjait, hogyan alkalmazhatóak ezek kvantuminformáció tárolására és feldolgozására. Kitekintést adunk az erősen kölcsönható, topologikus renddel bíró modellekre is.

Tematika: Szupravezetés és a Bogoljubov–de Gennes-formalizmus. Topologikus szupravezetés egy dimenzióban: Kitajev-drót, Majorana-módusok és tömb-él korrespondencia. Elektromos transzport topologikus szupravezetőkben: alagútspektroszkópia és Josephson-effektus. Topologikus szupravezetők kísérleti megvalósítása. Topologikus szupravezetés két dimenzióban: $p + ip$ szupravezetők, kötött állapotok vortexekben. Majorana-módusok és topologikus kvantuminformáció-feldolgozás. Topologikus rend: A Kitajev-féle toric code és hatszögrács-modellek.

Irodalom:

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

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE11MF40	2	0	0	f	2	KV ¹				

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 mérés technikák; félvezető nanoszerkezetek; nanoszenzorika; nanoinformatika; mikrohullámú mérés technikák a nanofizikában.

Tárgykód	ea	gy	lab	köv	kr	NA	OP	KF	NT	OF
BMETE12MF27	2	0	0	f	2	KV ¹				

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, ötvöztetés, fémek, nem fémek 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
BMETE80MF98	2	0	0	v	2					KV

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
BMETE80MF42	1	2	0	f	4				KV	

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
BMETE807410	2	0	0	v	2				SZV	

Válogatott fejezetek a magfizikából

Általános összefoglaló az erős kölcsönhatásról. Az erős kölcsönhatás Yukawa elmélete: skalár részecskével megvalósuló potenciál meghatározása perturbációs számítással. 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–Russel-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
BMETE92AM24	2	0	0	v	3			KV		

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–Ostrogradszkij–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
BMETE15MF10	2	0	0	v	3			SZV		

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 kvantummechanika illetve statisztikus fizika valamint a valószínűség elmélet segítségével felépíti a véletlen mátrix elméletet. Meghatározza a Dyson sokaságok tulajdonságait, 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.

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR VEZETÉSE ÉS HALLGATÓI KÉPVISELETE

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

Dékán: DR. PIPEK JÁNOS egyetemi docens

Dékánhelyettesek:

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

Dékáni Hivatal:

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

Kari Hallgatói Képviselő

Elnök:	KOVÁCS SZILVIA
Cím:	1111 Budapest, Irinyi J. u. 9-11, Kármán Tódor Kollégium F013.
Telefon:	06-20-435-2482
E-mail:	hk@wigner.bme.hu
Web:	http://hk.wigner.bme.hu

Kari lap: *Pikkász*:

Főszerkesztő:	BUNTH GERGELY
Szerkesztőség:	1111 Budapest, Irinyi J. u. 9-11, Kármán Tódor Kollégium F013.
E-mail:	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. LUKÁCS ÁGNES egyetemi docens

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

Telefon: 463-1273, Fax: 463-1072

Matematika Intézet – igazgató: DR. HORVÁTH MIKLÓS egyetemi tanár

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

Telefon: 463-2762, Fax: 463-2761

Algebra Tanszék – tanszékvezető: DR. NAGY ATTILA, egyetemi docens

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

Telefon: 463-2094, Fax: 463-1780

Analízis Tanszék – tanszékvezető: DR. HORVÁTH MIKLÓS egyetemi tanár

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

Telefon: 463-2324, Fax: 463-3172

Differenciálegyenletek Tanszék – tanszékvezető: DR. ILLÉS TIBOR egyetemi docens

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

Telefon: 463-2140, Fax: 463-1291

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

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

Telefon: 463-2645, Fax: 463-1050

Sztochasztika Tanszék – tanszékvezető: DR. SIMON KÁROLY egyetemi tanár

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

Telefon: 463-1101, Fax: 463-1677

Nukleáris Technikai Intézet – igazgató: DR. 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. SZALÓKI IMRE egyetemi docens

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

Telefon: 463-2523, Fax: 463-1954

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

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

Telefon: 463-2523, Fax: 463-1954