برنامه درسی رشته

فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال

CONDENSED MATTER PHYSICS

مقطع دکتری

بر اساس مصوبه جلسه شماره .... شورای گسترش و برنامه‌ریزی آموزش عالی در تاریخ ..... به تصویب رسید.

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی گسترش و برنامه‌ریزی آموزش عالی

دانشگاه صنعتی اصفهان

برنامه درسی رشته

فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال

CONDENSED MATTER PHYSICS

مقطع دکتری

مشتمل بر گرایش‌های:

۱. **فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال** | Condensed Matter Physics

تهیه‌کنندگان:

دکتر سیدجواد هاشمی‌فر	**عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان**
دکتر فرهاد شهبازی	**عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان**
دکتر اسماعیل عبدالحسینی‌سارسری	**عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان**

نام درس	نوع درس	تعداد واحد درسی		
		جمع	نظری	عملی
فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۱	تخصصی	۳	۳	۰
فیزیک پدیده‌های بحرانی	تخصصی	۳	۳	۰
ماده چگال پیشرفته	تخصصی	۳	۳	۰
سمینار (دکتری فیزیک)	تخصصی	۱	۱	۰
کارگاه ایمنی و بهداشت عمومی	تخصصی	۰	۰	۰
مکانیک آماری پیشرفته ۲	اختیاری	۳	۳	۰
موضوعات ویژه در ماده چگال	اختیاری	۳	۳	۰
ساختار الکترونی پیشرفته مواد	اختیاری	۳	۳	۰
فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۲	اختیاری	۳	۳	۰
فیزیک سامانه‌های پیچیده	اختیاری	۳	۳	۰
ابررسانایی پیشرفته	اختیاری	۳	۳	۰
فیزیک محاسباتی	اختیاری	۳	۳	۰
نظریه گروه‌ها	اختیاری	۳	۳	۰
کارگاه ایمنی و بهداشت تخصصی	اختیاری	۰	۰	۰
درس اختیاری از گرایش دیگر	اختیاری	۳	۳	۰

فصل اول

مشخصات کلی برنامه درسی

الف. مقدمه:

- عنوان رشته به فارسی و انگلیسی: فیزیک، گرایش فیزیک ماده‌چگال Condensed Matter Physics
- مقطع: دکتری
- معرفی حوزه علمی و شاخه‌های آن (آشنایی اجمالی با حوزه علمی و شاخه‌های آن):

فیزیک ماده‌چگال در واقع گسترده‌ترین گرایش فیزیک است که در آن سامانه‌های بسیار متنوعی شامل مواد بلوری، ترکیبات بی‌نظم و سامانه‌های زیستی با استفاده از دستگاه‌های متعدد اندازه‌گیری ساختار، میکروسکوپ‌های متنوع الکترونی و انواع تکنیک‌های طیف‌نگاری و ادوات مشخصه‌یابی و همچنین با استفاده از نظریه‌های متعدد در حوزه مکانیک کوانتومی، مکانیک آماری و مکانیک کلاسیک مورد بررسی قرار می‌گیرند. مهم‌ترین زیرشاخه فیزیک ماده‌چگال، فیزیک حالت جامد است که به بررسی خواص ساختاری، الکترونی، مغناطیسی و اپتیکی انواع بلورها می‌پردازد و زمینه‌های شگرفی نظیر ابررساناها، مواد توپولوژی و بلورهای کوانتومی اپتیکی نیز از سرفصل‌های داغ و جذاب این زیرشاخه به شمار می‌رود.

ب. تعریف رشته و مشخصات دوره تحصیلی:

- حوزه مطالعاتی و مرزهای رشته، چیستی رشته، و معرفی گرایش‌های آن
- مشخصات دوره تحصیلی (تعداد کل واحدها، طول دوره تحصیل، کارآموزی‌ها و کارورزی‌ها، بخش‌های مختلف دوره تحصیلی)
- در صورت بازنگری برنامه درسی، مشخص شود که این برنامه درسی جایگزین کدام برنامه‌های درسی است

حوزه‌های مطالعاتی رشته فیزیک ماده‌چگال شامل نانوساختارها، لایه‌های نازک، حسگرها، ابررسانایی، توپولوژی، نیمه‌رساناها، مغناطیس، گذار فاز، شکست تقارن، ترموالکتریک، پیزوالکتریک، سامانه‌های زیستی و شبکه‌های عصبی می‌شود. امروزه بلورهای کوانتومی و مواد دوبعدی از مهم‌ترین مباحث مطرح در مرزهای فیزیک ماده‌چگال هستند. این رشته همپوشانی قابل توجهی با رشته‌های علوم مهندسی دارد. حوزه نیمه‌رساناها، حسگرها، مواد مغناطیسی و مواد کوانتومی با رشته مهندسی الکترونیک همپوشانی محسوسی دارد، زمینه مواد بلوری و نانوساختارها با رشته‌های مهندسی مواد و مهندسی مکانیک همپوشانی قابل توجهی دارد و موضوع حسگرها و لایه‌های نازک با رشته شیمی و مهندسی شیمی مرتبط می‌شود. می‌توان سه گرایش کلی نظری، محاسباتی و تجربی را برای فیزیک ماده‌چگال در نظر گرفت.

