برنامه درسی رشته

فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها

ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS AND FIELD THEORY

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 ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها

ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS AND FIELD THEORY

مقطع دکتری

مشتمل بر گرایش‌های:

۱. **فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها** | Elementary Particle Physics And Field Theory

تهیه‌کنندگان:

دکتر بهروز میرزا	**عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان**
دکتر فرهنگ لران	**عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان**
دکتر عبیده جعفری	**عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان**

نام درس	نوع درس	تعداد واحد درسی		
		جمع	نظری	عملی
نظریه میدان‌های کوانتومی ۱	تخصصی	۳	۳	۰
نظریه میدان‌های کوانتومی ۲	تخصصی	۳	۳	۰
کیهان‌شناسی	تخصصی	۳	۳	۰
سمینار دکتری	تخصصی	۱	۱	۰
کارگاه ایمنی و بهداشت عمومی	تخصصی	۰	۰	۰
ریاضی فیزیک پیشرفته	اختیاری	۳	۳	۰
نسبیت عام	اختیاری	۳	۳	۰
موضوعات ویژه در ذرات بنیادی ۱	اختیاری	۳	۳	۰
موضوعات ویژه در ذرات بنیادی ۲	اختیاری	۳	۳	۰
ذرات بنیادی پیشرفته ۱	اختیاری	۳	۳	۰
ذرات بنیادی پیشرفته ۲	اختیاری	۳	۳	۰
فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۱	اختیاری	۳	۳	۰
فیزیک پدیده‌های بحرانی	اختیاری	۳	۳	۰
فیزیک محاسباتی	اختیاری	۳	۳	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 ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها

Elementary Particle Physics and Field Theory

- مقطع: دکتری
- معرفی حوزه علمی و شاخه‌های آن (آشنایی اجمالی با حوزه علمی و شاخه‌های آن)

فیزیک ذرات بنیادی شامل گرایش‌های تجربی و نظری است. هدف فیزیکدانان در این گرایش شناخت نیروها و برهم‌کنش‌های بنیادی در طبیعت است. شناخت بهتر نیروهای حاکم در طبیعت به پیشرفت و بوجود آمدن تکنولوژی های جدید منجر می‌شود. شناخت نیروهای طبیعت یکی از الزامات برای به کنترل در آوردن پدیده‌های طبیعی توسط انسان است. در طول تاریخ موضوع شناخت طبیعت وبوجود آمدن اختراعات جدید کاملا به یکدیگر وابسته بوده‌اند. گرایش گرانش و کیهان‌شناسی مسایلی نظیر رفتار زمین و سیارات در منظومه شمسی و شناخت ساختار آنها مورد تحقیق است. ساختار و دینامیک کهکشان راه شیری و مطالعه در مورد عمر ستارگان و چگونگی به‌وجود آمدن و سرنوشت ستارگان از موضوعات مورد توجه فیزیکدانان است. تحقیق در مورد رفتار دیگر کهکشان‌ها در عالم و بطور کلی پیدایش و تحول آنها از دیگر مسایل مرتبط با این گرایش است.

فیزیک ذرات بنیادی آزمایشگاهی، از زیرشاخه‌های فیزیک انرژی‌های بالاست که به بررسی ماده و نیروهای موثر بر آن در کوچک‌ترین ابعاد ممکن می‌پردازد .به لحاظ نظری، مدل استاندارد ذرات بنیادی با معرفی شش ذره کوارکی، سه ذره لپتونی، و سه نوترینو به همراه پاددذره‌های آنها، بخش مادی عالم را توصیف می‌کند. این ذرات مادی تحت تاثیر نیروهای الکترومغناطیسی با ذره حامل فوتون، نیروهای ضعیف با ذرات حامل $W^{\pm}$ و Z، و نیروهای قوی با ذرات حامل گلوئون‌ها هستند. همچنین، غیر از فوتون‌ها، گلوئون‌ها، و نوترینوها، سایر ذرات مادی در اثر برهمکنش با میدان ذره‌ای به نام هیگز دارای جرم می‌شوند.

مدل استاندارد ذرات بنیادی، موفق‌ترین تئوری موجود است که نه تنها از بوته اندازه‌گیری‌های دقیق تجربی سربلند بیرون آمده، بلکه تمامی ذراتی که پیش‌بینی کرده در آزمایشگاه‌ها کشف شده‌اند. آخرین حلقه مفقوده این نظریه، ذره هیگز بود که در سال ۲۰۱۲ در آزمایش‌های اتلس و سی.ام.اس در شتابگر ال.اچ.سی در سرن کشف شد. به افتخار این کشف، جایزه نوبل سال ۲۰۱۳ به نظریه‌پردازان فیزیک ذرات که وجود ذره هیگز را پیش‌بینی کرده بودند تعلق گرفت.

علیرغم موفقیت‌های چشمگیر مدل استاندارد، پدیده‌های متنوعی در جهان اطراف مشاهده می‌شوند که این مدل از توضیح آنها ناتوان است. در این میان می‌توان به شواهد آزمایشگاهی جرم‌دار بودن نوترینوها، وجود ماده (و انرژی) تاریک، و همچنین اختلاف معنادار اندازه‌گیری دقیق دوقطبی مغناطیسی ذره میوئون (مشابه الکترون با جرم بیشتر) با پیش‌بینی این مدل اشاره کرد. همچنین مدل استاندارد برای نیروی گرانش توضیحی ندارد. در همین راستا، نظریه‌های «فرااستاندارد» فراوانی شکل گرفته که به توصیف این پدیده‌ها می‌پردازد.

هدف اصلی حوزه علمی مورد بحث، آزمون تجربی این نظریه‌های موجود از طریق اندازه‌گیری‌های دقیق و یا جستجو برای فیزیک جدید است. به دلیل نیاز به فناوری‌های پیشرفته و تجهیزات آزمایشگاهی (آشکارسازها و شتابگرها) در مقیاس وسیع، این پژوهش‌ها نوعا نیازمند همکاری گروه‌های علمی در سطح بین‌المللی است. نمونه ویژه این نوع پژوهش که دربردارنده حرکت در مرز دانش و تکنولوژی است، برخورد دهنده بزرگ هادرونی (ال.اچ.سی) و آزمایش‌های آن در سرن است. تنها در آزمایش سی.ام.اس، بالغ بر پنج‌هزار نفر از بیش از صد موسسه تحقیقاتی در سراسر دنیا، در حال کار هستند. این تعداد در برگیرنده مهندسین و فیزیک‌پیشگان ذرات بنیادی آزمایشگاهی در سطح دانشجوی دکتری، محقق پسادکتری، و پژوهشگران با شغل ثابت آکادمیک است. پژوهش‌های حوزه فیزیک ذرات بنیادی آزمایشگاهی، به‌ویژه در مقیاس وسیع، پژوهش‌هایی میان رشته‌ای محسوب می‌شوند و محل تلاقی فیزیک بنیادی با مهندسی پیشرفته الکترونیک، مهندسی کامپیوتر، فناوری اطلاعات و تحلیل داده‌ها، داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی، مهندسی مواد، و همچنین فیزیک شتابگرهاست.

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

فیزیک علم شناخت طبیعت است. بنیادی‌ترین گرایش‌ها عبارتند از فیزیک ذرات بنیادی و گرانش و کیهان‌شناسی. آیات متعددی در قرآن کریم انسان را دعوت به تفکر و تحقیق در آسمان‌ها و زمین نموده است و هدف این گرایش دقیقا شناخت نیروهای حاکم بر آسمان‌ها و زمین است. شناخت برهم‌کنش‌های بین اتم‌ها وهسته ها از اهداف فیزیکدانان ذرات بنیادی است. چگونگی بوجود آمدن هسته‌ها و نوع نیروهای بین ذرات تشکیل دهنده آنها از مسایل مورد تحقیق در این گرایش است. مطالعه تحول منظومه شمسی و کهکشان راه شیری و دیگر کهکشان‌ها در عالم یکی از موضوعات مرتبط با این گرایش است. سوالاتی نظیر زمان به‌وجود آمدن کهکشان‌ها و ستارگان و سیارات در این گرایش بررسی می‌شود. اینکه میزان فراوانی عناصر مختلف در آسمان‌ها و زمین چقدر است و چرا طبیعت به این صورت دیده می‌شود از دیگر مطالب مرتبط با گرایش کیهان‌شناسی است.