در گرایش فیزیک ماده‌چگال نظری از قوانین و رهیافت‌های مکانیک کوانتومی، مکانیک آماری و الکترومغناطیس برای بررسی موضوعاتی نظیر ابررسانایی، توپولوژی، شکست تقارن و گذار فاز استفاده می‌شود. در گرایش فیزیک ماده‌چگال محاسباتی از تکنیک‌ها و تقریب‌های مختلف محاسباتی برای تولید نرم‌افزارهایی برپایه قوانین مکانیک کوانتومی، مکانیک آماری و مکانیک کلاسیک استفاده شده و سپس این نرم‌افزارها برای شبیه‌سازی خواص مکانیکی، الکترونی، مغناطیسی و ترابردی انواع مواد بلوری و نانوساختارها به کار گرفته می‌شود. اخیرا استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی نیز برای افزایش دقت و سرعت پیش‌بینی خواص مواد و نانوساختارها فراگیر شده است. در گرایش فیزیک ماده‌چگال تجربی از تکنیک‌های متعدد آزمایشگاهی برای تولید و مشخصه‌یابی مواد بلوری و نانوساختارها بهره‌برداری می‌شود. ادوات مورد نیاز این گرایش شامل انواع کوره‌های تولید بلور، دستگاه‌های لایه‌نشانی، ادوات طیف‌نگاری و میکروسکوپ‌های الکترونی هستند.

پ. اهداف برنامه درسی:

۱. توسعه دانش فیزیک ماده‌چگال در سطح کشور و تولید دانش در مرزهای این رشته
۲. تربیت نیروی انسانی ماهر برای توسعه کشور در زمینه علوم و فناوری‌های راهبردی
۳. توسعه آزمایشگاه‌های پژوهشی مناسب برای زمینه‌های مختلف فیزیک ماده‌چگال

ت. ضرورت و اهمیت:

- چرایی وجود رشته (این رشته کدام یک از نیازهای کشور و منطقه را تامین می‌کند؟؛ کدام تحولات در علم و فناوری ضرورت ایجاد این رشته را موجب شده است؟؛ اگر این رشته وجود نداشته باشد چه آسیب‌هایی به کشور خواهد رسید؟)
- چرایی تدوین یا بازنگری این برنامه درسی (مختصری از تاریخچه تغییرات برنامه درسی در ایران و جهان و مرزهای پیش روی رشته، سابقه این رشته در سایر دانشگاه‌ها)

امروزه فناوری‌های نوین و راهبردی مهم‌ترین عرصه رقابت بین کشورها برای کسب اقتدار سیاسی و اقتصادی می‌باشد. فناوری‌های اپتیکی، حسگرها و فناوری‌های کوانتومی از زمینه‌های بسیار مهم رقابتی در حال حاضر به شمار می‌رود و رشته فیزیک ماده‌چگال می‌تواند در این میدان رقابتی، نقش مهمی ایفا کند. فناوری‌های اپتیکی و حسگرها ارتباط تنگاتنگی با فناوری‌های دفاعی و فضایی دارد و با توجه به اهمیت این فناوری‌ها در دکترین مدیریتی کشور، دانش فیزیک ماده‌چگال از نیازهای اساسی نظام آموزشی و پژوهشی ما به شمار می‌رود. فناوری‌های کوانتومی نیز زیربنای بسیاری از فناوری‌های آینده نزدیک نظیر مخابرات امن، محاسبات فوق سریع کوانتومی و حسگرهای فوق دقیق کوانتومی هستند و لذا کشورهای پیشرفته سرمایه‌گذاری وسیعی برای پیشرفت در این عرصه فناوری انجام داده و می‌دهند.

ث. تعداد و نوع واحدهای درسی:

مقطع		جمع				
			اصلی و تخصصی	اختیاری	رساله	
دکترا	عمومی	پایه				
	–	–	۸ – ۱۰	۴–۱۰	۱۸ – ۲۴	۳۶
			۱۰	۶	۲۰	۳۶

ج. توانایی‌ها و شایستگی‌های دانش‌آموختگان:

۱. آشنایی با حوزه‌های راهبردی فیزیک ماده‌چگال و نقش آنها در توسعه کشور
۲. تسلط بر برخی تکنیک‌های مناسب برای پژوهش در زمینه فیزیک ماده‌چگال
۳. آشنایی با رشته‌های مهندسی مرتبط با زمینه‌های فیزیک ماده‌چگال و آمادگی برای مشارکت در پروژه‌های کلان و بین‌رشته‌ای

چ. شرایط و ضوابط ورود به دوره تحصیلی:

مطابق مقررات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جدول ارتباط توانایی‌ها و شایستگی‌ها با اهداف برنامه درسی						
توانایی و شایستگی	اهداف					
	۱	۲	۳			
۱	✓	✓	✓			
۲	✓	✓	✓			
۳	✓	✓	✓			

(تمام توانایی‌ها و شایستگی‌ها بایستی در راستای اهداف برنامه درسی قرار داشته باشد)

جدول ارتباط توانایی‌ها و شایستگی‌ها با دروس									
نام درس	توانایی و شایستگی								
	۱	۲	۳						
فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۱	✓	✓	✓						
فیزیک پدیده‌های بحرانی	✓	✓	✓						
ماده چگال پیشرفته	✓	✓	✓						
سمینار (دکتری فیزیک)	✓	✓	✓						
کارگاه ایمنی و بهداشت عمومی	✓	✓	✓						
مکانیک آماری پیشرفته ۲	✓	✓	✓						
موضوعات ویژه در ماده چگال	✓	✓	✓						
ساختار الکترونی پیشرفته مواد	✓	✓	✓						
فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۲	✓	✓	✓						
فیزیک سامانه‌های پیچیده	✓	✓	✓						
ابررسانایی پیشرفته	✓	✓	✓						
فیزیک محاسباتی	✓	✓	✓						
نظریه گروه‌ها	✓	✓	✓						
کارگاه ایمنی و بهداشت تخصصی	✓	✓	✓						
درس اختیاری از گرایش دیگر	✓	✓	✓						

(تمام دروس برای ایجاد توانایی‌ها و شایستگی‌ها ایجاد می‌شوند)

فصل دوم

جدول عناوین و مشخصات دروس

جدول دروس اصلی و تخصصی						
ردیف	نام درس	تعداد واحدهای درسی				شناسه
		جمع	نظری	عملی	کارگاهی	پیشنیاز / هم‌نیاز
۱	فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۱	۳	۳	۰	۰	
۲	فیزیک پدیده‌های بحرانی	۳	۳	۰	۰	
۳	ماده چگال پیشرفته	۳	۳	۰	۰	
۴	سمینار (دکتری فیزیک)	۱	۱	۰	۰	
۵	کارگاه ایمنی و بهداشت عمومی	۰	۰	۰	۰	

جدول دروس اختیاری						
ردیف	نام درس	تعداد واحدهای درسی				شناسه
		جمع	نظری	عملی	کارگاهی	پیشنیاز / هم‌نیاز
۱	مکانیک آماری پیشرفته ۲	۳	۳	۰	۰	
۲	موضوعات ویژه در ماده چگال	۳	۳	۰	۰	
۳	ساختار الکترونی پیشرفته مواد	۳	۳	۰	۰	
۴	فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۲	۳	۳	۰	۰	
۵	فیزیک سامانه‌های پیچیده	۳	۳	۰	۰	
۶	ابررسانایی پیشرفته	۳	۳	۰	۰	
۷	فیزیک محاسباتی	۳	۳	۰	۰	
۸	نظریه گروه‌ها	۳	۳	۰	۰	
۹	کارگاه ایمنی و بهداشت تخصصی	۰	۰	۰	۰	اخذ این درس برای گرایش ماده چگال تجربی الزامی است.
۱۰	درس اختیاری از گرایش دیگر					

فصل سوم

ویژگی‌های دروس

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۱**				
نام درس (انگلیسی):	**Physics of Many-body Systems I**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			■ نظری
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	■ اصلی و تخصصی	☐ نظری - عملی
	۳	۰	۳	☐ اختیاری	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:	۴۸	۰	۴۸	☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله ☐ جبرانی	☐ کارگاهی / عملیات میدانی ☐ کارورزی / کارآموزی

آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف درس: آشنایی با روش‌های مرسوم بس‌ذره‌ای

مباحث / سرفصل‌ها:

کوانتش دوم، گاز الکترونی، برهمکنش الکترون-فونون، نظریه میدان میانگین، تصویر شرودینگر، هایزنبرگ، برهم‌کنشی، نظریه پاسخ خطی، رابطه کوبو، تابع گرین، نظریه معادله حرکت، تابع گرین زمان موهومی، نظریه اختلال و دیاگرام‌های فاینمن، گاز الکترونی برهمکنشی، نظریه مایع فرمی کوانتومی، رسانندگی و پراکندگی از ناخالصی

روش یاددهی:

سخنرانی ● مباحثه ●بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ●مطالعه موردی ●آزمایش و ساخت ○ و ...