با توجه به بند الف، دانشجویان این رشته لازم است با موضوعات ذیل آشنایی داشته باشند:

- فیزیک ذرات بنیادی به‌صورت نظری و به‌ویژه به‌صورت پدیده‌شناسی، با در برداشتن مکانیزم هیگز و آشنایی با سوالات مهم و پاسخ داده نشده این حوزه
- فیزیک آماری با رویکرد تحلیل داده جهت کشف یا رد فرضیات (discovery or exclusion). مفاهیمی نظیر برازش بیشینه مشابهت (maximum likelihood fit)، با درنظر گرفتن همه عدم قطعیت‌ها، عدم قطعیت‌های مقید، و ... جزء محورهای اصلی این بخش از آموزش است.
- برنامه‌نویسی کامپیوتری به زبان‌های پیشرفته و یادگیری ماشین.
- مکانیزم شتابگرها و برخورددهنده‌های انرژی بالا در تولید داده، مکانیزم‌های آشکارسازی و غربال (trigger) در جمع‌آوری داده (data acquisition).
- برنامه‌های شبیه‌سازی برخورد ذرات و ساختار و واکنش آشکارساز

برای اغلب این موارد، قالب‌های موردنیاز در برنامه درسی فعلی موجود است و صرفا محتوا نیاز به بازنگری دارد تا پاسخگوی نیازهای این رشته باشد. توسعه محتوا ممکن است به افزودن تعداد واحدهای یک درس و یا ارائه آن در دو بخش و در دو ترم متوالی شود. برای نمونه، مباحث فیزیک ذرات در دوره کارشناسی ارشد، اغلب دلیل کمبود وقت، مکانیزم هیگز، اشکالات موجود، و نگاه پدیده‌شناسانه را دربر نمی‌گیرد. همچنین فیزیک آماری و مکانیک آماری مباحثی که پیشتر گفته شد را پوشش نمی‌دهند و نیاز به توسعه دارند.

پ. اهداف برنامه درسی:

۱. بوجود آوردن توانایی انجام پژوهش با کمک روش‌های نظری و محاسباتی

۲. آماده شدن برای شروع به کارهای تحقیقی انفرادی و جمعی

۳. آموزش مطالب پایه‌ای و اساسی در فیزیک بنیادی به دانشجویان

۴. آماده ساختن ذهنی فعال و خلاق و پرسش‌گر در مسایل علمی

۵. آشنایی با آخرین دستاوردهای علمی در فیزیک ذرات بنیادی، گرانش و کیهان‌شناسی

۶. آشنایی با چگونگی طراحی آزمایش برای یک سوال نظری یا فهم یک پدیده ناشناس

۷ . کسب توانمندی در ابزارهای پژوهش آزمایشگاهی در فیزیک ذرات امروز

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)

هدف فیزیکدانان درک و پیش‌بینی پدیده‌های جهان فیزیکی بر اساس درک تجربی مفهومی و ریاضی از قوانین جهان است.

فیزیک نظری یکی از کم‌هزینه‌ترین حوزه‌های پژوهشی با بیشترین تاثیر است. بسیاری از فناوری‌ها بر اساس فیزیک نظری ساخته شده‌اند. سلول‌های خورشیدی، رایانه‌ها، فناوری‌های بی‌سیم و تصویربرداری تشخیصی همگی ریشه در پیشرفت‌های فیزیکدانان نظری دارند چرا که فناوری بر قوانین طبیعت متکی است، پس درک بهتر آن قوانین به ما امکان می‌دهد فناوری‌های بهتری ایجاد کنیم.

به عنوان مثال، الکترومغناطیس توسط نظریه پرداز جیمز کلرک ماکسول کشف شد که عمدتاً بر اساس کار تجربی مایکل فارادی است. نظریه‌ی ماکسول، به ساخت موتورهای الکتریکی، ژنراتورها و شبکه‌ی توزیع ایمن برق منجر شد. پیام‌های بی‌سیم زمانی به وجود آمد که گوگلیلمو مارکونی از الکترومغناطیس ماکسول استفاده کرد و در نهایت منجر به ارتباطات Wi-Fi و ماهواره‌ای شد.

آلبرت انیشتین با به دست آوردن درک عمیق‌تری از گرانش، دانش لازم برای GPS را فراهم کرد. با تأمل در فضا و زمان، ما دریافتیم که نور ستاره‌ها محصول فرآیند همجوشی هسته‌ای است. امروز، ما راه‌هایی را بررسی می‌کنیم که همجوشی ممکن است مشکلات انرژی جهان را حل کند و تأثیر انسان بر محیط‌زیست را کاهش دهد.