روش ارزشیابی:

امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ○ و ...

منابع درسی:

Fetter, A. L. and Walecka, J. D. (1971). *Quantum Theory of Many Particle Systems*. McGraw-Hill Co.

Coleman, P. (2015). *Introduction to Many-Body Physics*. Cambridge University Press.

Bruus, H. and Flesenberg, K. (2016). *Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter*. Oxford University Press.

Mahan, G. D. (2000). *Many Particle Physics*. Springer.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**فیزیک پدیده‌های بحرانی**				
نام درس (انگلیسی):	**Physics of Critical Phenomena**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			■ نظری
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	■ اصلی و تخصصی	☐ نظری - عملی
	۳	۰	۳	☐ اختیاری	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:	۴۸	۰	۴۸	☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله ☐ جبرانی	☐ کارگاهی / عملیات میدانی ☐ کارورزی / کارآموزی

آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف درس: آشنایی با گذار فازها و نماهای بحرانی

مباحث / سرفصل‌ها:

مکانیک آماری گذار فاز، رده‌بندی گذارهای فاز، نماهای بحرانی و جهان‌شمولی، مدل آیزینگ، نظریه‌ی میدان میانگین، نظریه لاندائو گینزبورگ، مقیاس‌بندی در پدیده‌های استاتیک، دینامیک و غیرتعادلی، گروه بازبهنجارش در فضای حقیقی، گروه بازبهنجارش در فضای تکانه، بسط سری‌ها، گذار کاسترلیتس- تالس

روش یاددهی:

سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ●مطالعه موردی ●آزمایش و ساخت ○ و ...

روش ارزشیابی:

امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ● و ...

منابع درسی:

Goldenfeld, N. (2018). *Lectures on phase transitions and the renormalization group*. CRC Press.
Chaikin, P. M., and Lubensky, T. C. (2000). *Principles of Condensed Matter Physics*. Cambridge University Press.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**ماده چگال پیشرفته**				
نام درس (انگلیسی):	**Advanced Condensed Matter**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			■ نظری
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	■ اصلی و تخصصی	☐ نظری - عملی
	۳	۰	۳	☐ اختیاری	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:	۴۸	۰	۴۸	☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله ☐ جبرانی	☐ کارگاهی / عملیات میدانی ☐ کارورزی / کارآموزی

آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف درس: آشنایی با مباحث ترابرد در جامدات بلورین

مباحث / سرفصل‌ها:

معرفی ترابرد کوانتومی، سامانه‌های مزوسکوپیک، فواصل مشخصه در ترابرد اهمی و کوانتومی، ترابرد بالستیک و پخشی، ترابرد همدوس، مغناطومقاومت میدان‌های قوی و ضعیف، مدهای عرضی، فرمول بندی لانداور- بوتیکر، تابع تراگسیل، ماتریس S و تابع گرین، مدل تنگابست در ترابرد، جایگزیدگی و جایگزیدگی ضعیف، فرمول‌بندی تابع گرین غیر تعادلی، مقدمات فازهای توپولوژیک در مواد

روش یاددهی:

سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ● مطالعه موردی ●آزمایش و ساخت ○ و ...

روش ارزشیابی:

امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ● و ...

منابع درسی:

Vanderbilt, D. (2018). *Berry Phases in Electronic Structure Theory: Electric Polarization, Orbital Magnetization, and Topological Insulators*. Cambridge University Press.

Martin, R. M. (2020). *Electronic Structure: Basic Theory and Practical Methods*, 2nd ed. . Cambridge University Press.

Kaxiras, E. and Joannopoulos, J. D. (2019). *Quantum Theory of Materials*. Cambridge University Press.

Datta, S. (1995). *Electronic Transport in Mesoscopic Systems*. Cambridge University Press.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**سمینار (دکتری فیزیک)**				
نام درس (انگلیسی):	**Seminar**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ **پایه**			■ **نظری**
تعداد واحد:	**نظری** / **عملی** / **جمع**	■ **اصلی و تخصصی**			☐ **نظری - عملی**
		☐ **اختیاری**			☐ **عملی / آزمایشگاهی**
تعداد ساعت:		☐ **پروژه / پایان‌نامه / رساله**			☐ **کارگاهی / عملیات میدانی**
		☐ **جبرانی**			☐ **کارورزی / کارآموزی**
آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): ☐ **سفر علمی** ☐ **آزمایشگاه** ☐ **سمینار** ■ **کارگاه** ☐ **موارد دیگر:**					
هدف درس: ارائه در راستای رساله دکتری					
مباحث / سرفصل‌ها: بستگی به پروژه دکتری و نظر استاد راهنما دارد.					
روش یاددهی: سخنرانی ● مباحثه ○ بازدید ○ پژوهش ● تمرین و تکرار ○ مطالعه موردی ○ آزمایش و ساخت ○ و ...					
روش ارزشیابی: امتحان کتبی ○ پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ○ ارائه کلاسی ● و ...					
منابع درسی: بستگی به پروژه دکتری و نظر استاد راهنما دارد.					
ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:					

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**کارگاه ایمنی و بهداشت عمومی**				
نام درس (انگلیسی):					
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ **پایه**		**نظری** ■	
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	■ **اصلی و تخصصی**	**نظری - عملی** ☐
	۰	۰	۰	☐ **اختیاری**	**عملی / آزمایشگاهی** ☐
تعداد ساعت:	۰	۰	۰	☐ **پروژه / پایان‌نامه / رساله**	**کارگاهی / عملیات میدانی** ☐
				☐ **جبرانی**	**کارورزی / کارآموزی** ☐
آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ **آزمایشگاه** ☐ **سمینار** ☐ **کارگاه** ☐ **موارد دیگر:**					
هدف درس: آشنایی و ارتقای سطح ایمنی در آزمایشگاه‌های دانشکده					
مباحث / سرفصل‌ها: با نظر استاد کارگاه					
روش یاددهی: سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ○ مطالعه موردی ○ آزمایش و ساخت ○ و ...					
روش ارزشیابی: امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ○ ارائه کلاسی ○ و ...					
منابع درسی: (منبع نویسی به روش APA) با نظر استاد کارگاه					
ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:					

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**مکانیک آماری پیشرفته ۲**				
نام درس (انگلیسی):	**Advanced Statistical Mechanics II**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			■ نظری
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	☐ اصلی و تخصصی	☐ نظری - عملی
	۳	۰	۳	■ اختیاری	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:	۴۸	۰	۴۸	☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله ☐ جبرانی	☐ کارگاهی / عملیات میدانی ☐ کارورزی / کارآموزی

آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف درس: بررسی مباحث مکانیک آماری پیشرفته با رویکرد کاربردی

مباحث / سرفصل‌ها:

ترکیبات و احتمال، توابع چگالی احتمال و انباشتگی‌ها، قضیه‌ی حد مرکزی، ولگشت، فرآیندهای مارکف، معادله‌ی مادر، حرکت براؤنی، معادلات دیفرانسیل تصادفی، معادله‌ی فوکر- پلانک، برخال‌ها و بس‌برخال‌ها، شبکه‌های پیچیده

روش یاددهی:

سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ●مطالعه موردی ● آزمایش و ساخت ○ و ...

روش ارزشیابی:

امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ●ارائه کلاسی ●و ...

منابع درسی:

Kardar, M. (2007). *Statistical Physics of Particles*. Cambridge.

Pathria, P. K. (1996). *Statistical Mechanics*, 2nd ed. . Butterworth – Heinemann.

Kardar, M. (2007). *Statistical Physics of Fields*. Cambridge.

Reichl, E. (2016). *A Modern Course in Statistical Physics*, 4th ed. . Wiley.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**موضوعات ویژه در ماده چگال**				
نام درس (انگلیسی):	**Special Topics in Condensed Matter**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			■ نظری
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	☐ اصلی و تخصصی	☐ نظری - عملی
	۳	۰	۳	■ اختیاری	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:	۴۸	۰	۴۸	☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله ☐ جبرانی	☐ کارگاهی / عملیات میدانی ☐ کارورزی / کارآموزی
آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر:					
هدف درس: آشنایی با مباحث ویژه در فیزیک ماده چگال					
مباحث / سرفصل‌ها: طبق نظر استاد درس					
روش یاددهی: سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ● تمرین و تکرار ● مطالعه موردی ● آزمایش و ساخت ○ و ...					
روش ارزشیابی: امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ●ارائه کلاسی ●و ...					
منابع درسی: طبق نظر استاد درس					
ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:					

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**ساختار الکترونی پیشرفته مواد**				
نام درس (انگلیسی):	**Advanced Electronic Structure of Materials**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			■ نظری
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	☐ اصلی و تخصصی	☐ نظری - عملی
	۳	۰	۳	■ اختیاری	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:	۴۸	۰	۴۸	☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله ☐ جبرانی	☐ کارگاهی / عملیات میدانی ☐ کارورزی / کارآموزی

آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ■ موارد دیگر: .....