برای کشف اسرار اتم، فیزیکدانان نظری نظریه کوانتومی را توسعه دادند که پایه فناوری‌هایی مانند ترانزیستور ، لیزر، MRI است.

هدف فیزیک انرژی بالا (همچنین به عنوان فیزیک ذرات شناخته می‌شود) شناخت بنیادی‌ترین اجزای سازنده ماده و درک تعاملات بین این ذرات است. ساختار نظری زیربنایی در فیزیک ذرات مدل استاندارد نامیده می‌شود و شامل ۶ کوارک، ۶ لپتون، ۴ بوزون پیمانه ای و یک بوزون اسکالر (بوزون هیگز) است که از طریق سه نیروی هسته‌ای قوی، هسته‌ای ضعیف و الکترومغناطیس با هم برهم‌کنش می‌کنند.

ما می‌کوشیم که آن‌چه که در انرژی‌های بالاتر (نظیر فواصل کوچک‌تر) اتفاق می افتد، را درک کنیم. در این انرژی‌ها شاید ذرات جدیدی پدید آیند و یا شکل برهم‌کنش‌ها تغییر کند. این پژوهش‌ها درک بهتری از نحوه کار کیهان ارائه می‌کند و به طور بالقوه به دسته‌ای از پرسش‌های بنیادی پاسخ می‌دهند. پرسش‌هایی مانند اینکه چرا جرم هیگز بسیار سبک است، ماده تاریک از چه چیزی ساخته شده است، آیا در انرژی‌های بالا، همه‌ی نیروها در یک نیروی منفرد متحد می‌شوند، چه اتفاقی برای پادماده افتاده است و یا کیهان اولیه چگونه بوده است.

شواهد غیرمستقیم فراوانی از مطالعات مختلف نجومی وجود دارد که نشان می‌دهد سیاهچاله‌ها وجود دارند، از جمله بررسی اجرام مجاور که تحت کشش گرانشی یک سیاهچاله قرار دارند و یا ثبت امواج گرانشی حاصل از برخورد و ادغام سیاه‌چاله‌ها با یکدیگر یا با ستاره‌های نوترونی. این شرایط به خوبی توسط نظریه نسبیت عام توضیح داده شده است.

سیاهچاله‌ها آزمایشگاه‌هایی برای آزمایش نظریه‌های بنیادی مثل نسبیت عام و فیزیک کوانتومی هستند که نحوه عملکرد کیهان را در بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مقیاس‌ها توضیح می‌دهند. در حالی که هر یک از این نظریه‌ها در حوزه‌ی مربوطه‌ی خود به خوبی کار می‌کنند، فیزیکدانان در حال حاضر نمی‌دانند که چگونه یک نظریه فیزیکی واحد ایجاد کنند که جهان‌شمول باشد و به ویژه بتواند فیزیک سیاهچاله‌ها را با جزئیات توضیح دهد. نبودن این گرایش باعث عقب افتادن ایران از پیشرفت‌های سریع نظری و کاربردی در دیگر کشورهای جهان می‌شود.

ث. تعداد و نوع واحدهای درسی:

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

ج. توانایی‌ها و شایستگی‌های دانش‌آموختگان:

۱. توان انجام محاسبات نظری و کامپیوتری که امکان استفاده و کاربرد در دیگر مسایل مربوط به رشته‌ها مهندسی و علوم پایه وعلوم انسانی را نیز به فارغ‌التحصیلان می‌دهد

۲. به‌وجود آوردن توانایی در انجام پروژه‌های تحقیقاتی گروهی

۳. داشتن تجربه ودانشی که می‌تواند برای همکاری با دیگر متخصصین از رشته‌های مهندسی و علوم پایه مفید باشد