هدف درس: معرفی نظریه تابعی چگالی و به کار بردن آن برای مطالعه مواد

مباحث / سرفصل‌ها:

تقریب برن- اپنهایمر، تقریب هارتری- فک، روش‌های ورای هارتری- فک، نظریه تابعی چگالی، مدل توماس فرمی، رهیافت کن- شم، حفره تبادلی- همبستگی، تقریب چگالی موضعی و گرادیان تعمیم یافته، رهیافت شبه پتانسیل، توابع پایه، نظریه تابعی چگالی وابسته به زمان

روش یاددهی:

سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ● مطالعه موردی ● آزمایش و ساخت ○ و ...

روش ارزشیابی:

امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ● و ...

منابع درسی:

Giustino, F. (2014). *Materials Modeling Using Density Functional Theory*. Oxford University Press.

Martin, R. M. (2020). *Electronic Structure: Basic Theory and Practical Methods*, 2nd ed. . Cambridge University Press.

Parr, R. G. and Yang, W. (1989). *Density Functional Theory of Atoms and Molecules*. Oxford University Press.

Engel, E. and Dreizler, R. M. (2011). *Density Functional Theory*. Springer.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۲**				
نام درس (انگلیسی):	**Physics of Many Body Systems II**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			■ نظری
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	☐ اصلی و تخصصی	☐ نظری - عملی
	۳	۰	۳	■ اختیاری	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:	۴۸	۰	۴۸	☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله ☐ جبرانی	☐ کارگاهی / عملیات میدانی ☐ کارورزی / کارآموزی

آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف درس: آشنایی با روش‌های مرسوم بس‌ذره‌ای با رویکرد کاربردی

مباحث / سرفصل‌ها:

قواعد جمع، پاسخ خطی و حالت‌های دسته جمعی، مایع هلیوم ۳، توابع موج سیستم‌های بس‌ذره‌ای بوزونی و فرمیونی، نظریه لاندائو درباره مایعات فرمی، تئوری BCS ابررسانایی، ماده هسته‌ای، هسته‌های معین، مقایسه روش‌های بس‌ذره‌ای، تابع گرین برای فونون‌ها، نظریه BCS، ابررسانایی دمای بالا، ابرشاره‌ها، گاز الکترونی یک بعدی و مایع لاتینجر، الکترون‌های با همبستگی قوی، مدل هابارد، روش‌های خوشه‌ای کوانتومی، نظریه میدان میانگین دینامیکی، فازهای توپولوژیکی، مقولات ویژه در مغناطیس

روش یاددهی:

سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ● مطالعه موردی ●آزمایش و ساخت ○ و ...

روش ارزشیابی:

امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ● و ...

منابع درسی:

Fetter, A. L. and Walecka J. D. (1971). *Quantum Theory of Many Particle Systems*. McGraw-Hill Co.

Coleman, P. (2015). *Introduction to Many-Body Physics*. Cambridge University Press.

Bruus, H. and Flesenberg, K. (2016). *Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter*. Oxford University Press.

Mahan, G. D. (2000). *Many Particle Physics*. Springer.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**فیزیک سامانه‌های پیچیده**				
نام درس (انگلیسی):	**Physics of Complex Systems**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			■ نظری
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	☐ اصلی و تخصصی	☐ نظری - عملی
	۳	۰	۳	■ اختیاری	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:	۴۸	۰	۴۸	☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله ☐ جبرانی	☐ کارگاهی / عملیات میدانی ☐ کارورزی / کارآموزی

آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف درس: درک پدیده‌های برآینده در سامانه‌های پیچیده

مباحث / سرفصل‌ها:

مقدمه‌ای بر سامانه‌های پیچیده، مفهوم و تعریف پیچیدگی، مفهوم برآیش و ویژگی‌های برآینده، گراف‌ها و شبکه‌ها، شبکه‌های تصادفی، شبکه‌های بی‌مقیاس، شبکه‌های جهان‌کوچک، سنجه‌ها و ویژگی‌های شبکه، ساختار همایه‌ها، سامانه‌های غیرخطی و آشوب، ماشین‌های سلولی و خودسامان‌دهی بحرانی، مدل تپه شنی، نظریه‌ی تکامل و مدل‌های تکاملی، رفتارهای جمعی و هم‌گام‌سازی، رفتار بحرانی در سامانه‌های عصبی، تحلیل و پردازش سری‌های زمانی غیرخطی، برخال‌ها و بس‌برخال‌ها، رفتارهای توانی و مدل‌های تولیدکننده آن‌ها

روش یاددهی:

سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ● مطالعه موردی ● آزمایش و ساخت ○ و ...

روش ارزشیابی:

امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ● و ...

منابع درسی:

Thurner, S., Hanel, R, and P. Klimek. (2018). *Introduction to the theory of complex systems*. Oxford University Press

Gros, C. (2015). *Complex and Adaptive Dynamical Systems: A Primer*. Springer.