۴. آماده شدن برای تحقیقات علمی مستقل و با اهمیت در رشته فیزیک

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	۴	۵	۶	۷
۱	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۲	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۳	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۴	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(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	۴				
نظریه میدان‌های کوانتومی ۱	✓	✓	✓	✓				
نظریه میدان‌های کوانتومی ۲	✓	✓	✓	✓				
کیهان‌شناسی	✓	✓	✓	✓				
سمینار (دکتری فیزیک)	✓	✓	✓	✓				
کارگاه ایمنی و بهداشت عمومی	✓	✓	✓	✓				
ریاضی فیزیک پیشرفته	✓	✓	✓	✓				
نسبیت عام	✓	✓	✓	✓				
موضوعات ویژه در ذرات بنیادی ۱	✓	✓	✓	✓				
موضوعات ویژه در ذرات بنیادی ۲	✓	✓	✓	✓				
ذرات بنیادی پیشرفته ۱	✓	✓	✓	✓				
ذرات بنیادی پیشرفته ۲	✓	✓	✓	✓				
فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۱	✓	✓	✓	✓				
فیزیک پدیده‌های بحرانی	✓	✓	✓	✓				
فیزیک محاسباتی	✓	✓	✓	✓				
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	نظریه میدان‌های کوانتومی ۱	۳	۳	۰	۰	
۲	نظریه میدان‌های کوانتومی ۲	۳	۳	۰	۰	
۳	کیهان‌شناسی	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	ریاضی فیزیک پیشرفته	۳	۳	۰	۰	
۲	نسبیت عام	۳	۳	۰	۰	
۳	موضوعات ویژه در ذرات بنیادی ۱	۳	۳	۰	۰	
۴	موضوعات ویژه در ذرات بنیادی ۲	۳	۳	۰	۰	
۵	ذرات بنیادی پیشرفته ۱	۳	۳	۰	۰	
۶	ذرات بنیادی پیشرفته ۲	۳	۳	۰	۰	
۷	فیزیک دستگاه‌های بس‌ذره‌ای ۱	۳	۳	۰	۰	
۸	فیزیک پدیده‌های بحرانی	۳	۳	۰	۰	
۹	فیزیک محاسباتی	۳	۳	۰	۰	
۱۰	درس اختیاری از گرایش دیگر	۳	۳	۰	۰	

فصل سوم

ویژگی‌های دروس

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**					
نام درس (فارسی):	**نظریه میدان‌های کوانتومی ۱**					
نام درس (انگلیسی):	**Quantum Field Theory 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**	**کارگاهی / عملیات میدانی** ☐	
				☐ **جبرانی**	**کارورزی / کارآموزی** ☐	
آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ **آزمایشگاه** ☐ **سمینار** ☐ **کارگاه** ☐ **موارد دیگر:**						
هدف درس: آموزش اصول نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی						
مباحث / سرفصل‌ها: میدان ناوردائی لورنتس و کوانتش دوم، نظریه میدان کلاسیک، سطح مقطع برخورد و نرخ واپاشی، ماتریس S و قواعد فاینمن، ناوردائی پیمانه ای، الکترودینامیک اسکالر، اسپینورها، اسپین و آمار و الکترودینامیک کوانتومی						
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: Schwartz, M. D. (2014*). Quantum Field Theory and Standard Model*. Cambridge University Press. Schroeder, D. V and Peskin, M. E. (1995). *An Introduction to Quantum Field Theory*. Perseus Books Publishing.						
ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:						

<table>
<tr><td>مقطع و نام رشته‌گرایش:</td><td colspan="5">دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها</td></tr>
<tr><td>نام درس (فارسی):</td><td colspan="5">نظریه میدان‌های کوانتومی ۲</td></tr>
<tr><td>نام درس (انگلیسی):</td><td colspan="5">Quantum Field Theory ll</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
■ اصلی و تخصصی
☐ اختیاری
☐ پروژه / پایان‌نامه / رساله
☐ جبرانی</td><td>■ نظری
☐ نظری - عملی
☐ عملی / آزمایشگاهی
☐ کارگاهی / عملیات میدانی
☐ کارورزی / کارآموزی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">تعداد واحد:</td><td>نظری</td><td>عملی</td><td>جمع</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>۳</td><td>۰</td><td>۳</td></tr>
<tr><td>تعداد ساعت:</td><td>۴۸</td><td>۰</td><td>۴۸</td><td colspan="2"></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: آموزش اصول نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی</td></tr>
<tr><td colspan="6">مباحث / سرفصل‌ها:
انتگرال مسیر، اثر کازیمیر، قطبش خلا، گشتاور دوقطبی ناهنجار، بازبهنجارش جرم، نظریه‌ی اختلالی بازبهنجارش، واگرائی‌های مادون قرمز، بازبهنجارپذیری، نظریه‌های بازبهنجارش‌ناپذیر، گروه بازبهنجارش، نظریه‌ی یانگ میلز، شکست خودبخودی تقارن</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:
Schwartz, M. D. (2014). Quantum Field Theory and Standard Model. Cambridge University Press.
Schroeder, D. V and Peskin, M. E. (1995). An Introduction to Quantum Field Theory. Perseus Books Publishing.</td></tr>
<tr><td colspan="6">ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:</td></tr>
</table>