Nicolis, G., and Nicolis, C. (2012). *Foundations of Complex Systems: Emergence, Information and prediction*. World Scientific.

Boccara, N. (2010). *Modeling Complex Systems*. Springer Science & Business Media.

Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Addison-Wesley.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

<table>
<tr><td>مقطع و نام رشته‌گرایش:</td><td colspan="5">دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال</td></tr>
<tr><td>نام درس (فارسی):</td><td colspan="5">ابررسانایی پیشرفته</td></tr>
<tr><td>نام درس (انگلیسی):</td><td colspan="5">Advanced Superconductivity</td></tr>
<tr><td>دروس پیش‌نیاز:</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">نوع واحد</td></tr>
<tr><td>دروس هم‌نیاز:</td><td colspan="3"></td><td>☐ پایه</td><td>■ نظری</td></tr>
<tr><td rowspan="3">تعداد واحد:</td><td>نظری</td><td>عملی</td><td>جمع</td><td>☐ اصلی و تخصصی</td><td>☐ نظری - عملی</td></tr>
<tr><td>۳</td><td>۰</td><td>۳</td><td>■ اختیاری</td><td>☐ عملی / آزمایشگاهی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">تعداد ساعت:</td><td rowspan="2">۴۸</td><td rowspan="2">۰</td><td rowspan="2">۴۸</td><td>☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله
☐ جبرانی</td><td>☐ کارگاهی / عملیات میدانی
☐ کارورزی / کارآموزی</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....</td></tr>
<tr><td colspan="6">هدف درس: بررسی فیزیک حاکم بر مواد ابررسانا</td></tr>
<tr><td colspan="6">مباحث / سرفصل‌ها:
تاریخچه، ابررسانایی، الکترودینامیک ابررسانایی، نظریه لاندن، نظریه گینزبرگ لاندائو، جریان‌های بحرانی، ابررساناهای نوع I و II، نظریه میکروسکوپی ابررسانایی، اثرات جوزفسون، اسکوئیدها، ابررساناهای دمای بالا، کابردهای ابررسانایی</td></tr>
<tr><td colspan="6">روش یاددهی:
سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ● مطالعه موردی ● آزمایش و ساخت ○ و ...</td></tr>
<tr><td colspan="6">روش ارزشیابی:
امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ●و ...</td></tr>
<tr><td colspan="6">منابع درسی:
Annet, J. F. (2004). Superconductivity, superfluids, and Condensates. Oxford University Press.
Rose-Innes, A. C., and Rhoderick, E. H. (1978). Introduction to Superconductivity. Pergamon Press.
Anderson, P. W. (1997). High-T Superconductor. Princeton University Press.</td></tr>
<tr><td colspan="6">ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:</td></tr>
</table>

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**فیزیک محاسباتی**				
نام درس (انگلیسی):	**Computational Physics**				
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ پایه			☐ نظری
تعداد واحد:		☐ اصلی و تخصصی	**جمع**	**عملی**	**نظری**	■ نظری - عملی
		■ اختیاری	۳	۰	۳	☐ عملی / آزمایشگاهی
تعداد ساعت:		☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله	۴۸	۰	۴۸	☐ کارگاهی / عملیات میدانی
		☐ جبرانی				☐ کارورزی / کارآموزی
آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:					

هدف درس: شبیه‌سازی سیستم‌های فیزیکی

مباحث / سرفصل‌ها:

آموزش یک زبان برنامه‌نویسی (در حال حاضر پایتون)، آموزش کتابخانه‌های پایتون (numpy, scipy, matplotlib)، آموزش سیستم عامل لینوکس، حل معادلات دیفرانسیل: روش اویلر (مثال: حرکت پرتابه)، روش رانگ کوتا (مثال: حرکت پرتابه با مقاومت هوا)، حل معادلات لاپلاس و پواسون)، شبیه‌سازی سیستم‌های تصادفی: شبیه‌سازی ولگشت تصادفی، شبیه‌سازی پدیده تراوش، شبیه‌سازی پولیمرها، شبیه‌سازی مونت کارلو: محاسبه عدد پی، شبیه‌سازی سیستم آیزینگ دو بعدی، شبیه‌سازی سیستم‌های کوانتومی: شبیه‌سازی معادله شرودینگر وابسته به زمان، شبیه‌سازی معادله شرودینگر مستقل از زمان با روش مونت کارلوی کوانتومی، شبیه‌سازی سیستم‌های آشوب‌ناک و یادگیری ماشین

روش یاددهی:

سخنرانی ● مباحثه ●بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ●مطالعه موردی ●آزمایش و ساخت ○ و ...