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
نام درس (فارسی):	**کیهان‌شناسی**				
نام درس (انگلیسی):	**Cosmology**				
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**	☐ **کارگاهی / عملیات میدانی**
				☐ **جبرانی**	☐ **کارورزی / کارآموزی**

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

هدف درس: آشنایی با کیهان و مدل‌های مرتبط برای توصیف آن

مباحث / سرفصل‌ها:

نسبیت عام، کیهان همگن و همسانگرد، دینامیک انبساط کیهان، تاریخچه گرمایی کیهان، دوره بازترکیب، دوره هسته‌زایی، افت و خیزهای کیهان شناسی، تشکیل ساختارها، مدل‌های تورمی، فیزیک تابش زمینه کیهانی و عدسی گرانشی

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:

Baumann, Daniel. (2021). *Cosmology*. Cambridge University Press.

Padmanabhan, T. (1996). *Cosmology and Astrophysics Through Problems*. Cambridge University Press.

Amendola, Luca, Tsujikawa, Shinji,. (2010). *Dark Energy Theory and Observations*. Cambridge University Press.

Schneider, Peter. (2006). *Extragalactic astronomy and cosmology an introduction*, Springer.

Wolschin, Georg. (2010). *Lectures on Cosmology: Accelerated Expansion of the Universe*. Springer.

Parsons, Paul. (2018). *The Beginning and the End of Everything: From the Big Bang to the End of the Universe*. Amazon.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
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
	۱	۰	۱	☐ 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: مطالعه، تحقیق و 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 ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
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 ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
نام درس (فارسی):	**ریاضی فیزیک پیشرفته**				
نام درس (انگلیسی):	**Advanced Mathematical Physics**				
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 ریاضیات پیشرفته جهت به کار بردن در پژوهش و تحقیق دوره دکتری

مباحث / سرفصل‌ها:

توپولوژی مقدماتی، هومولوژی، کوهومولوژی، خمینه‌ها، حساب دیفرانسیل و انتگرال روی خمینه‌ها، گروه و جبر لی، هندسه- دیفرانسیل کلاسیک، خمش و پیچش، معادله‌های ساختاری کارتان، فرم‌های هم‌آهنگ و گروه‌های کوهومولوژی دو- رام

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:

Nakahara, M. (2003). *Geometry, Topology and Physics*. CRC Press.
Baez, J. Muniain, J. P. (1994). *Gauge Fields, Knots and Gravity*. World Scientific.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**					
نام درس (فارسی):	**نسبیت عام**					
نام درس (انگلیسی):	**General Relativity**					
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: آشنایی با مفاهیم فضا زمان و نیروی بنیادی گرانش						
مباحث / سرفصل‌ها: منیفلدها و چارچوب‌ها، محاسبات برداری روی منیفلدها، محاسبات تانسوری روی منیفلدها، معادلات میدان گرانشی، هندسه شوارتزشیلد، آزمون‌های تجربی نسبیت عام، سیاه‌چاله‌های شوارتس شیلد، مباحث کلی‌تر سیاه‌چاله‌ها، هندسه فریدمن، روبرتسون، واکر، مدل‌های کیهان‌شناسی						
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: Ferrari, V., Gualtieri, L., and Pani, P. (2021). *General Relativity and its Applications*. CRC Press. Carrol, S. (2004). *Spacetime and Geometry*. Addison Wesley.						
ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:						

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
نام درس (فارسی):	**موضوعات ویژه درذرات بنیادی ۱**				
نام درس (انگلیسی):	**Special Topics in Elementary Particles 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 مباحث ویژه در فیزیک ذرات بنیادی، گرانش و کیهان‌شناسی					
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:					