روش ارزشیابی:

امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ● و ...

منابع درسی:

Landau, D. P. and Binder, K. (2009). *A Guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Physics*. Cambridge University Press.

Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition And Machine Learning*. Springer.

Geron, A. (2022). Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras & TensorFlow. 3rd ed. . Springer

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

<table>
<tr><td>مقطع و نام رشته‌گرایش:</td><td colspan="5">دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال</td></tr>
<tr><td>نام درس (فارسی):</td><td colspan="5">نظریه گروه‌ها</td></tr>
<tr><td>نام درس (انگلیسی):</td><td colspan="5">Group Theory</td></tr>
<tr><td>دروس پیش‌نیاز:</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">نوع واحد</td></tr>
<tr><td>دروس هم‌نیاز:</td><td colspan="3"></td><td>☐ پایه</td><td>■ نظری</td></tr>
<tr><td rowspan="2">تعداد واحد:</td><td>نظری</td><td>عملی</td><td>جمع</td><td>☐ اصلی و تخصصی</td><td>☐ نظری - عملی</td></tr>
<tr><td>۳</td><td>۰</td><td>۳</td><td>■ اختیاری</td><td>☐ عملی / آزمایشگاهی</td></tr>
<tr><td>تعداد ساعت:</td><td>۴۸</td><td>۰</td><td>۴۸</td><td>☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله
☐ جبرانی</td><td>☐ کارگاهی / عملیات میدانی
☐ کارورزی / کارآموزی</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....</td></tr>
<tr><td colspan="6">هدف درس: مطالعه تقارن‌های طبیعت نظیر دوران، انتقال، تبدیل لورنتز، تقارن‌های پیمانه‌ای و .... شناخت این ساختارها و نمایش‌های آن</td></tr>
<tr><td colspan="6">مباحث / سرفصل‌ها: تعریف گروه، مثال‌ها و گروه‌های مهم، کلاس‌های هم‌یوغ، زیرگروه نرمال، قضیه خودریختی، نمایش‌های گروه‌ها، مشخصه، تقلیل‌پذیری، تعامد نمایش‌ها و مشخصه‌ها، جدول مشخصه، گروه‌های $SU(2) - SO(3) - SO(2)$، تعریف جبر لی و ضرایب ساختار، نمایش الحاقی، وزنه و ریشه، گروه $SU(3)$ ، تابلوهای یانگ</td></tr>
<tr><td colspan="6">روش یاددهی:
سخنرانی ● مباحثه ●بازدید ○ پژوهش ○ تمرین و تکرار ●مطالعه موردی ●آزمایش و ساخت ○ و ...</td></tr>
<tr><td colspan="6">روش ارزشیابی:
امتحان کتبی ● پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ● ارائه کلاسی ○ و ...</td></tr>
<tr><td colspan="6">منابع درسی:
Jones, H. F. (1998). Groups, Representations and Physics. Taylor and Francis Group.
Georgi, h. (1999). Lie Algebras in Particle Physics. West View.
Wu-Ki Tong. (1985). Group Theory in Physics. World Scientific.</td></tr>
<tr><td colspan="6">ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:</td></tr>
</table>

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری - فیزیک، گرایش فیزیک ماده چگال**				
نام درس (فارسی):	**کارگاه ایمنی و بهداشت تخصصی**				
نام درس (انگلیسی):					
دروس پیش‌نیاز:		**نوع واحد**			
دروس هم‌نیاز:		☐ **پایه**		☐ **نظری**	
تعداد واحد:	**نظری**	**عملی**	**جمع**	☐ **اصلی و تخصصی**	■ **نظری - عملی**
	۰	۰	۰	■ **اختیاری**	☐ **عملی / آزمایشگاهی**
تعداد ساعت:				☐ **پروژه / پایان‌نامه / رساله**	☐ **کارگاهی / عملیات میدانی**
				☐ **جبرانی**	☐ **کارورزی / کارآموزی**
آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): ☐ **سفر علمی** ☐ **آزمایشگاه** ☐ **سمینار** ☐ **کارگاه** ■ **موارد دیگر:**					
هدف درس: آشنایی و ارتقای سطح ایمنی در آزمایشگاه‌های تخصصی					
مباحث / سرفصل‌ها: با نظر استاد کارگاه					
روش یاددهی: سخنرانی ● مباحثه ● بازدید ● پژوهش ○ تمرین و تکرار ○ مطالعه موردی ○ آزمایش و ساخت ○ و ...					
روش ارزشیابی: امتحان کتبی ○ پروژه عملی ○ گزارش ○ آزمونک کلاسی ○ ارائه کلاسی ○ و ...					
منابع درسی: (منبع نویسی به روش APA) با نظر استاد کارگاه					
ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:					