<table>
<tr><td>مقطع و نام رشته‌گرایش:</td><td colspan="5">دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها</td></tr>
<tr><td>نام درس (فارسی):</td><td colspan="5">موضوعات ویژه در ذرات بنیادی ۲</td></tr>
<tr><td>نام درس (انگلیسی):</td><td colspan="5">Special Topics in Elementary Particles ll</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: آشنایی با مباحث ویژه در فیزیک ذرات بنیادی، گرانش و کیهان‌شناسی</td></tr>
<tr><td colspan="6">مباحث / سرفصل‌ها:
طبق نظر استاد درس</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:
طبق نظر استاد درس</td></tr>
<tr><td colspan="6">ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:</td></tr>
</table>

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
نام درس (فارسی):	**ذرات بنیادی پیشرفته ۱**				
نام درس (انگلیسی):	**Advanced Elementary Particle Physics 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**	☐ **کارگاهی / عملیات میدانی**
				☐ **جبرانی**	☐ **کارورزی / کارآموزی**

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

هدف درس: آموزش مفاهیم برهم‌کنش‌های بنیادی طبیعت شامل نیروهای الکترومغناطیس، ضعیف و قوی هسته‌ای

مباحث / سرفصل‌ها:

ذرات فیزیکی در مدل استاندارد، برهم‌کنش‌های ذرات با ماده، واحدها در ذرات بنیادی، مروری بر نسبیت خاص، مروری بر مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی، قانون طلایی فرمی، فضای فاز و بهنجارش تابع موج، واپاشی ذرات، سطح مقطع برخورد، سطح مقطع برخورد دیفرانسیلی، معادله کلن- گوردون، معادله دیراک، جریان احتمال و چگالی احتمال، اسپین و معادله دیراک، شکل هموردای معادله دیراک، جواب‌های معادله دیراک، پاد ذرات، حالات اسپینی و هلیسیتی، پاریته ذاتی فرمیون‌های دیراک، اختلال مرتبه اول و دوم، نمودارهای فاینمن و ذرات مجازی، معرفی الکترودینامیک کوانتومی QED، قوانین فاینمن برای الکترودینامیک کوانتومی، محاسبات در نظریه اختلال، نابودی الکترون- پوزیترون، اسپین در نابودی الکترون- پوزیترون، دست‌سانی یا کایرالیتی، تکنیک‌های رد گیری، کاوش ساختار پروتون، پراکندگی مات- رادرفورد، عامل شکل، پراکندگی کشسانی الکترون- پروتون، فرمول رزنبولوت.

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:

Thomson, M. (2013). *Modern Particle Physics*. Cambridge University Press.

Halzen, F. and Martin, A. D. (1984). *Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics*. John Wiley and Sons.

Morri, T., Lim, C. S. and Mukherjee. S. N. (2004). *The Physics of the Standard Model and Beyond*. World Scientific.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
نام درس (فارسی):	**ذرات بنیادی پیشرفته ۲**				
نام درس (انگلیسی):	**Advanced Elementary Particle Physics 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**	☐ **کارگاهی / عملیات میدانی**
				☐ **جبرانی**	☐ **کارورزی / کارآموزی**

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

هدف درس: آموزش مفاهیم برهم‌کنش‌های بنیادی طبیعت شامل الکترودینامیک کوانتومی، برهم کنش‌های ضعیف و قوی هسته‌ای

مباحث / سرفصل‌ها: کرودینامیک کوانتومی، برهم کنش‌های ضعیف لپتون‌ها، نوترینوها، نقص CP، وحدت الکترو ضعیف، بوزون هیگز و مدل استاندارد ذرات بنیادی

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:

Thomson, M. (2013*). Modern Particle Physics*. Cambridge University Press.

Halzen, F. and Martin, A. D. (1984). *Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics*. John Wiley and Sons.

Morri, T., Lim, C. S. and Mukherjee. S. N. (2004). *The Physics of the Standard Model and Beyond*. World Scientific.

ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز:

مقطع و نام رشته‌گرایش:	**دکتری- فیزیک، گرایش فیزیک ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
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**			**کارگاهی / عملیات میدانی** ☐
		☐ **جبرانی**			**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 ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
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 ذرات بنیادی و نظریه میدان‌ها**				
نام درس (فارسی):	**فیزیک محاسباتی**				
نام درس (انگلیسی):	**Computational Physics**				
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: 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: