



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
شورای عالی برنامه ریزی آموزشی



برنامه درسی رشته

# فیزیک

Physics

مقطع دکتری تخصصی



گروه علوم پایه

پیشادهی دانشگاه صنعتی شریف



پایه

نام رشته: فیزیک

عنوان گرایش: -

گروه تحصیلی: علوم پایه

دوره تحصیلی: دکتری تخصصی

زیر گروه تحصیلی: فیزیک

نوع مصوبه: بازنگری

پیشنهادی: دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳

برنامه درسی بازنگری شده دوره دکتری تخصصی رشته فیزیک، در جلسه شماره ۱۶۹ تاریخ ۱۴۰۱/۰۹/۱۳ کمیسیون برنامه‌ریزی درسی، محتوا و سرفصل رشته‌های تحصیلی به شرح زیر تصویب شد:

**ماده یک-** این برنامه درسی برای دانشجویانی که پس از تصویب این برنامه درسی در دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی پذیرفته می‌شوند، قابل اجرا است.

**ماده دو-** این برنامه درسی، جایگزین برنامه درسی رشته فیزیک مصوب جلسه ۸۶۱ تاریخ ۱۳۹۴/۰۳/۱۶ شورای عالی برنامه‌ریزی می‌شود.

**ماده سه-** این برنامه درسی در سه فصل: مشخصات کلی، جدول‌های واحدهای درسی و سرفصل دروس تنظیم شده است و برای اجرا در دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی پس از اخذ مجوز پذیرش دانشجو از شورای گسترش آموزش عالی و سایر ضوابط و مقررات مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، ابلاغ می‌شود.

**ماده چهار-** این برنامه درسی نمی‌تواند به صورت همزمان با برنامه درسی فیزیک دارای گرایش در یک دانشگاه یا موسسه آموزش عالی پذیرش داشته باشد.

**ماده پنج-** این برنامه درسی از شروع سال تحصیلی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ به مدت ۵ سال قابل اجرا است و پس از آن، در صورت تشخیص کارگروه تخصصی مربوطه، نیاز به بازنگری دارد.

دکتر قاسم عموعابدینی

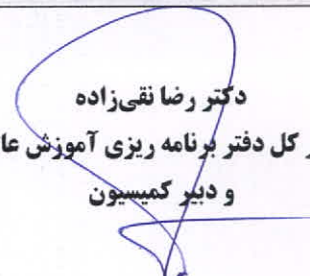
معاون آموزشی و رئیس کمیسیون



دکتر رضا نقی‌زاده

مدیر کل دفتر برنامه‌ریزی آموزش عالی

و دبیر کمیسیون





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



برنامه درسی رشته

## فیزیک

## PHYSICS

### دکتری

تهیه کنندگان:

دکتر محمد رضا اجتهادی

دکتر محمود بهمن آبادی

دکتر علی رضاخانی

دکتر ندا صدوقی

دکتر مهدی کارگریان

دکتر سامان مقیمی

دکتر علیرضا مشفق

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف



## فصل اول

# مشخصات کلی برنامه درسی



مطابق آیین‌نامه‌ی دوره‌ی دکتری دانشگاه صنعتی شریف، این دوره دو بخش آموزشی و پژوهشی دارد، و طول آن در مجموع ۸ نیم‌سال تحصیلی یا ۴ سال تحصیلی است. در بخش آموزشی، لازم است دانشجویان با گرفتن درس‌های مرتبط با یکی از زمینه‌های پژوهشی یا حوزه‌ای مشترک میان آن‌ها و زیر نظر یکی از اعضای هیئت علمی دانشکده (به‌عنوان «استاد راهنما») که در آن زمینه فعالیت می‌کنند، خود را برای بخش پژوهشی آماده کنند. برای ورود به بخش پژوهشی دوره‌ی دکتری، ابتدا باید دانشجو «آزمون جامع دکتری» را مطابق با شرایط و ضوابط آیین‌نامه‌ی دوره‌ی دکتری و نیز شیوه‌ی تصویب‌شده در کمیته‌ی تحصیلات تکمیلی دانشکده با موفقیت بگذرانند. برای آشنایی و آموزش دانشجویان در مورد به‌روزترین مسائل فیزیک در حوزه‌های پژوهشی یا حوزه‌های میان‌رشته‌ای، درس «مطالعه انفرادی» نیز در برنامه‌ی درسی قرار داده شده است، که موضوع مشخص آن با نظر استاد راهنما تعیین می‌شود. گرفتن این درس (با نظر استاد راهنما) نیز جزو واحدهای آموزشی حساب می‌شود. تصمیم‌گیری درباره‌ی مواد امتحانی و شیوه‌ی آزمون جامع دکتری برعهده‌ی کمیته‌ی تحصیلات تکمیلی دانشکده است.

پس از موفقیت در آزمون جامع دکتری، دانشجو باید تا پایان نیم‌سال چهارم تحصیلی از «پیشنهاد پژوهشی» تدوین شده زیر نظر یک عضو هیئت علمی دانشکده دفاع کند تا بخش پژوهشی دوره‌ی دکتری او با نظارت و راهنمایی این «استاد راهنما» آغاز شود. تعداد واحدهای دوره‌ی دکتری ۳۶ واحد است که در جدول پایانی در این نوشته معرفی می‌شوند. دانشجویان دوره‌ی دکتری باید طبق یک برنامه‌ی زمان‌بندی شده نسبت به گرفتن درس‌ها و انجام پژوهش‌های مرتبط با موضوع «رساله‌ی دکتری» خود اقدام کنند. راهنمایی‌های لازم در مورد این برنامه به صورت مناسب و مطابق با پیشنهاد کمیته‌ی تحصیلات تکمیلی دانشکده و نظر استادان راهنما به دانشجویان ارائه خواهد شد. طبق این برنامه دانشجویان دکتری در سال اول فرصت کافی دارند تا با درس‌ها و زمینه‌های پژوهشی گوناگون در دانشکده آشنا شوند و بتوانند متناسب با علاقه و توانمندی‌های علمی خود با انتخاب یکی از این زمینه‌ها و یا موضوعی مشترک بین زمینه‌های پژوهشی فعالیت‌های علمی خود را حول موضوع رساله‌ی دکتری با راهنمایی و هدایت یکی از اعضای هیئت علمی دانشکده ادامه دهند. تجربه‌ی دانشکده‌ی فیزیک در بیش از سی و سه سال گذشته نشان داده که داشتن اختیار و آزادی کافی در یافتن مسیر پژوهشی و انتخاب استاد راهنما یکی از دلایل موفقیت و پویایی دانشجویان دوره‌ی دکتری فیزیک بوده است.

در مجموع برنامه‌ی آموزشی-پژوهشی دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه صنعتی شریف مطابق با تجربه‌های موفق بین‌المللی شکل گرفته و به‌روز شده است و انعطاف و جامعیت لازم برای فعالیت‌های پژوهشی در حوزه‌های جدید و میان‌رشته‌ای را نیز داراست. این برنامه می‌تواند الگویی مناسب و موفق برای سایر موسسات و مراکز آموزش عالی در کشور باشد. به پیوست به‌روزرسانی جزئیات برنامه و درس‌ها و فهرست سرفصل‌ها و مراجع آن‌ها ارائه شده است.

**کلیات به‌روزرسانی برنامه‌ی درسی دوره‌ی دکتری «فیزیک» در تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۲۱ در شورای دانشکده‌ی فیزیک به تصویب رسید و با تفویض اختیار به کمیته‌ی تحصیلات تکمیلی دانشکده در تاریخ ۱۴۰۱/۶/۲۲ در این کمیته تصویب نهایی شد. متعاقب آن، این برنامه در شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده بررسی شده و در تاریخ ۱۴۰۱/۷/۲۷ به تصویب نهایی رسید.**



**ب) مشخصات کلی، تعریف و اهداف**

دانش «فیزیک» از بنیادی‌ترین و قدیمی‌ترین علوم پایه است و به شناخت و درک پدیده‌های طبیعی می‌پردازد. هدف اصلی و کلی این شاخه‌ی مادر از علوم این است که با استفاده از زبان دقیق ریاضی توصیف و فرمول‌بندی جامعی از پدیده‌های طبیعی و پیش‌بینی رفتار آن‌ها ارائه دهد که ضمن درک و فهم عمیق از مشاهدات تجربی، بتواند به توسعه‌ی سایر علوم طبیعی و نیز زیرساخت فناوری‌های گوناگون منجر شود. نگاهی به فعالیت‌های علمی فیزیک‌پیشگان در طول دهه‌های اخیر در سطح جهانی نشان می‌دهد رشته‌ی فیزیک گستره‌ی وسیعی از پژوهش‌های آزمایشگاهی و نظری را شامل شده‌است، و اکنون علاوه بر حوزه‌های مشخص فیزیک موضوعاتی گسترده از علوم دیگر مانند زیست‌شناسی و بیولوژی، پزشکی، علوم کامپیوتر، اطلاعات و هوش مصنوعی، شیمی و طراحی مواد، انرژی، و حتی اقتصاد و علوم اجتماعی را نیز دربرمی‌گیرد.

با توجه به تصویر ترسیم شده در بالا، فعالیت‌های علمی و پژوهشی در رشته‌ی فیزیک بسیار گسترده، پویا، و دارای انعطاف است. با آن‌که تا دهه‌های میانی قرن بیستم عمده‌ی فعالیت‌های تحقیقاتی و پژوهشی در فیزیک پیرامون زمینه‌های طبقه‌بندی‌شده‌ای مانند فیزیک ایتیک و اتمی-مولکولی، فیزیک حالت جامد، فیزیک ذرات بنیادی و انرژی‌های بالا، کیهان‌شناسی و اختر فیزیک، و مبانی بنیادی فیزیک معطوف می‌شد، در چند دهه‌ی اخیر شاهد شکل‌گیری و گسترش سریع زمینه‌های پژوهشی پویا و جدیدی در رشته‌ی فیزیک هستیم، که می‌توان برای نمونه حوزه‌های اطلاعات و رایانش کوانتومی، سیستم‌های پیچیده و غیرتعادلی، بیوفیزیک، و نانوفیزیک را نام برد. یکی از مشخصه‌های اصلی این حوزه‌های نوپدید طبیعت وسیع و میان‌رشته‌ای آن‌ها است که بسیار فراتر از چارچوب‌های کلاسیک و سنتی است، و همگی نیز بستر پیشرفت‌های ژرف و نوین در علم، فناوری، و تکنولوژی شده‌اند و سرمایه‌گذاری فراوانی روی آن‌ها صورت می‌گیرد.

بررسی دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی-پژوهشی ممتاز در دنیا<sup>۱</sup> به‌خوبی نشان می‌دهد که مراکزی که دارای یک برنامه‌ی آموزشی-پژوهشی پویا و منعطف هستند به‌خوبی می‌توانند ضمن آموزش و پرداختن عمیق به مفاهیم بنیادی دانش فیزیک زمینه‌ی ورود دانشجویان تحصیلات تکمیلی و پژوهشگران را به حوزه‌های پژوهشی جدید در فیزیک، پژوهش‌های میان‌رشته‌ای، و نیز آمادگی برای تحلیل و حل مسائل علمی آینده فراهم کنند. تجربه‌ی بین‌المللی نمایان‌گر این است که در یک موسسه‌ی آموزش عالی حوزه‌های پژوهشی زمانی شکوفاتر می‌شوند که برنامه‌ی آموزشی-پژوهشی آن موسسه دارای طراحی سیال و پویا باشد چنان‌که دانشجویان پس از کسب آشنایی خوبی با زمینه‌های مختلف فیزیک بتوانند با توجه به علایق خود، و فراتر از چارچوب‌های طبقه‌بندی، مناسب‌ترین موضوع پژوهشی را برای فعالیت برگزینند. از این رو، منعطف‌بودن برنامه‌ی درسی و آموزشی یکی از شرط‌های اصلی برای آموزش و پرورش دانشجویانی است که پتانسیل



<sup>۱</sup> برای نمونه: دانشگاه‌های ام.آی.تی، هاروارد، استنفورد، کلتک، پرینستون، برکلی، کیمبریج، آکسفورد، ای.تی.اچ.، گرنل، پنسلوانیا، آستین، تگزاس، مریلند، شیکاگو، یو.سی.ال.ای.، توکیو، و پکن.

و توانمندی بالایی هم برای حل مسائل بنیادی فیزیک (چه در حوزه‌های تجربی و چه در حوزه‌های نظری) و هم برای حل مسائل مدرن و پیش روی مربوط به فناوری و علم در آینده کسب کرده‌باشند.

### پ) ضرورت و اهمیت

با الهام از دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی ممتاز در سطح جهانی که تجارب بسیار موفقی در برنامه‌ی دوره دکتری فیزیک دارند و با توجه به اهمیت پژوهش‌های جامع و عمیق در رشته‌ی فیزیک و تاثیر آن به‌عنوان دانش مادر بر دیگر علوم فنی-مهندسی در سطح بین‌المللی، دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه صنعتی شریف به‌عنوان دانشکده‌ی پیشرو در امر راه‌اندازی دوره‌ی دکتری فیزیک در ایران، از سال ۱۳۶۷ دانشجوی دکتری فیزیک می‌پذیرد. با توجه به پتانسیل اعضای هیئت علمی دانشکده در آن مقطع، برنامه‌ی آموزشی-پژوهشی دوره‌ی دکتری در آغاز در چند حوزه‌ی محدود فیزیک ذرات و انرژی‌های بالا، فیزیک بنیادی، کیهان‌شناسی، و ماده چگال نظری شکل گرفت. با این حال، ساختار این برنامه بسیار آینده‌نگرانه و دور از چارچوب و طبقه‌بندی‌های صلب طراحی شده تا امکان بسط و ورود به حوزه‌های پژوهشی جدید با گذر زمان نیز فراهم باشد. از آن زمان تاکنون، با افزایش تجربه‌ی علمی-پژوهشی در مقیاس بین‌المللی و نیز به دلیل نیاز کشور به تربیت نیروی انسانی متخصص و وجود پتانسیل‌های لازم، به تدریج پرورش دانشجویان دکتری در سایر زمینه‌های پژوهشی و حوزه‌های مدرن مربوطه نیز در دستور کار دانشکده‌ی فیزیک قرار گرفت. برای نمونه می‌توان به شکل‌گیری زمینه‌های پژوهشی تجربی و تاسیس و تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی مانند فیزیک سطح، فیزیک لایه‌های نازک، اپتیک و لیزر، پرتوهای کیهانی، فیزیک پزشکی، فیزیک نانو، ابررسانایی، و همچنین ایجاد زمینه‌های پژوهشی نظری مانند رایانش و اطلاعات کوانتومی، فیزیک ماده چگال نرم، و سیستم‌های پیچیده اشاره کرد. خوشبختانه ساختار و چارچوب مترقی و منعطف این برنامه‌ی آموزشی-پژوهشی و تنوع وسیع درس‌های دوره‌ی دکتری، علاوه بر امکان آشنایی عمیق دانشجویان با حوزه‌های کلاسیک فیزیک، بستر مناسب و منسجمی نیز برای گسترش پژوهش و فعالیت‌های علمی دانشکده در حوزه‌های جدید میان‌رشته‌ای شده‌است. گواه موفقیت این برنامه موفقیت دانش‌آموختگان آن در پژوهش فیزیک در عرصه‌ی بین‌المللی و جهانی و نیز اعتبار بالای این دانشکده به‌عنوان یک مرکز پیشرو در منطقه برای تربیت دانشجویان و دانش‌آموختگان زبده‌ی فیزیک است. علاوه بر آن، با پرورش بیش از ۲۵۰ دانش‌آموخته‌ی دکتری فیزیک، عمده‌ی اعضای هیئت علمی دانشکده‌های فیزیک دانشگاه‌های کشور از میان این دانش‌آموختگان هستند، که در حوزه‌های بسیار وسیعی پژوهش می‌کنند.

پذیرش در این دوره‌ی دکتری از طریق روش‌های مذکور در آیین‌نامه‌ی دوره‌ی دکتری دانشگاه صنعتی شریف است. پذیرفته‌شدگان در این دوره می‌توانند، با توجه به شرایط ذکرشده در آیین‌نامه، زیر نظر یکی از اعضای هیئت علمی دانشکده و روی موضوعی مربوط به زمینه‌های فعال پژوهشی موجود در دانشکده ادامه‌ی تحصیل دهند. این زمینه‌ها بسیار متنوع و به‌روز هستند و حوزه‌های تجربی و نظری گوناگونی را دربرمی‌گیرند. به‌عنوان نمونه، هم‌اکنون برخی از زمینه‌های پژوهشی دانشکده عبارت‌اند از: اپتیک و لیزر، اطلاعات و رایانش کوانتومی، کیهان‌شناسی و اختر فیزیک، سیستم‌های پیچیده، ذرات و انرژی‌های بالا، ماده‌ی چگال (تجربی و نظری)، و حوزه‌های میان‌رشته‌ای. بر اساس روح کلی حاکم بر برنامه‌ی دکتری فیزیک در این دانشکده، درجه‌ی دکتری این دانشکده مشخصاً بر روی «فیزیک» است. از این رو، تنظیم برنامه‌ی درسی مندرج در فصل دوم و سوم این برنامه درسی بر اساس حوزه‌های مختلف اساساً برای راهنمایی کلی است.



**ت) تعداد و نوع واحدهای درسی**

بنابر آیین‌نامه‌ی دوره‌ی دکتری، تعداد واحدهای دوره برابر با ۳۶ واحد است. در این راستا، تعداد واحدهای درسی که دانشجویان دوره‌ی دکتری فیزیک باید در بخش آموزشی بگذرانند ۱۴ واحد است، که بایستی شامل دست کم ۳ درس یا ۱۲ واحد از زمینه‌ی پژوهشی (مطابق جدول ۳ و ۴ و با هماهنگی با استاد راهنما) و ۳ سمینار (به شرح زیر) باشد. بنابراین، تعداد واحدهای پایان‌نامه‌ی دکتری فیزیک نیز ۲۲ واحد است. تعداد واحدهای گذرانده شده برای شرکت در آزمون جامع دکتری فیزیک دست کم ۸ واحد یا ۳/۲ تعداد واحدهای درسی آموزشی است. درس «مطالعه‌ی انفرادی» که با نظر استاد راهنما گرفته می‌شود نیز جزو واحدهای آموزشی حساب می‌شود. تصمیم‌گیری درباره‌ی مواد امتحانی و شیوه‌ی آزمون جامع دکتری برعهده‌ی کمیته‌ی تحصیلات تکمیلی دانشکده است. درس‌های دوره‌ی دکتری با تصویب کمیته‌ی تحصیلات تکمیلی دانشکده می‌توانند به‌روز یا ترمیم شوند.

جدول زیر تقسیم‌بندی واحدهای آموزشی و پژوهشی دوره دکتری در دانشکده‌ی فیزیک را نشان می‌دهد. دانشجویان دکتری فیزیک باید در دوران تحصیل خود در یک درس «سمینار عمومی دکتری» (۰-واحدی)، دو درس «سمینار تخصصی دکتری» (هر کدام ۱-واحدی)، و چهار بار «دستیار آموزشی» (۰-واحدی) ثبت‌نام کنند و آن‌ها را با موفقیت بگذرانند.

مجموع	واحدهای رساله‌ی دکتری	واحدهای درسی و سمینار
۳۶	۲۲	درس‌های تخصصی دکتری (۸ واحد- جدول شماره ۳) درس‌های اختیاری دکتری (۴ واحد - جدول شماره ۴) سمینار تخصصی ۱ و ۲ (هر کدام ۱ واحد) سمینار عمومی (۰ واحد) دستیار آموزشی (۰ واحد)

**ملاحظات:**

الف) ثبت‌نام دانشجویان دکتری فیزیک در نیم‌سال اول تحصیلی‌شان در درس «سمینار عمومی دکتری» الزامی است.  
ب) دانشجویان دکتری فیزیک باید در پنج نیم‌سال اول تحصیلی خود چهار بار به‌عنوان «دستیار آموزشی» ثبت‌نام کرده و آن را با موفقیت بگذرانند.

پ) درس‌های دوره‌ی دکتری فیزیک، به‌جز سمینارها یا برخی درس‌های «مقولات ویژه»، عموماً ۴-واحدی هستند.

ت) درس‌های دوره‌ی دکتری فیزیک پیش‌نیاز ندارند و هر کدام مستقل از دیگری در نظر گرفته می‌شوند.

ث) این امکان وجود دارد که متناظر با هر عنوان درس تخصصی در دوره‌ی دکتری یک درس «مقولات ویژه» هم در آن موضوع وجود داشته‌باشد. جزییات سرفصل درس‌های «مقولات ویژه» با نظر استاد درس تعیین می‌شوند.





### ث) مهارت، توانمندی و شایستگی دانش‌آموختگان

برنامه دوره دکتری دانشکده فیزیک شرایطی را فراهم کرده است که دانش‌آموختگان دکتری بتوانند مهارت‌های زیر را کسب کنند: ۱- توانایی تجزیه و تحلیل پدیده‌های مرتبط با علوم طبیعی، ۲- کسب توانمندی ذهنی و عملی در حل مسائل، ۳- توانمندی در بهره‌گیری از دانش توسعه داده‌شده در سایر رشته‌های مختلف علوم پایه برای حل مسائل، ۴- توانمندی و کسب مهارت در ایجاد پل ارتباطی بین مفاهیم بنیادی فیزیک و کاربردهای آن در فناوری‌های جدید، ۵- توانمندی در نشر و گسترش علوم پایه در دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی، ۶- ایجاد آزمایشگاه‌های پژوهشی تجربی و محاسباتی، ۷- توانمندی در ایجاد فعالیت‌های علمی-پژوهشی بین رشته‌ای

### ج) شرایط و ضوابط ورود به دوره

شرایط ورود به دوره دکتری مطابق فصل اول «مجموعه مقررات و آیین‌نامه‌های دوره دکتری» دانشگاه صنعتی شریف می‌باشد. برخی از کلیات این شرایط عبارتند از: ۱- داشتن شرایط عمومی ورود به آموزش عالی کشور، ۲- داشتن دانشنامه کارشناسی ارشد (فوق لیسانس) یا دکترای حرفه‌ای یا بالاتر، متناسب با رشته تحصیلی مورد تقاضا، از یکی از دانشگاه‌های داخل یا خارج کشور که حسب مورد به تایید وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، یا وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی رسیده باشد، ۳- کسب حد نصاب نمره زبان، ۴- قبولی در آزمون ورودی دوره دکتری مطابق ضوابط تعیین شده توسط سازمان سنجش آموزش کشور و دانشگاه.



فصل دوم

## جدول عناوین و مشخصات دروس



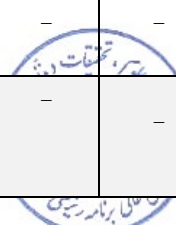
جدول (۳) - عنوان و مشخصات کلی دروس تخصصی

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
۱.	اپتیک کوانتومی ۱	۴	*	-	-	-	-	-	
۲.	اپتیک کوانتومی ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۳.	اپتیک غیر خطی	۴	*	-	-	-	-	-	
۴.	لیزر پیشرفته ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۵.	رایانش و اطلاعات کوانتومی ۱	۴	*	-	-	-	-	-	
۶.	رایانش و اطلاعات کوانتومی ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۷.	نظریه میدان کوانتومی ۱	۴	*	-	-	-	-	-	
۸.	نظریه میدان کوانتومی ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۹.	ذرات بنیادی ۱	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۰.	پدیده‌های بحرانی	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۱.	نظریه میدان آماری	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۲.	ماده چگال ۱	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۳.	گرانش و نسبیت عام ۱	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۴.	کیهان شناسی ۱	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۵.	کیهان شناسی ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۶.	ماده چگال ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۷.	فیزیک بس ذره ای	۴	*	-	-	-	-	-	



جدول (۴) - عنوان و مشخصات کلی دروس اختیاری

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
۱.	طیف سنجی لیزری	۴	*	-	-	-	-	-	
۲.	اندرکنش لیزر و پلاسما	۴	*	-	-	-	-	-	
۳.	مقولات ویژه در مخبرات کوانتومی	۴	*	-	-	-	-	-	
۴.	سیستم‌های کوانتومی باز	۴	*	-	-	-	-	-	
۵.	ترمودینامیک کوانتومی	۴	*	-	-	-	-	-	
۶.	ریاضی فیزیک پیشرفته	۴	*	-	-	-	-	-	
۷.	نظریه میدان دمای متناهی	۴	*	-	-	-	-	-	
۸.	نظریه ریسمان ۱	۴	*	-	-	-	-	-	
۹.	نظریه ریسمان ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۰.	ذرات بنیادی ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۱.	ابرتقارن و ابرگرانش	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۲.	دوگانی پیمانه / گرانش	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۳.	سیستم‌های پیچیده	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۴.	فرآیندهای تصادفی	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۵.	نظریه میدان همدیس	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۶.	فیزیک مواد نرم	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۷.	گرانش و نسبیت عام ۲	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۸.	فیزیک پرتوهای کیهانی	۴	*	-	-	-	-	-	
۱۹.	مقولات ویژه در کیهان شناسی	۴	*	-	-	-	-	-	



دکتری فیزیک / ۱۱

هم نیاز	پیش نیاز	تعداد ساعات		نوع واحد			تعداد واحد	عنوان درس	ردیف
		عملی	نظری	نظری - عملی	عملی	نظری			
-	-	-		-	-	*	۴	مقولات ویژه در اختر فیزیک	.۲۰
-	-	-		-	-	*	۴	فرآیندهای سطح در جامدات	.۲۱
-	-	-		-	-	*	۴	مقولات ویژه در سیستم‌های الکترونی همبسته قوی	.۲۲



فصل سوم

ویژگی‌های دروس



فیزیک بس ذره‌ای		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Many-particle Physics	عنوان درس به انگلیسی:
<input type="checkbox"/> پایه <input checked="" type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش نیاز:
<input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/> تخصصی	-	دروس هم نیاز:
<input type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری	۴	تعداد واحد:
<input type="checkbox"/> رساله / پایان نامه	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

درس فیزیک بس ذره‌ای به بررسی نظری سیستم‌های فرمیونی و بوزونی با تعداد زیادی از درجات آزادی می‌پردازد. هدف اصلی یادگیری روش‌های حل معادلات دینامیکی سیستم کوانتومی در حضور برهم‌کنش می‌باشد که می‌تواند به شناخت عمیق از مواد و درک نتایج آزمایشگاهی کمک کند.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- کوانتشن دوم
- نظریه‌ی اختلال استاندارد برای گاز الکترونی
- روش تابع گرین و دیاگرام‌های فاینمن در دمای صفر
- تقریب هاتری-فوک، پراکندگی و گاز الکترونی تبه‌کن
- نظریه‌ی پاسخ خطی
- نظریه‌ی میدان در دمای محدود و در حالت تعادل
- تعمیم نظریه‌ی پاسخ خطی به دمای محدود
- فرمول‌بندی انتگرال مسیری سیستم‌های بس ذره‌ای
- ناخالصی اندرسون و اثر کوندو
- مدل هابارد و نظریه‌ی میدان متوسط دینامیکی
- نظریه‌ی مایع فرمی و نظریه‌ی مایع لاتینجر در سیستم‌های یک‌بعدی



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. L. Fetter and J. D. Walecka, *Quantum Theory of Many-Particle Systems* (Cambridge University Press, ۲۰۲۰).
۲. G. D. Mahan, *Many-Particle Physics* (Kluwer, ۲۰۰۰).
۳. A. Altland and B. Simons, *Condensed Matter Field Theory* (Cambridge University Press, ۲۰۱۰).





ماده چگال ۱		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی:	
نظری ■	پایه □	Condensed Matter Physics ۱	
عملی □	تخصصی ■	-	
نظری-عملی □	اختیاری □	-	
رساله / پایان نامه □		۳	تعداد واحد:
		۴۸	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

در این درس دانشجویان با مبانی فیزیک ماده چگال در سطحی پیشرفته آشنا می‌شوند و آن‌ها را برای پژوهش در دوره دکتری آماده می‌سازد.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- گاز الکترون آزاد و بسط زومرفلد
- طبقه‌بندی ساختار بلوری جامدات
- آزمایش‌های پراش (نوترون و پرتوهای ایکس)
- ساختارهای پیچیده
- دینامیک کلاسیکی و کوانتومی شبکه
- قضیه‌ی بلاخ، مدل تنگابست قوی، عایق‌ها، و مواد دیراک
- نظریه‌ی تابعی چگالی
- روش‌های محاسبه‌ی ساختار نواری
- ترابرد نیمه کلاسیکی
- ترابرد کوانتومی و سیستم‌های مزوسکوپیکی



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. M. P. Marder, *Condensed Matter Physics* (Wiley, ۲۰۱۰).
۲. S. M. Girvin and K. Yang, *Modern Condensed Matter Physics* (Cambridge University Press, ۲۰۱۹).
۳. G. Grosso and G. P. Parravicini, *Solid State Physics* (Academic Press, ۲۰۱۳).
۴. M. El-Batanouny, *Advanced Quantum Condensed Matter Physics — One-Body, Many-Body, and Topological Perspectives* (Cambridge University Press, ۲۰۲۰).
۵. P. M. Chaikin and T. C. Lubensky, *Principles of Condensed Matter Physics* (Cambridge University Press, ۱۹۹۵).



عنوان درس به فارسی:		ماده چگال ۲	
عنوان درس به انگلیسی:		Condensed Matter Physics ۲	
دروس پیش نیاز:	-	نوع درس و واحد	پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>
دروس هم نیاز:	-		تخصصی <input checked="" type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>
تعداد واحد:	۳		اختیاری <input type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/>
تعداد ساعت:	۴۸		رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

در این درس دانشجویان با مبانی فیزیک ماده چگال در سطحی پیشرفته آشنا می شوند و آن‌ها را برای پژوهش در دوره دکتری آماده می سازد.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- نیمه رساناها
- جایگزیدگی اندرسون
- گاز الکترون با برهم کنش (تابع دی الکترونیک و پلاسمون‌ها)
- نظریه‌ی مایع فرمی
- توپولوژی، فاز بری، و عایق‌های توپولوژیکی
- اثر هال کوانتومی صحیح
- خواص اپتیکی (کلاسیکی و کوانتومی)
- مغناطش در جامدات
- ابررسانایی: نظریه‌های پدیده شناختی، مقدمه‌ای بر نظریه‌ی BCS

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱-M. Marder, *Condensed Matter Physics* (Wiley, ۲۰۱۰).

۲-S. M. Girvin and K. Yang, *Modern Condensed Matter Physics* (Cambridge University Press, ۲۰۱۹).

۳-G. Grosso and G. P. Parravicini, *Solid State Physics* (Academic Press, ۲۰۱۳).

۴-M. El-Batanouny, *Advanced Quantum Condensed Matter Physics — One-Body, Many-Body, and Topological Perspectives* (Cambridge University Press, ۲۰۲۰).

۵-P. M. Chaikin and T. C. Lubensky, *Principles of Condensed Matter Physics* (Cambridge University Press, ۱۹۹۵).



عنوان درس به فارسی:		مقولات ویژه در سیستم‌های الکترونی همبسته قوی	
عنوان درس به انگلیسی:		Special Topics in Strongly Correlated Systems	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه <input type="checkbox"/>	نظری <input checked="" type="checkbox"/>
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی <input type="checkbox"/>	عملی <input type="checkbox"/>
تعداد واحد:	۴	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	نظری-عملی <input type="checkbox"/>
تعداد ساعت:	۶۴	رساله / پایان‌نامه <input type="checkbox"/>	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

موضوع سیستم‌های همبسته قوی به بررسی و تحلیل فازهای متنوع سیستم‌های الکترونی همبسته قوی می‌پردازد. در این درس مفاهیم اولیه، مدل‌های شناخته شده، روش‌های تحلیلی و نظری این سیستمها و موضوعهای جدید در این شاخه از فیزیک ماده چگال تدریس میشود. اطلاعات کسب شده در این درس به شناخت و فهم پدیده‌های جدید در سیستم‌های بس-ذره‌ای با برهمکنش قوی اختصاص دارد.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مبانی جبری و توپولوژیک در بررسی ساختار نواری
- برهمکنش الکترون‌ها در جامدات (برهمکنش تبادل و ابرتبادلی)
- هامیلتونی‌های موثر و خصوصیات آنها (مدل هابارد و مدل هایزنبرگ)
- نمایش‌های اسپینی و روش‌های تحلیلی (نمایش هولشتین پریماکف، شوینگر، حالت‌های همدوس، نظریه موج اسپینی، نمایش‌های بوزونی)
- روش‌های وردشی و برانگیختگی‌های سیستم
- اثر بی‌نظمی در سیستم‌های همبسته قوی و نواقص توپولوژیک



- گذار فازهای کوانتومی و گذار فازهای توپولوژیک (گذار کاسترلیتر-تالس)
- اثر کوانتومی هال صحیح و کسری (ترازهای لاندائو و توابع موج لافلین)
- روشهای محاسباتی در سیستمهای همبسته قوی (قطری سازی دقیق، روشهای بازبهنجارش و ...)
- آنروپی درهمتنیدگی و فازهای توپولوژیک (مدلهای یک و دو بعدی مانند مدل کیتائف)
- فازهای خاص در سیستمهای همبسته قوی (حالتهای باند رزونانسی، نظریه‌های پیمانهای)

(ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

(ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۷۰ درصد  
آزمون پایان نیم‌سال ۳۰ درصد

(ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

ارایه این درس بصورت نظری است و میتواند شامل بخشهایی بصورت شبیه سازی عددی باشد.

(چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Assa Auerbach, "Interacting electrons and quantum magnetism" (Springer-Verlag, New York, Inc ۱۹۹۴).
۲. Patrik Fazekas, "Lecture notes on electron correlation and magnetism" (World Scientific Publishing Co. ۱۹۹۹).
۳. B. Andrei Bernevig and Taylor L. Hughes, Topological Insulators and Topological Superconductors (Princeton University Press ۲۰۱۳).
۴. Mikio Nakahara, Geometry, Topology and Physics, (CRC Press ۲۰۰۳).
۵. Xiao-Gang Wen, Quantum Field Theory of Many-body Systems: From the Origin of Sound to an Origin of Light and Electrons (Oxford University Press, ۲۰۰۷).



فرایندهای سطح در جامدات		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی:	
نظری <input checked="" type="checkbox"/>	پایه <input type="checkbox"/>	Solid Surface Processes	
عملی <input type="checkbox"/>	تخصصی <input type="checkbox"/>	-	
نظری-عملی <input type="checkbox"/>	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	-	
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		تعداد واحد:	۴
		تعداد ساعت:	۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

این درس میان‌رشته‌ای دارای پنج بخش اصلی است که مباحث مربوط به فیزیک، شیمی، فرآیند، فناوری و کاربردهای آن در سطوح و فصل مشترک جامدات مختلف را ارائه خواهد کرد. در این راستا، مطالعه‌ی سطوح و پدیده‌های مرتبط می‌تواند به درک عمیق فیزیک و شیمی سطوح کمک نماید. به‌علاوه، کاربردهای گسترده‌ی آن در زمینه‌ی ساخت ادوات نانوالکترونیکی، جلوگیری از سایش و خوردگی سطوح، بهبود عملکرد کاتالیست‌ها در صنایع شیمیایی و پتروشیمی، تولید، تبدیل و ذخیره‌ی انرژی، و هم‌چنین در زمینه‌ی کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

#### • مبانی سطح

۱-۱ تاریخچه علم سطح

۲-۱ ویژگی‌ها و خواص سطح

۳-۱ حساسیت سطح

۴-۱ مبانی علوم و فناوری خلأ

۵-۱ روش‌های تمیز کردن سطح

#### • نفوذ در سطح

۱-۲ سینتیک

۲-۲ مکانیزم

۳-۲ بررسی چند مثال کاربردی مهم (گاز- جامد)



• نفوذ در فصل مشترک

- ۳-۱ فرآیند سیلیساید کردن
- ۳-۲ فرآیند مهاجرت الکتریکی
- ۳-۳ بررسی چند مثال کاربردی مهم (جامد-جامد)

• مدل‌های رشد یک سطح جامد

- ۴-۱ لایه-لایه ای (Frank-van der Merwe)
- ۴-۲ جزیره-جزیره ای (Volmer-Weber)
- ۴-۳ لایه‌ای-جزیره‌ای (Stranski-Krastanov)

• واکنش‌های شیمیایی در سطح

- ۵-۱ جذب و دفع گازها
- ۵-۲ تجزیه مولکولی و نفوذ در سطح
- ۵-۳ سینتیک
- ۵-۴ مکانیزم
- ۵-۵ مدل‌های رایج مکانیزم واکنش‌ها (Langmuir-Hinshelwood, Eley-Rideal)
- ۵-۶ سطح فلزات
- ۵-۷ سطح اکسیدهای فلزی
- ۵-۸ نانو ساختارهای سلسله مراتبی

• جامدات متخلخل و تخلخل پذیری

- ۶-۱ تعاریف و مفاهیم بنیادی
- ۶-۲ روش‌های ایجاد تخلخل و افزایش سطح موثر
- ۶-۳ معادلات و روش‌های اندازه‌گیری سطح موثر (BET، تخلخل سنجی توسط جیوه)
- ۶-۴ کاربردها

• بهبود خواص سطح (الکتریکی، اپتیکی و مکانیکی) به وسیله

- ۷-۱ باریکه یونی
- ۷-۲ لیزر
- ۷-۳ پلاسما





- فرآیند پلاسمای سرد
- فرآیند الکتروکرومیک

- ۹-۱ تحلیل فرآیند
- ۹-۲ مواد مناسب
- ۳-۹ معادلات و روش‌های اندازه‌گیری
- ۴-۹ کاربردها

- تنش در سطح و فصل مشترک‌ها

- ۱۰-۱ تحلیل فرآیند
- ۱۰-۲ معادلات و روش‌های اندازه‌گیری
- ۱۰-۳ مدل‌های رایج
- ۱۰-۴ بررسی چند مثال

- گذار فاز در دو بعد
- ذوب سطحی

- ۱۲-۱ مدل‌های رایج
- ۱۲-۲ تحلیل فرآیند
- ۳-۱۲ بررسی چند مثال

- کاربردهای فرآیندهای سطح

- ۱۳-۱ پدیده‌های آب دوستی/آب‌گریزی سطوح
- ۱۳-۲ صنایع شیمیایی، پتروشیمی و گاز (کاتالیست‌ها/فوتوکاتالیست‌ها)
- ۱۳-۳ انرژی
- ۱۳-۳-۱ تولید  $H_2$  از تجزیه فوتوکاتالیستی آب
- ۱۳-۳-۲ سلول‌های خورشیدی
- ۱۳-۳-۳ ابرخازن
- ۱۳-۴ محیط زیست (فوتوکاتالیست‌ها در واکنش تخریب رنگ‌ها، داروها و کاهش  $CO_2$ )
- ۱۳-۵ نانو ساختارهای دوبعدی پساگرافن (TMD،  $g-CrN_4$ ، MXene)
- ۱۳-۶ سنسورهای گاز
- ۱۳-۷ پوشش‌های الکتروشیمیایی و مقاوم



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. K. Tamara, *Dynamic Processes on Solid Surfaces*, Springer, (۲۰۰۸).
۲. Hans Luth, *Solid Surface, Interface and Thin Films*, Springer (۲۰۱۵).
۳. D. Gupta, *Diffusion Processes in Advanced Technological Materials* (۲۰۰۵).
۴. Boles, M. A.; Ling, D.; Hyeon, T.; Talapin, D. V. "The Surface Science of Nanocrystals", *Nature Materials*, ۲۰۱۶, ۱۵, ۱۴۱-۱۵۳.
۵. R.I. Masel, *Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surface*, (۱۹۹۶).
۶. G.A. Somorjai, *Chemistry in Two Dimensions: Surfaces*, Cornell University Press, Ithaca (۱۹۸۱).
۷. G.A. Somorjai, *Introduction to Surface Chemistry and Catalysis*, Wiley (۱۹۹۴).
۸. John A. Venables, *Introduction to Surface and Thin Film Processes*, Cambridge Univ. Press, (۲۰۰۰). <http://venables.asu.edu/grad/appweb/html>.
۹. K. Kolasinski, *Surface Science: Foundations of Catalysis and Nano Science*, Wiley, ۳rd, ۲۰۱۲.
۱۰. A. Fujishima, X. Zhang, D. A. Tryk, "*TiO<sub>2</sub> Photocatalysis and Related Surface Phenomena*", *Surface Science Report*, ۶۳, (۲۰۰۸) ۵۱۵-۵۸۲.
۱۱. Bai, S.; Wang, L.; Li, Z.; Xiong, Y. "*Facet-Engineered Surface and Interface Design of Photocatalytic Materials*", *Advanced Science*, ۲۰۱۷, ۴, ۱۶۰۰۲۱۶
۱۲. A. Z. Moshfegh, "*Nanoparticle Catalysts*", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, ۴۲ (۲۰۰۹) ۲۳۳۰۰۱-۲۳۳۰۳۱ (Review Article).



۱۳. M. Faraji, et al, A. Z. Moshfegh, "Two-Dimensional Materials in Semiconductor Photoelectrocatalytic Systems for Water Splitting", Energy and Environmental Science, ۱۲, (۲۰۱۹), ۵۹-۹۵, (**Review Article**).

۱۴. S. Samadi, A. Z. Moshfegh, "Heterogeneous Photocatalysis by Organic Materials: from Fundamental to Applications", in "Current Developments in Photocatalysis and Photocatalytic Materials", Elsevier, (۲۰۲۰), ۴۵۷- ۴۷۳, (**Book Chapter**).

۱۵. A. Akhundi, A. Z. Moshfegh, A. H. Yangjeh, and M. Sillanpää

"Simultaneous Dual-Functional Photocatalysis by g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Based

Nanostructures" ACS ES&T Engineering, ۲۰۲۲, Accepted, (**Review Article**).



نظریه میدان کوانتومی ۱		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Quantum Field Theory ۱	عنوان درس به انگلیسی:
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input checked="" type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input type="checkbox"/>	۴	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

موضوع اصلی در این درس بازبهنجارش و تصحیحات و اثرات حلقه در دامنه‌ها و توابع گرین است.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- بازبهنجارش
- تصحیحات تابشی
- مسئله‌ی مادون قرمز
- کوانتومی کردن با استفاده از روش انتگرال مسیری
- سیستم‌های مقید
- کنش و پتانسیل مؤثر
- میدان‌های غیر آبلی پیمان‌ای و تقارن BRST
- مدل گلاشو، واینبرگ، و سلام
- کرومودینامیک کوانتومی
- بازبهنجارش کرومودینامیک
- گروه بازبهنجارش
- محاسبه‌ی تابع beta در مرتبه‌ی تک حلقه برای الکتروودینامیک کوانتومی و کرومودینامیک کوانتومی



• محاسبه‌ی تابع  $\beta$  با استفاده روش میدان زمینه

• بسط ضرب عمل گرها

• شکست خودبخودی تقارن و مکانیزم هیگز

(ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

(ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

(ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

(چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱-M. Peskin and D. Schroeder, *An introduction to Quantum Field Theory* (Western Press, ۱۹۹۵).

۲-M. D. Schwartz, *Quantum Field Theory and the Standard Model* (Cambridge University Press, ۲۰۱۵).

۳-S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, Vol. ۱ (Cambridge University Press, ۱۹۹۵).

۴-S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, Vol. ۲ (Cambridge University Press, ۲۰۰۵).



عنوان درس به فارسی:		نظریه میدان کوانتومی ۲	
عنوان درس به انگلیسی:		Quantum Field Theory ۲	
دروس پیش نیاز:	-	نوع درس و واحد	پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>
دروس هم نیاز:	-		تخصصی <input checked="" type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>
تعداد واحد:	۴		اختیاری <input type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/>
تعداد ساعت:	۶۴		رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

موضوع اصلی این درس مباحث پیشرفته تر نظریه ی میدان شامل رهیافت انتگرال مسیری، ناهنجاری کوانتومی، و جواب های غیراختلالی است.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### ب) مباحث یا سرفصل ها:

• انتگرال مسیری، کنش موثر

• ناهنجاری های کوانتومی

• جواب های غیراختلالی، سالیتون، تک قطبی، اینستتون، و کینک

• رهیافت ویلسونی به گروه های بازبهنجارش پذیر

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت های کلاسی در طول نیم سال ... درصد

آزمون پایان نیم سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱-M. Peskin and D. Schroeder, *An introduction to Quantum Field Theory* (Western Press, ۱۹۹۵).

۲-M. D. Schwartz, *Quantum Field Theory and the Standard Model* (Cambridge University Press, ۲۰۱۵).

۳-S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, Vol. ۲ (Cambridge University Press, ۲۰۰۸).

۴-M. Shifman, *Advanced Topics in Quantum Field Theory: A Lecture Course* (Cambridge University Press,



ذرات بنیادی ۱		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Particle Physics ۱	عنوان درس به انگلیسی:
<input type="checkbox"/> پایه <input checked="" type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش نیاز:
<input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/> تخصصی	-	دروس هم نیاز:
<input type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری		تعداد واحد: ۴
<input type="checkbox"/> رساله / پایان نامه		تعداد ساعت: ۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

موضوع اصلی این درس مدل استاندارد ذرات است. مدل استاندارد توصیفی عالی از ذرات و برهم کنش ها در سطحی بنیادی ارائه می دهد. هدف اصلی این درس مطالعه‌ی این مدل و هم چنین بررسی دقیق داده‌های آزمایشگاهی است.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- انتگرال تقارن‌های ذرات بنیادی
- تقارن‌های CPT، کاربردها، و نقص‌های آنها
- تقارن‌های داخلی  $SU(2)$  و  $SU(3)$
- مدل کوآرکی، طعم، و رنگ
- تقارن‌های پیمانه‌ای
- شکست خودبخودی تقارن
- مدل استاندارد برهم کنش‌های الکتروضعیف
- کرومودینامیک کوانتومی
- مدل پارتون



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱-C. P. Burgess, G. D. Moore, *The Standard Model Primer* (Cambridge University Press, ۲۰۰۷).

۲-P. Langacker, *The Standard Model and Beyond* (CRC Press, ۲۰۱۷).

۳-M. Peskin, *Concepts of Elementary Particle Physics* (Oxford University Press, ۲۰۱۹).

۴-M. Thompson, *Modern Particle Physics* (Cambridge University Press, ۲۰۱۳).





ذرات بنیادی ۲		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد	Particle Physics ۲	عنوان درس به انگلیسی:	
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:	
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>		۴	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

موضوع اصلی این درس مطالعه‌ی مدل‌های فرای مدل استاندارد ذرات است. مدل استاندارد نقایصی نظری و تجربی دارد و نظریه‌هایی برای رفع این نقیصه‌ها ارائه شده است. هدف اصلی این درس مطالعه این مدل‌ها و همچنین بررسی داده‌های آزمایشگاهی مربوطه است.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- انتگرال نوسان نوترینوها، بررسی آزمایش‌های نوترینو، و تعیین پارامترها
- مدل‌هایی برای نوترینوهای جرم‌دار
- نظریه‌های وحدت بزرگ
- ابرتقارن، پدیده‌شناسی، و مدل‌های وابسته
- مسئله‌ی نقض CP در برهم‌کنش‌های قوی و اکسیون
- ماده‌ی تاریک و مدل‌های ذراتی
- باریون‌زایی و مدل‌های آن

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):



فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

(ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

(چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. I. Aitchison, *Supersymmetry* (Cambridge University Press, ۲۰۰۷).

۲. K. Zuber, *Neutrino Physics* (CRC Press, ۲۰۱۲).

۳. R. Mohapatra, *Unification and Supersymmetry* (Springer, ۲۰۰۲).



نظریه ریسمان ۱		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		String Theory ۱	
نظری <input checked="" type="checkbox"/>	پایه <input type="checkbox"/>	دروس پیش نیاز:	
عملی <input type="checkbox"/>	تخصصی <input type="checkbox"/>	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی <input type="checkbox"/>	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	تعداد واحد:	۴
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		تعداد ساعت:	۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

شناخت نیروهای بنیادی طبیعت در سطوح بنیادی از اهمیت بسیاری برخوردار است. در مورد سه نیروی الکترومغناطیس، هسته‌ای ضعیف، و هسته‌ای قوی، سازوکار یک نظریه کوانتومی نسبی به خوبی شناخته شده است. اما برای توصیف گرانش کوانتومی در این سطوح همواره با مشکل مواجه بوده ایم. مشکل عمده در این مورد بازهنجارش کوانتومی است. نظریه ریسمان تلاشی است برای توصیف جهان در سطوح بنیادی. رویکرد اصلی در این نظریه جایگزینی ذرات بنیادی نقطه‌ای با ریسمان‌های مرتعش یک‌بعدی است. اهمیت ویژه نظریه ریسمان این است که چارچوبی خودسازگار فراهم می‌آورد که امکان توصیف ذرات در سطوح بنیادی همراه با اندرکنش‌های آن‌ها را فراهم می‌کند. گرانش کوانتومی به طور طبیعی از طیف این نظریه رخ می‌نماید و امید حل بسیاری از مشکلاتی که پیشتر در نظریه‌های بنیادی ذرات و کیهان‌شناسی با آن روبرو بوده ایم فراهم می‌گردد. از این رو مطالعه این نظریه با پیش‌بینی‌های جامع و دقیق فیزیکی و ساختار مستحکم و خودسازگار ریاضی بسیار مفید و ضروری به نظر می‌رسد.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### (پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مقدمات گرانش کوانتومی و لزوم پرداختن به نظریه ریسمان
- مقدماتی از نظریه میدان همدیس دوجانبی
- ریسمان بوزونی
- کنش نمبو-گوتو و تقارن‌های آن
- کنش پولیاکف و تقارن‌های آن
- انتگرال مسیر پولیاکف و کوانتش ریسمان بوزونی



• پیمانه‌ی مخروط نوری، قیده‌های ویراسورو، و ابعاد بحرانی

• تقارن BRST

• طیف ریمان باز

• طیف ریمان بسته

• شامه‌ها و فشرده‌سازی

• D-شامه‌ها

• فشرده‌سازی و اریفلدها

• T-دوگانی

• دامنه‌های پراکندگی

• دامنه‌ی پراکندگی ریمان‌ها

• نظریه‌ی موثر در حد انرژی ضعیف

• محاسبه‌ی تابع بتا

(ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

(ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

(ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

(چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱-J. Polchinski, *String Theory*, Vol. ۱ (Cambridge University Press, ۱۹۹۸).

۲-J. Polchinski, *String Theory*, Vol. ۲ (Cambridge University Press, ۱۹۹۸).

۳-M. B. Green, J. Schwarz, and E. Witten, *Superstring Theory*, Vol. ۱ (Cambridge University Press, ۱۹۸۸).

۴-M. B. Green, J. Schwarz, and E. Witten, *Superstring Theory*, Vol. ۲ (Cambridge University Press, ۱۹۸۸).

۵-K. Becker, M. Becker, and J. Schwarz, *String Theory and M-Theory* (Cambridge University Press, ۲۰۰۶).

۶-B. Zwiebach, *A First Course in String Theory* (Cambridge University Press, ۲۰۰۴).



نظریه ریسمان ۲		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		String Theory ۲	
نظری <input checked="" type="checkbox"/>	پایه <input type="checkbox"/>	عنوان درس به انگلیسی:	
عملی <input type="checkbox"/>	تخصصی <input type="checkbox"/>	دروس پیش نیاز:	
نظری-عملی <input type="checkbox"/>	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	دروس هم نیاز:	
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		۴	تعداد واحد:
		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

شناخت نیروهای بنیادی طبیعت در سطوح بنیادی از اهمیت بسیاری برخوردار است. در مورد سه نیروی الکترومغناطیس، هسته‌ای ضعیف، و هسته‌ای قوی، سازوکار یک نظریه‌ی کوانتومی نسبیتی به‌خوبی شناخته شده‌است. اما برای توصیف گرانش کوانتومی در این سطوح همواره با مشکل مواجه بوده‌ایم. مشکل عمده در این مورد بازبهنجارش کوانتومی است. نظریه‌ی ریسمان تلاشی است برای توصیف جهان در سطوح بنیادی. رویکرد اصلی در این نظریه جای‌گزینی ذرات بنیادی نقطه‌ای با ریسمان‌های مرتعش یک‌بعدی است. اهمیت ویژه‌ی نظریه‌ی ریسمان این است که چارچوبی خودسازگار فراهم می‌آورد که امکان توصیف ذرات در سطوح بنیادی همراه با اندرکنش‌های آن‌ها را فراهم می‌کند. گرانش کوانتومی به‌طور طبیعی از طیف این نظریه رخ می‌نماید و امید حل بسیاری از مشکلاتی که پیشتر در نظریه‌های بنیادی ذرات و کیهان‌شناسی با آن روبرو بوده‌ایم فراهم می‌گردد. از این‌رو مطالعه‌ی این نظریه با پیش‌بینی‌های جامع و دقیق فیزیکی و ساختار مستحکم و خودسازگار ریاضی بسیار مفید و ضروری به‌نظر می‌رسد.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- ابرریسمان‌ها
- آشنایی با جبر ابرتقارنی
- نظریه‌ی میدان همدیس ابرمتقارن
- ابرریسمان‌ها، قیده‌های ویراسوروی ابرتقارنی، و ابعاد بحرانی
- طیف نوع I
- طیف نوع II



- ریسمان هتروتیک
- ابرگرانش
- فشرده‌سازی در ابرریسمان‌ها
- کاهش کالوتزا - کلاین
- فشرده‌سازی روی چنبره
- فشرده‌سازی کلایی - یائو
- دوگانی‌ها در نظریه‌ی ابرریسمان
- سیاه‌چاله‌ها و سیاه‌شامه‌ها در نظریه‌ی ابرگرانش
- مقدمات دوگانی پیمانہ-گرانش

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

- فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد
- آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

- ۱-J. Polchinski, *String Theory*, Vol. ۱ (Cambridge University Press, ۱۹۹۸).
- ۲-J. Polchinski, *String Theory*, Vol. ۲ (Cambridge University Press, ۱۹۹۸).
- ۳-M. B. Green, J. Schwarz, and E. Witten, *Superstring Theory*, Vol. ۱ (Cambridge University Press, ۱۹۸۸).
- ۴-M. B. Green, J. Schwarz, and E. Witten, *Superstring Theory*, Vol. ۲ (Cambridge University Press, ۱۹۸۸).
- ۵-K. Becker, M. Becker, and J. Schwarz, *String Theory and M-Theory* (Cambridge University Press, ۲۰۰۶).
- ۶-B. Zwiebach, *A First Course in String Theory* (Cambridge University Press, ۲۰۰۴).



ابر تقارن و ابر گرانش		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Supersymmetry and Supergravity	عنوان درس به انگلیسی:
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>		تعداد واحد: ۴
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		تعداد ساعت: ۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

این درس بر جنبه‌های نظری ابر تقارن و ابر گرانش تمرکز دارد. ابر تقارن یک چارچوب سازگار و غنی برای مطالعه‌ی پدیده‌های متنوع ارائه می‌دهد. علاوه بر این، انتظار است که ابر تقارن نقشی مهم در پدیده‌شناسی ذرات بنیادی بازی کند. هدف این درس آشنایی با تکنیک‌های ابر تقارنی و کاربرد آن‌ها در مدل‌سازی است.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- ابر تقارن، تبدیلات، جبر و گروه، نمایش‌ها
- ابر میدان
- لاگرانژی‌ها و برهم کنش‌های ابر متقارن
- شکست ابر تقارن
- ابر فضا
- ابر تقارن موضعی، چندتایی ابر گرانش
- جواب‌های غیر اختلالی ابر متقارن
- شکست دینامیکی ابر تقارن
- مباحث پیشرفته، نظریه‌ی Seiberg-Witten، دوگانگی Seiberg، ابر پتانسیل Affleck-Dine-Seiberg



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱-J. Wess, J. Bagger, *Supersymmetry and Supergravity* (Princeton University Press, ۱۹۹۱).

۲-J. Turning, *Modern Supersymmetry* (Oxford University Press, ۲۰۱۰).

۳-D. Freedman and A. Van Proeyen, *Supergravity* (Cambridge University Press, ۲۰۱۲).





دوگانی پیمانانه / گرانش		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		Gauge/Gravity Duality	
نظری <input checked="" type="checkbox"/>	پایه <input type="checkbox"/>	-	
عملی <input type="checkbox"/>	تخصصی <input type="checkbox"/>	-	
نظری-عملی <input type="checkbox"/>	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	۴	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

دوگانی AdS/CFT، و یا به بیان عام تر دوگانی پیمانانه/گرانش، یکی از مهم ترین برون دادهای نظریه ی ریسمان می باشد. طبق این دوگانی یک نظریه ی میدان پیمانانه ای با تقارن های خاص با یک نظریه ی گرانش در یک بعد بالاتر متناظر است، به این معنی که برای محاسبه ی کمیت "x" در نظریه ی میدان می توان موجود هندسی معادل آن "y" در گرانش را محاسبه کرد. اهمیت این موضوع وقتی آشکار می شود که توجه کنیم که نظریه ی میدان با جفت شدگی قوی با یک نظریه ی گرانشی کل اسیکی متناظر خواهد بود که در کار کردن با آن به خوبی توانا هستیم. هدف ما در این درس آشنایی با این دوگانی و کاربردهای آن در کرومودینامیک کوانتومی، فیزیک ماده ی چگال، اطلاعات کوانتومی، و غیره می باشد.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

- مروری بر نظریه ی میدان های کوانتومی و نسبیت عام
- نظریه ی میدان های همدیس
- جواب های پاددوسیته ی معادله های اینشتین
- سیاه چاله های پاددوسیته و دوگانی AdS/CFT
- اصل بیشینه ی آنتروپی، هولوگرافی، و دوگانی پیمانانه/گرانش
- کاربرد دوگانی پیمانانه/گرانش در کرومودینامیک کوانتومی
- کاربرد دوگانی پیمانانه/گرانش در فیزیک ماده چگال
- کاربرد دوگانی پیمانانه/گرانش در اطلاعات کوانتومی، آنتروپی درهم تنیدگی و پیچیدگی کوانتومی از منظر هولوگرافی



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

- ۱-M. Ammon and J. Erdmenger, *Gauge/Gravity Duality* (Cambridge University Press, ۲۰۱۵).
- ۲-H. Nastase, *Introduction to the AdS/CFT Correspondence* (Cambridge University Press, ۲۰۱۵).
- ۳-J. Casalderrey-Solana, H. Liu, D. Mateos, K. Rajagopal, and U. A. Wiedemann, *Gauge/String Duality, Hot QCD and Heavy Ion Collisions* (Cambridge University Press, ۲۰۱۴).
- ۴-M. Natsuume, *AdS/CFT Duality User Guide* (Springer, ۲۰۱۵).
- ۵-O. Aharony, S. S. Gubser, J. M. Maldacena, H. Ooguri, and Y. Oz, Large  $N$  field theories, string theory and gravity, Phys. Rep. ۳۲۳, ۱۸۳ (۲۰۰۰).



نظریه میدان دمای متناهی		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		Finite Temperature Field Theory	
نظری <input checked="" type="checkbox"/>	پایه <input type="checkbox"/>	عنوان درس به انگلیسی:	
عملی <input type="checkbox"/>	تخصصی <input type="checkbox"/>	دروس پیش نیاز:	
نظری-عملی <input type="checkbox"/>	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	دروس هم نیاز:	
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		تعداد واحد:	۴
		تعداد ساعت:	۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

هدف از این درس بررسی سیستم‌های بس ذره‌ای نسبیتی با استفاده از مفاهیم نظریه‌ی میدان کوانتومی در دمای صفر است. این درس پایه‌ی اصلی برای انجام پژوهش در ارتباط با آزمایش‌های برخوردی فرانسبیتی یون‌های سنگین در دوره‌ی دکتری است. هدف از این آزمایش‌ها بررسی ماهیت گذار فاز کرومودینامیک کوانتومی و شکست خودبخودی تقارن کایرال در آزمایشگاه و جهان اولیه است.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### (پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مکانیک کوانتومی آماری
- نمایش انتگرال مسیری و تابع توزیع کوانتومی
- برهم کنش و روش نمودارهای فاینمن
- بازهنجارش در دمای متناهی
- الکتروودینامیک کوانتومی و نمودارهای حلقه
- نظریه‌ی پاسخ خطی و برانگیختگی‌های دسته‌جمعی
- هیدروودینامیک نسبیتی
- روش کوپو و ضرایب تراپردی
- شکست خودبخودی تقارن و گذار فاز در دمای متناهی



• کرومودینامیک کوانتومی در دمای متناهی

• حلقه‌های دمایی سخت (thermal hard loops) و تصحیحات غیراختلالی

• مقدمه‌ای بر نظریه‌ی میدان کوانتومی بر روی شبکه

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

- ۱- J. Kapusta and C. Gale, *Finite Temperature Field Theory* (Cambridge University Press, ۲۰۰۶).
- ۲- M. Le Bellac, *Thermal Field Theory* (Cambridge University Press, ۱۹۹۶).
- ۳- A. Das, *Finite Temperature Field Theory* (World Scientific, ۱۹۹۷).
- ۴- K. Yagi, T. Hatsuda, and Y. Miake, *Quark-Gluon Plasma, from Big Bang to Little Bang* (Cambridge University Press, ۲۰۰۵).
- ۵- W. Florkowski, *Phenomenology of Ultra-Relativistic Heavy-Ion Collisions* (World Scientific, ۲۰۱۰).



گرایش و نسبت عام ۱		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Gravity and General Relativity ۱	عنوان درس به انگلیسی:
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input checked="" type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input type="checkbox"/>	۴	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

این درس یکی از مبانی اصلی زمینه‌ی پژوهشی نجوم-کیهان‌شناسی و گرایش است. در این درس به بررسی بنیادهای نظریه‌ی نسبیت عام پرداخته می‌شود. به‌ویژه، معادله‌های ژئودزی و معادله‌های میدان اینشتین به‌دست آمده و پاسخ‌های میدان ضعیف، سیاه‌چاله، کیهان‌شناسی، و امواج گرانشی آن بررسی می‌شود.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مروری بر نسبیت خاص
- اصل هم‌ارزی
- هندسه، خمش، و فضا و زمان
- معادله‌های اینشتین
- حل میدان ضعیف
- سیاه‌چاله‌ی شوارتزشیلد
- سیاه‌چاله‌های باردار و چرخان
- کیهان منبسط‌شونده
- مقدمه‌ای بر امواج گرانشی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. S. M. Carroll, *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity* (Cambridge University Press, ۲۰۱۹).

۲. M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, A. N. Lasenby, *General Relativity: An Introduction for Physicists* (Cambridge University Press, ۲۰۰۶).

۳. S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity* (Wiley, ۱۹۷۲).



گرایش و نسبیت عام ۲		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Gravity and General Relativity ۲	عنوان درس به انگلیسی:
<input type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش نیاز:
<input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/> عملی	-	دروس هم نیاز:
<input type="checkbox"/> اختیاری <input type="checkbox"/> نظری-عملی	۴	تعداد واحد:
<input type="checkbox"/> رساله / پایان نامه	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

درس گرایش و نسبیت عام ۲ درس مقطع دکتری در ادامه درس شماره ۱ به تعمیق مفاهیم ارائه شده در نسبیت عام می پردازد. به طور خاص سیاهچاله ها بررسی می شود. راه حل های کیهان شناسی قسمت بعدی این درس است. همگرایی گرانشی در نسبیت عام مورد بررسی قرار می گیرد. سرانجام نظریه اختلال در نسبیت عام مطرح و به بحث درس با امواج گرانشی ختم می شود.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

- سیاهچاله ها ( شوارتزشیلد، کر، رایسنر نوردستروم)
- افق های کیلینگ
- قضایای ترمودینامیک سیاهچاله ها
- نظریه اختلال خطی در نسبیت عام
- جواب های نسبیت عام برای کیهان شناسی
- همگرایی گرانشی
- امواج گرانشی
- مباحث ویژه نظریه میدان در فضا-زمان خمیده



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۵۰ درصد

آزمون پایان نیم‌سال ۵۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۶. S. M. Carroll, "Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity", (Addison-Wesley, ۲۰۰۳).
۷. C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler, "Gravitation", (Princeton University Press, ۲۰۱۷)
۸. R. M. Wald, "General Relativity", (University of Chicago Press; ۱۹۸۴).
۹. M. Guidry, "Modern General Relativity: Black Holes, Gravitational Waves, and Cosmology", (Cambridge University Press; ۲۰۱۹).
۱۰. M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, A. N. Lasenby, "General Relativity: An Introduction for Physicists", (Cambridge University Press; ۲۰۰۶).





عنوان درس به فارسی:		کیهان شناسی ۱	
عنوان درس به انگلیسی:		Cosmology ۱	
دروس پیش نیاز:	-	نوع درس و واحد	پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>
دروس هم نیاز:	-		تخصصی <input checked="" type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>
تعداد واحد:	۴		اختیاری <input type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/>
تعداد ساعت:	۶۴		رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

این درس یکی از مبانی اصلی زمینه‌ی پژوهشی نجوم-کیهان‌شناسی و گرانش است. در این درس به بررسی تحول کیهان، مولفه‌های تشکیل دهنده، و تاریخچه‌ی گرمایی آن پرداخته می‌شود. هم‌چنین شرایط اولیه‌ی کیهان و تشکیل ساختار مطالعه می‌شود.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- کیهان منبسط‌شونده
- معادله‌های حاکم بر تحول کیهان: معادله‌های اینشتین و بولتزمان
- تاریخچه‌ی گرمایی کیهان و هسته‌زایی اولیه
- نظریه‌ی اختلال در کیهان‌شناسی
- تورم
- تابش زمینه‌ی کیهان
- تشکیل ساختار خطی
- ماده و انرژی تاریک
- مشاهدات رصدی و کیهان‌شناسی نظری

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. S. Dodelson and F. Schmidt, *Modern Cosmology* (Academic Press, ۲۰۲۱).
۲. S. Weinberg, *Cosmology* (Oxford University Press, ۲۰۰۸).
۳. V. Mukhanov, *Physical Foundation of Cosmology* (Cambridge University Press, ۲۰۰۵).



کیهان‌شناسی ۲		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی:	
Cosmology ۲			
نظری ■	پایه □	-	دروس پیش‌نیاز:
عملی □	تخصصی ■	-	دروس هم‌نیاز:
نظری-عملی □	اختیاری □	۴	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه □		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

درس کیهان‌شناسی ۲ درس مقطع دکتری در ادامه درس کیهان‌شناسی ۱ به تعمیق مفاهیم ارائه شده در کیهان‌شناسی مدل استاندارد می‌پردازد. به طور خاص دو موضوع فیزیک تابش زمینه کیهان و تشکیل ساختار بررسی می‌شود. در این راستا شرایط اولیه کیهان و مدل‌های تورمی، نظریه اختلال خطی و تشکیل ساختار غیرخطی بررسی می‌شود. همگرایی گرانشی در مقیاس کیهانی و ارتباط مشاهده پذیرهای کیهانی با نظریه مدل استاندارد نیز در این درس واکاوی می‌شود.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای فعالیت‌های پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- شرایط اولیه کیهان و مدل‌های تورمی
- نظریه اختلال و تشکیل ساختار خطی
- تابش زمینه کیهان
- قطبش تابش زمینه کیهان
- مشاهده پذیرهای کیهانی و تشکیل ساختار
- همگرایی گرانشی و برش کیهانی
- روش‌های آماری در کیهان‌شناسی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۵۰ درصد

آزمون پایان نیم‌سال ۵۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. S. Dodelson, F. Schmidt, “*Modern Cosmology*”, (۲nd Edition by Academic Press; ۲۰۲۰).
۲. S. Weinberg, “*Cosmology*”, (Oxford University Press; ۲۰۰۸).
۳. V. Mukhanov, “*Physical Foundations of Cosmology*”, (Cambridge University Press; ۲۰۰۵).
۴. D. Baumann, “*Cosmology*” (Cambridge University Press; ۲۰۲۲).



مقولات ویژه در اختر فیزیک		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Special topics in Astrophysics	عنوان درس به انگلیسی:
<input type="checkbox"/> پایه <input checked="" type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش نیاز:
<input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/> عملی	-	دروس هم نیاز:
<input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> نظری-عملی	۴	تعداد واحد:
<input type="checkbox"/> رساله / پایان نامه	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

**هدف کلی:**

هدف کلی این درس آمادگی دانشجویان با پژوهش در خط مقدم موضوعات پژوهشی روز در اختر فیزیک است. مباحث ویژه در پرتوهای کیهانی، نجوم رادیویی، تشکیل و تحول کهکشان ها و اخترزیست شناسی مرزهای دانش در این حوزه هستند که در این درس به آن ها پرداخته می شود.

**اهداف ویژه:**

۱- کسب آمادگی لازم برای فعالیت های پژوهشی

**پ) مباحث یا سرفصل ها:**

- آشکارسازی پرتوهای کیهانی و منابع آن (کهکشانی و فراکهکشانی)
- منابع پرانرژی در کیهان (فورانگرها، هسته های کهکشانی فعال و ...)
- نجوم رادیویی (آشکارسازی و ارتباط آن با تشکیل و تحول کهکشان ها و کیهان شناسی)
- تشکیل و تحول کهکشان ها
- همگرایی گرانشی: ریزهمگرایی، همگرایی گرانشی ضعیف و قوی
- فیزیک خورشید
- سیارات فراخورشیدی
- اخترزیست شناسی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۷۰ درصد  
آزمون پایان نیم‌سال ۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. C. Grupen, “*Astroparticle Physics*”, (۲nd Edition, Springer; ۲۰۲۰).
۲. H. Perkins, “*Particle Astrophysics*”, (Oxford University Press; ۲nd edition, ۲۰۰۹).
۳. H. Mo, F. van den Bosch, S. White, “*Galaxy Formation and Evolution*”, (Cambridge University Press; ۲۰۱۰).
۴. S. Dodelson, “*Gravitational Lensing*”, (Cambridge University Press; ۲۰۱۷).
۵. P. Schneider, C. Kochanek, “*Gravitational Lensing: Strong, Weak and Micro*”, (Springer; ۲۰۰۶th edition, ۲۰۰۶).
۶. T. Bruce, “*Physics of the Interstellar and Intergalactic Medium*”, (Princeton University Press ۲۰۱۱).
۷. J. J. Condon, S. M. Ransom, “*Essential Radio Astronomy*”, (Princeton University Press ۲۰۱۶).
۸. Muriel Gargaud, Hervé Martin, Purificación López-García, Thierry Montmerle, Robert Pascal, “*Young Sun, Early Earth and the Origins of Life: Lessons for Astrobiology*”, (Springer; ۲۰۱۳).
۹. P. Ulmschneider, “*Intelligent Life in the Universe: Principles and Requirements Behind Its Emergence*”, (Springer ۲۰۱۳).
۱۰. M. Stix, “*The Sun*” (Springer; ۲nd edition, ۲۰۰۴).



مقولات ویژه در کیهان‌شناسی		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Special Topics in Cosmology	عنوان درس به انگلیسی:
<input type="checkbox"/> پایه <input checked="" type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش‌نیاز:
<input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/> تخصصی	-	دروس هم‌نیاز:
<input type="checkbox"/> نظری-عملی <input checked="" type="checkbox"/> اختیاری	۴	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه <input type="checkbox"/>	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

هدف کلی این درس آمادگی دانشجویان با پژوهش در خط مقدم موضوعات پژوهشی روز در کیهان‌شناسی است. سوالات بنیادی مانند مسئله انرژی تاریک، ماده تاریک و شرایط اولیه کیهان زیربنای مباحث مطرح شده در این درس است.

### اهداف ویژه:

۱- کسب آمادگی لازم برای فعالیت‌های پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- فیزیک کیهان اولیه، مدل‌های تورمی و جایگزین
- مسئله ماده تاریک، مشاهدات
- مسئله ماده تاریک، مدل‌های نظری (مدل‌های فراتر از مدل استاندارد ذرات)
- مسئله ماده تاریک، مدل‌های نظری (گرانش تعمیم یافته)
- انرژی تاریک و مشاهدات
- مدل‌های نظری انرژی تاریک
- تشکیل و تحول کهکشان‌ها و ساختارهای کیهانی
- مشاهدات کیهانی (همگرایی گرانشی، اثرات زکس-وولف، برش کیهانی، ارتباط ماده باریونی و تاریک و ...)

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۷۰ درصد  
آزمون پایان نیم‌سال ۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. L. Amendola, S. Tsujikawa, “*Dark Energy: Theory and Observations*”, (Cambridge University Press; ۲۰۱۰).
۲. H. Mo, F. van den Bosch, S. White, “*Galaxy Formation and Evolution*”, (Cambridge University Press; ۲۰۱۰).
۳. S. Dodelson, “*Gravitational Lensing*”, (Cambridge University Press; ۲۰۱۷).
۴. S. Dodelson, F. Schmidt, “*Modern Cosmology*”, (۲nd Edition by Academic Press; ۲۰۲۰).
۵. S. Weinberg, “*Cosmology*”, (Oxford University Press; ۲۰۰۸).
۶. V. Mukhanov, “*Physical Foundations of Cosmology*”, (Cambridge University Press; ۲۰۰۵).
۷. D. Baumann, “*Cosmology*” (Cambridge University Press; ۲۰۲۲).
۸. J. Binney, S. Tremaine, “*Galactic Dynamics*”, (Princeton University Press; ۲nd edition, ۲۰۰۸).





اپتیک کوانتومی ۱		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی: Quantum Optics ۱	
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز: -	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز: -	
نظری-عملی □	اختیاری □	تعداد واحد: ۴	
رساله / پایان نامه □		تعداد ساعت: ۶۴	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

این درس یکی از مبانی نظری اصلی برای پژوهش در حوزه اپتیک کوانتومی و فهم و تحلیل پدیده‌ها و آزمایش‌های اپتیک کوانتومی است.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- طبیعت کوانتومی نور
- کوانتس انرژی در مدارهای LC
- کوانتس نور در مدهای کاواک
- کوانتس میدان‌های الکترومغناطیسی
- برهم کنش نور با ماده
- حالت‌های همدوس و چلانده
- حالت‌های درهم تنیده
- کوانتس اپتیک پیرامحوری — تکانه‌ی زاویه‌ای
- ادوات اپتیک خطی
- آشکارسازی فوتون‌ها
- آزمایش‌ها در اپتیک خطی



• برهم کنش نور همدوس با اتم

• الکترو دینامیک کوانتومی کاواک

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. J. C. Garrison and R. Y. Chiao, *Quantum Optics* (Oxford University Press, ۲۰۰۸).
۲. Y. Shih, *An Introduction to Quantum Optics: Photon and Biphoton Physics* (CRC Press, ۲۰۱۱).
۳. D. F. Walls and G. J. Milburn, *Quantum Optics* (Springer, ۲۰۰۸).
۴. C. C. Gerry and P. L. Knight, *Introductory Quantum Optics* (Cambridge University Press, ۲۰۰۴).
۵. M. O. Scully and M. S. Zubairy, *Quantum Optics* (Cambridge University Press, ۱۹۹۷).



اپتیک کوانتومی ۲		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Quantum Optics ۲	عنوان درس به انگلیسی:
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input checked="" type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input type="checkbox"/>		تعداد واحد: ۴
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		تعداد ساعت: ۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

این درس یکی از مبانی نظری اصلی برای پژوهش در حوزه اپتیک کوانتومی و فهم و تحلیل پدیده‌ها و آزمایش‌های اپتیک کوانتومی است.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- اپتیک کوانتومی غیر خطی
- نوفه‌ی کوانتومی و تلفات
- حالت‌های غیر کلاسیکی نور
- تقویت کننده‌های خطی نور
- توموگرافی کوانتومی
- معادله‌ی اساسی (master equation) و معادله‌ی لانژون (Langevin)
- نامساوی بل و آزمون اپتیک کوانتومی آن
- اطلاعات کوانتومی در بستر اپتیک کوانتومی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. J. C. Garrison and R. Y. Chiao, *Quantum Optics* (Oxford University Press, ۲۰۰۸).
۲. E. Hanamura, Y. Kawabe, and A. Yamanak, *Quantum Nonlinear Optics* (Springer, ۲۰۰۷).
۳. S. Barnett and P. Radmore, *Methods in Theoretical Quantum Optics* (Oxford University Press, ۲۰۰۲).
۴. D. F. Walls and G. J. Milburn, *Quantum Optics* (Springer, ۲۰۰۸).
۵. M. Orszag, *Quantum Optics: Including Noise Reduction, Trapped Ions, Quantum Trajectories, and Decoherence* (Springer, ۲۰۱۶).



لیزر پیشرفته ۲		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Femtosecond Laser Pulses	عنوان درس به انگلیسی:
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input checked="" type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input type="checkbox"/>	۴	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

این درس به بررسی نظری و تجربی لیزرهای فمتوثانیه در زمینه‌های کاربردی جدید می‌پردازد. هدف اصلی یادگیری و آشنایی با پالس‌های آتوثانیه اکنون در حوزه‌ی طیفی X-UV تولید می‌شوند، و کنترل منسجم رویدادهای شیمیایی اکنون با تنظیم شکل پالس‌های فمتوثانیه می‌باشد که می‌تواند به شناخت عمیق و ایجاد زمینه‌ی مناسب در علم پالس‌های فمتوثانیه پرداخته می‌شود.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مبانی لیزر
- اپتیک پالسی
- روش‌های تولید پالس‌های لیزری فوق کوتاه: حالت قفل کردن
- روش‌های بیشتر برای تولید پالس‌های نوری فوق کوتاه
- لیزرهای نیمه‌رسانای پالسی
- نحوه‌ی دست‌کاری و تغییر ویژگی‌های پالس لیزر
- نحوه‌ی اندازه‌گیری ویژگی‌های پالس لیزر
- روش‌های طیف‌سنجی برای تجزیه و تحلیل دینامیک نمونه
- اثرات منسجم در طیف‌سنجی فمتوثانیه: تصویری ساده با استفاده از معادله‌ی بلوخ
- پالس فمتوثانیه‌ی تر اهرتر
- کنترل منسجم در اتم‌ها، مولکول‌ها، و جامدات
- پالس آتوثانیه



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. C. Rullière (Ed.), *Femtosecond Laser Pulses: Principles and Experiments* (Springer, ۲۰۰۵).

۲. G. D. Mahan, *Many-Particle Physics* (Springer, ۲۰۰۰).

۳. M. Uesaka (Ed.), *Femtosecond Beam Science* (Imperial College Press, ۲۰۰۵).



اپتیک غیر خطی		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Nonlinear Optics	عنوان درس به انگلیسی:
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input checked="" type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input type="checkbox"/>		تعداد واحد:
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		تعداد ساعت:
		۴
		۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

این درس به بررسی نظری آثار غیرخطی مواد معدنی شفاف هنگام عبور نور با شدت زیاد از آن‌ها می‌پردازد. هدف اصلی آشنایی با پارامترهای اپتیکی غیرخطی و یادگیری روش‌های حل معادله‌های انتشار نور در این مواد است. این موضوع هم از الکترومغناطیس کلاسیکی و هم از نظر فیزیک کوانتومی (تا آن‌جا که نیاز باشد) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ادامه به چند پدیده‌ی غیرخطی از جمله انواع پراکندگی نور و اثر الکترواپتیکی پرداخته می‌شود. در طول درس به کاربردهای هر کدام از مطالبی که به آن پرداخته شده نیز اشاره می‌شود.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- پذیرفتاری<sup>۲</sup> غیرخطی
- توصیف معادله‌ی موج برهم کنش‌های نوری غیرخطی
- نظریه‌ی کوانتومی پذیرفتاری غیرخطی
- بستگی ضریب شکست به شدت نور
- منشاء مولکولی پاسخ نوری غیرخطی
- اپتیک غیرخطی در تقریب دوترازی
- فرآیندهای ناشی از ضریب شکست وابسته به شدت
- پراکندگی نور خودبخودی و آکوستو اپتیک



• پراکندگی بریلوئن و رایلی تحریک شده

• پراکندگی تحریک شده رامان و رایلی-وینگ (Rayleigh-Wing)

• اثر الکترواپتیکی و اثر فوتورینرکتیو (انکساری نوری)

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم سال ... درصد

آزمون پایان نیم سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. R. Boyd, *Nonlinear Optics* (Academic Press, ۲۰۰۸).

۲. Y. R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics* (Wiley, ۲۰۰۳).





طیف سنجی لیزری		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		Laser Spectroscopy	
نظری <input checked="" type="checkbox"/>	پایه <input type="checkbox"/>	-	
عملی <input type="checkbox"/>	تخصصی <input type="checkbox"/>	-	
نظری-عملی <input type="checkbox"/>	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	۴	
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		۶۴	
		تعداد واحد:	
		تعداد ساعت:	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

در این درس مقدمه‌ای بر تکنیک‌ها و ابزار دقیق در طیف‌سنجی لیزری بحث می‌شود. سپس به بررسی مفاهیم اساسی جذب و گسیل نور، ابزارهای طیف‌سنجی اندازه‌گیری طول موج و تشخیص نور و ویژگی‌های طیف‌سنجی لیزر پرداخته خواهد شد. هم‌چنین تکنیک‌های مختلف طیف‌سنجی لیزری و کاربردهای آن‌ها را از نظر فیزیکی بررسی می‌کنیم.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- جذب و انتشار نور
- عرض‌ها و مشخصات خطوط طیفی
- ابزارهای طیف‌سنجی
- لیزرها به‌عنوان منبع‌های نور طیف‌سنجی
- طیف‌سنجی فلورسانس و جذب محدود داپلر با لیزر
- طیف‌سنجی غیرخطی
- طیف‌سنجی لیزری رامان
- طیف‌سنجی لیزری در پرتوهای مولکولی
- تکنیک‌های پمپاژ نوری و تشدید دو گانه
- طیف‌سنجی لیزری با تفکیک زمانی
- طیف‌سنجی منسجم



• طیف‌سنجی لیزری فرآیندهای برخورد

• پیشرفت‌های جدید در طیف‌سنجی لیزری

• کاربردهای طیف‌سنجی لیزری

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. W. Demtröder, *Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation* (Springer, ۲۰۰۲).



اندرکنش لیزر و پلاسما		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Laser-Plasma Interaction	عنوان درس به انگلیسی:
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>		تعداد واحد:
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		تعداد ساعت:
		۴
		۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

در این درس پیش از توصیف شتاب دهنده های ذرات جدید، علم و فناوری پشت اشتعال و سوختن سوخت همجوشی منفجر شده بررسی می شود. سپس بر کاربردهای منابع پرتو پرتو ایکس و توسعه ی لیزرهای پرتو ایکس تمرکز خواهد شد. هم چنین در مورد چگونگی استفاده از لیزرهای با توان فوق العاده در کاربردهای فیزیک ذرات بنیادی و هسته ای و هم چنین چگونگی استفاده از چگالی توان بالای برهم کنش های لیزر-پلاسما برای مطالعه ی ماده در شرایط شدید بحث می شود.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

• انرژی همجوشی اینرسی

• شتاب دهنده ها

• منبع های پرتو ایکس

• لیزرهای پرتو ایکس

• فیزیک هسته ای و ذرات با لیزرهای فوق شدید

• معادله های حالت

• پردازش مواد با لیزر فمتوثانیه

• نانوذرات القاشده توسط لیزرهای فمتوثانیه

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. S. Eliezer and K. Mima (Eds.), *Applications of Laser-Plasma Interactions* (CRC Press, ۲۰۱۹).



مقولات ویژه در مخابرات کوانتومی		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		Special Topics in Quantum Communications	
<input type="checkbox"/> پایه	<input checked="" type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش نیاز:
<input type="checkbox"/> تخصصی	<input type="checkbox"/> عملی	-	دروس هم نیاز:
<input checked="" type="checkbox"/> اختیاری	<input type="checkbox"/> نظری-عملی	۴	تعداد واحد:
<input type="checkbox"/> رساله / پایان نامه		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

در این درس مباحثی از مخابرات کوانتومی و نقش و اهمیت آن‌ها با توجه به پیشرفت‌های اخیر نظری و تجربی بررسی می‌شود.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مروری کوتاه بر مخابرات کلاسیک
- پروتوکل‌های رمزنگاری کوانتومی
- رمزنگاری با استفاده از حالت‌های گسسته
- رمزنگاری با استفاده از حالت‌های پیوسته
- مولد نور کوانتومی به ویژه تک فوتون
- آشکارسازهای تک فوتونی
- آشکارسازهای هتروداین
- خطوط انتقال کوانتومی
- حمله‌ها به خطوط کوانتومی
- معرفی ادوات نوری و تاثیر آن‌ها برای ایجاد حمله (چگونگی محقق‌سازی بعضی پروتوکل‌ها)



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

مراجع این درس با گذر زمان تغییر می‌کند و لذا با نظر استاد درس تعیین خواهد شد.



پدیده‌های بحرانی		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد	Critical Phenomena	عنوان درس به انگلیسی:	
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش‌نیاز:	
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input checked="" type="checkbox"/>	-	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input type="checkbox"/>		۴	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه <input type="checkbox"/>		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

رفتارهای بحرانی یکی از مرکزی‌ترین ایده‌های فیزیک آماری است که در توصیف پدیده‌های مختلف زیادی به کار می‌آید. برای توصیف گذر فازها، رفتارهای توانی و مقیاسی و همچنین خاصیت‌های جهان‌شمولی نماهای مقیاسی، نیاز به پرداخت نظریه‌ای بزرگ و کامل است. در این درس به توصیف این رفتارها و معرفی مدل‌های مناسب برای توصیف این رفتارها پرداخته می‌شود، از جمله نظریه‌ی لاندائو-گینزبورگ و بازهنجارش.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- توصیف کلی رفتارهای دیده‌شده در گذر فاز
- حل مدل‌های ساده برای گذر فاز مانند مدل آیزینگ یک‌بعدی
- حل میدان میانگین و به‌دست آوردن نماهای مقیاسی
- نظریه‌ی لاندائو-گینزبورگ
- نقش افت‌وخیزها در نظریه‌ی لاندائو-گینزبورگ
- ایده‌های مقیاسی و بازهنجارش
- بازهنجارش در فضای مکان، مثال‌هایی مانند مدل آیزینگ
- مقدماتی بر بازهنجارش در فضای تکانه، بسط اپسیلون و بازهنجارش ویلسونی
- مدل‌های مختلف از جمله مدل کاسترلیتز-تالس



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. N. Goldenfeld, *Lectures on Phase Transitions and the Renormalization Group* (CRC Press, ۲۰۱۹).
۲. J. J. Binney, N. J. Dowrick, A. J. Fisher, and M. E. J. Newman, *The Theory of Critical Phenomena: An Introduction to the Renormalization Group* (Oxford University Press, ۱۹۹۲).





نظریه میدان آماری		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Statistical Field Theory	عنوان درس به انگلیسی:
<input type="checkbox"/> پایه <input checked="" type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش نیاز:
<input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/> تخصصی	-	دروس هم نیاز:
<input type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری	۴	تعداد واحد:
<input type="checkbox"/> رساله / پایان نامه	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

برای توصیف دستگاه‌های آماری روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از قدرتمندترین ابزارهایی که در فیزیک داریم، ابزار نظریه میدان است. این ابزار را می‌شود برای توصیف مسائل مختلفی در دستگاه‌های آماری استفاده کرد، از جمله در توصیف گذر فازها. در این درس استفاده از این ابزار در دستگاه‌های آماری ارائه می‌شود.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مروری بر مدل‌های ساده‌ی فیزیک آماری
- تبدیل مدل‌های آماری به نظریه‌ی میدان آماری
- بسط‌های دمای پایین و بالای مدل آیزینگ
- نظریه‌ی لاندائو-گینزبورگ
- توصیف فرمیونی از مدل آیزینگ
- بازهنجارش در فضای تکانه
- مدل  $O(n)$  و بوزون‌های گلدستون
- مقدمه‌ای بر نظریه‌ی میدان همدیس

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. E. Brézin, *Introduction to Statistical Field Theory* (Cambridge University Press, ۲۰۱۰).
۲. G. Mussardo, *Statistical Field Theory: An Introduction to Exactly Solved Models in Statistical Physics* (Oxford University Press, ۲۰۱۰).



نظریه میدان همدیس		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Conformal Field Theory	عنوان درس به انگلیسی:
نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>		تعداد واحد: ۴
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		تعداد ساعت: ۶۴

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

در قسمت‌های مختلفی از فیزیک، از جمله گذر فازها و هم‌چنین نظریه‌هایی مانند نظریه ریسمان، علاوه بر تقارن‌های معمول فضا زمانی، تقارن مقیاس هم دیده می‌شود. به خاطر وجود تقارن بزرگ مقیاس، به ویژه در دو بعد، حل‌های دقیقی از مسائلی پیچیده در دست است که هم درک بهتری از فیزیک مسئله به ما می‌دهد و هم این امکان را می‌دهد که به طبقه‌بندی گذر فازها پردازیم.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- تقارن همدیس
- گروه موبیوس، جبر ویت
- تقارن مقیاس و تقارن همدیس، تانسور انرژی-تکانه
- توابع همبستگی و بسط ضرب عملگرها
- حالت‌های ورودی و خروجی
- فاکتورپذیری
- اتحاد وارد همدیس
- جبر ویراسورو و بار مرکزی
- نمایش‌های جبر ویراسورو
- بردارهای تُهی



• مدل‌های مینیمال و RCFT

• تقارن آجری و نظریه‌ی میدان همدیس روی چنبره

• گاز کولنی

• نظریه‌ی میدان همدیس لگاریتمی

• نظریه‌ی میدان همدیس لگاریتمی  $c = -2$

• تپه‌ی شنی و نظریه‌ی لگاریتمی  $c = -2$

• نظریه‌ی میدان همدیس و قضیه‌ی C

• نظریه‌ی میدان همدیس و مدل‌های انتگرال

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. P. Di Francesco, P. Mathieu, and D. Sénéchal, *Conformal Field Theory* (Springer, ۲۰۱۲).

۲. S. V. Ketov, *Conformal Field Theory* (World Scientific, ۱۹۹۵).

۳. M. Henkel and D. Karevski (Eds.), *Conformal Invariance: An Introduction to Loops, Interfaces and Stochastic Loewner Evolution* (Springer, ۲۰۱۲).

۴. M. R. Gaberdiel and P. Goddard, "Axiomatic conformal field theory," *Commun. Math. Phys.* ۲۰۹, ۵۴۹ (۲۰۰۰).

۵. A. N. Schellekens, "Introduction to conformal field theory," *Fortschr. Phys.* ۴۴, ۶۰۵ (۱۹۹۶).



فرآیندهای تصادفی		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد	Stochastic Processes	عنوان درس به انگلیسی:
<input type="checkbox"/> پایه <input checked="" type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش نیاز:
<input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/> تخصصی	-	دروس هم نیاز:
<input type="checkbox"/> نظری-عملی <input checked="" type="checkbox"/> اختیاری	۴	تعداد واحد:
<input type="checkbox"/> رساله / پایان نامه	۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

بسیاری از پدیده‌های اطراف عواملی در خود دارند که به‌طور صریح نمی‌توان محاسبه یا اندازه‌گیری کرد. به‌ناچار آن‌ها را به عنوان نوفه در نظر می‌گیریم و در نتیجه نیاز داریم رفتار دستگاه‌های دینامیکی را در حضور نوفه بررسی کنیم. پدیده‌ها و دستگاه‌های زیادی در این چارچوب می‌گنجند، مثلاً رفتارهای آب و هوایی، حرکت‌های گرمایی درشت‌مولکول‌ها، تحول‌های مواد زیستی، بازارهای مالی و ... به همین دلیل، داشتن این ابزار بسیار مهم و حیاتی است. در این درس ابزارهای پیشرفته‌ی این حیطه و کاربردهای آن‌ها ارائه می‌شود.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مقدمات احتمال و رشته‌های تصادفی
- فرآیندهای مارکوف، معادله‌ی چپمن-کولموگروف
- بسط کرامرز-مویال، معادله‌ی فوکر-پلانک
- معادله‌ی لانژون و فرآیند وینر
- آنالیز ایتو و استراتونویچ
- کاربردهای مختلف معادله‌های استوکستیک
- نوفه‌ی لوی
- فرآیندهای پرش دار



ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. M. R. Rahimi Tabar, *Analysis and Data-Based Reconstruction of Complex Nonlinear Dynamical Systems* (Springer, ۲۰۱۹).

۲. N. G. Van Kampen, *Stochastic Processes in Physics and Chemistry*, Vol. ۱ (Elsevier, ۱۹۹۲).



عنوان درس به فارسی:		فیزیک مواد نرم	
عنوان درس به انگلیسی:		Soft Matter Physics	
دروس پیش نیاز:	-	پایه <input type="checkbox"/>	نظری <input checked="" type="checkbox"/>
دروس هم نیاز:	-	تخصصی <input type="checkbox"/>	عملی <input type="checkbox"/>
تعداد واحد:	۴	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	نظری-عملی <input type="checkbox"/>
تعداد ساعت:	۶۴	رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

بسیاری از مواد نه در دسته جامدات می گنجند و نه در دسته مایعات، با این که حجم به نسبت مشخصی دارند. مهم ترین آن ها شاید مواد زیستی باشند. شناخت خواص مختلف آن ها بسیار می تواند به توصیف انواع پدیده هایی که در این مواد رخ می دهد کمک کند. گذر فازهای متعدد و جذابی در این مواد وجود دارد، مانند گذر فازهای بلورهای مایع یا سل-ژل. در این درس با خواص مواد نرم و کاربردهایش در پدیده های مختلف فیزیکی زیستی آشنا می شویم.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

- مقدمه ای بر خواص مواد نرم
- مروری بر فیزیک آماری و گذر فازها
- خواص ویسکوالاستیکی مواد
- فیزیک بلورهای مایع و انواع گذر فازهای آن
- فیزیک مواد کلوئیدی
- فیزیک بسپارها (پلیمرها)
- گذر فاز ژل شدن

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

- فعالیت های کلاسی در طول نیم سال ... درصد
- آزمون پایان نیم سال ... درصد



ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. M. Doi, *Soft Matter Physics* (Oxford University Press, ۲۰۱۳).
۲. R. A. L. Jones, *Soft Condensed Matter* (Oxford University Press, ۲۰۰۲).





سیستم های پیچیده		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی:	
<input type="checkbox"/> پایه	<input checked="" type="checkbox"/> نظری	-	دروس پیش نیاز:
<input type="checkbox"/> تخصصی	<input type="checkbox"/> عملی	-	دروس هم نیاز:
<input checked="" type="checkbox"/> اختیاری	<input type="checkbox"/> نظری-عملی	۴	تعداد واحد:
<input type="checkbox"/> رساله / پایان نامه		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

هدف این درس آشنایی با فیزیک سامانه‌های پیچیده و روش‌های تحلیل آن‌هاست. امروزه مباحث میان‌رشته‌ای بسیار مورد توجه است و به نظر می‌رسد آشنایی دانشجویان با چنین مباحثی باعث می‌شود که توانمندی‌هایی در اختیار آن‌ها می‌گذارد که می‌تواند در آینده‌ی کاری و پژوهشی بسیار موثر باشد. یکی از مفهومی‌های مرکزی چنین مباحثی پیچیدگی و سامانه‌های پیچیده است. این مفهوم در سیستم‌های دینامیکی و آشوب، در زیست-فیزیک، در علوم اجتماعی، در علوم اعصاب و بسیاری دیگر از علوم میان‌رشته‌ای یافت می‌شود. در این درس دانشجویان با این مفهوم و کاربرد آن در برخی از این علوم آشنا می‌شود و روش‌های تحلیل آن را خواهند دید.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مقدمه‌ای بر سامانه‌های پیچیده و مثال‌ها
- دینامیک غیرخطی و آشوب
- فرآیندهای تصادفی
- قانون‌های مقیاسی و خودسامان‌دهی بحرانی
- علوم شبکه
- نظریه‌ی تکامل
- نظریه‌ی اطلاعات در سیستم‌های پیچیده

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد  
آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. S. Thurner, R. Hanel, and P. Klimek, *Introduction to the Theory of Complex Systems* (Oxford University Press, ۲۰۱۸)..

۲. J. Tranquillo, *An Introduction to Complex Systems: Making Sense of a Changing World* (Springer, ۲۰۱۹).

۳. C. Gros, *Complex and Adaptive Complex Dynamical Systems: A Primer* (Springer, ۲۰۱۳).



رایانش و اطلاعات کوانتومی ۱		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد	Quantum Computation and Information ۱	عنوان درس به انگلیسی:	
نظری ■ <input type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>	-	دروس پیش نیاز:	
عملی <input type="checkbox"/> تخصصی ■ <input type="checkbox"/>	-	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input type="checkbox"/>	۴	تعداد واحد:	
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>	۶۴	تعداد ساعت:	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

قرن کنونی قرنیه است که در آن توانایی تهیه، کنترل، و اندازه گیری حالت های اتم های منفرد امکان پذیر می شود. این امکان اجازه می دهد که فرآیندهای پردازش و مخابراتی اطلاعات به شکل کاملاً نوینی که متأثر از خصوصیات کاملاً ممتاز کوانتومی است انجام شود و سطح جدیدی از فناوری شکل بگیرد که تاکنون سابقه نداشته است. می توان پیشرفت در این حوزه از فناوری را با اختراع رایانه یا اختراع اینترنت مقایسه کرد. این درس دانشجویان را برای فراگیری این علم و فناوری های ناشی از آن آماده می کند و به آنها کمک می کند که با پیشرفت های روز دنیا هماهنگ باشند.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

- مقدمه ای بر رایانش و اطلاعات کوانتومی
- مبانی ریاضیاتی لازم برای اطلاعات کوانتومی
- ماتریس چگالی
- نظریه ی محاسبه
- فرآیندهای ساده ی پردازش اطلاعات کوانتومی
- الگوریتم های ساده ی کوانتومی
- رایانش برگشت پذیر کلاسیک
- مدارهای کوانتومی
- الگوریتم های کوانتومی جستجو



- الگوریتم کوانتومی برای تجزیه‌ی اعداد
- رایانش کوانتومی توپولوژیک
- رایانش کوانتومی سنجه‌محور
- پیوست یک: مقدمه‌ای بر نظریه‌ی گروه
- پیوست دو: مقدمه‌ای بر نظریه‌ی اعداد
- پیوست سه: مسئله‌ی زیرگروه‌های پنهان

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد  
آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

وحید کریمی‌پور، درس‌نامه‌ی رایانش و اطلاعات کوانتومی، دانشگاه صنعتی شریف  
(<http://physics.sharif.edu/~vahid/teachingQC.html>)

۱. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Information and Quantum Computation* (Cambridge University Press, ۲۰۰۰).
۲. J. Preskill, *Lecture Notes for Physics 229: Quantum Information and Computation*, California Institute of Technology, <http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/>



رایانش و اطلاعات کوانتومی ۲		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی: Quantum Computation and Information ۲	
نظری ■	پایه □	- دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	- دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	۴	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

قرن کنونی قرنی است که در آن توانایی تهیه، کنترل، و اندازه گیری حالت های اتم های منفرد امکان پذیر می شود. این امکان اجازه می دهد که فرآیندهای پردازش و مخابراتی اطلاعات به شکل کاملاً نوینی که متأثر از خصوصیات کاملاً ممتاز کوانتومی است انجام شود و سطح جدیدی از فناوری شکل بگیرد که تاکنون سابقه نداشته است. می توان پیشرفت در این حوزه از فناوری را با اختراع رایانه یا اختراع اینترنت مقایسه کرد. این درس دانشجویان را برای فراگیری این علم و فناوری های ناشی از آن آماده می کند و به آنها کمک می کند که با پیشرفت های روز دنیا هماهنگ باشند.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

- جدایی پذیری و معیارهای درهم تنیدگی
- همبستگی های کوانتومی و اندازه های آن
- ناموضعیات در مکانیک کوانتومی
- نگاشت های مثبت و کاملاً مثبت
- کدهای تصحیح خطای کلاسیکی
- کدهای تصحیح خطای کوانتومی
- اندازه گیری تعمیم یافته
- نظریه ی اطلاعات کلاسیک — فشرده سازی اطلاعات کلاسیکی
- نظریه ی اطلاعات کلاسیک — ظرفیت کانال های کوانتومی



• فاصله و شباهت در مکانیک کوانتومی

• نظریه‌ی اطلاعات کوانتومی — فشرده‌سازی اطلاعات کوانتومی

• نظریه‌ی اطلاعات کوانتومی — ظرفیت‌های کانال‌های کوانتومی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

وحید کریمی‌پور، درس‌نامه‌ی رایانش و اطلاعات کوانتومی، دانشگاه صنعتی شریف  
(<http://physics.sharif.edu/~vahid/teachingQC.html>)

۱. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Information and Quantum Computation* (Cambridge University Press, ۲۰۰۰).

۲. J. Preskill, *Lecture Notes for Physics 229: Quantum Information and Computation*, California Institute of Technology, <http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/>



سیستم‌های کوانتومی باز		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی:	
نظری <input checked="" type="checkbox"/>	پایه <input type="checkbox"/>	Open Quantum Systems	
عملی <input type="checkbox"/>	تخصصی <input type="checkbox"/>	-	
نظری-عملی <input type="checkbox"/>	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	-	
رساله / پایان‌نامه <input type="checkbox"/>		۴	تعداد واحد:
		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

تحول سیستم‌های کوانتومی و کنترل آن نقش کلیدی و مهمی در گستره‌ی وسیعی از مطالعات و پژوهش‌های فیزیک دارد، از جمله مسائلی از نوع انتقال و ترابرد که در فیزیک ماده‌ی چگال مطرح است تا تصحیح خطای کوانتومی که لازمه‌ی پیاده‌سازی پروتوکل‌های رایانش و اطلاعات کوانتومی است. از این رو آشنایی با ابزار ریاضی برای توصیف دقیق تحول سیستم‌های کوانتومی در کلی‌ترین شکل ممکن، لازمه‌ی پژوهش‌های نظری در زمینه‌های یادشده است. در این درس علاوه بر آشنایی با کلی‌ترین شکل تحول، دانشجویان با دسته‌ی مهم و وسیع تحولات کوانتومی مارکوفی آشنا می‌شوند. چهارچوب کلی ارائه‌شده در این درس این امکان را فراهم می‌سازد که دینامیک سیستم‌های فیزیکی متنوعی شامل سیستم‌های اسپینی، اپتیکی، و غیره را بتوان توصیف کرد.

### اهداف ویژه:

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- تحول سیستم کوانتومی بسته
- تحول سیستم کوانتومی باز
- تفسیرهای مختلف کانال‌های کوانتومی
- قضیه‌ی کراس (Krauss)
- ترکیب کانال‌های کوانتومی
- تقسیم‌پذیری کانال‌های کوانتومی
- ساختار محدب مجموعه‌ی کانال‌های کوانتومی
- نقاط اکستریموم مجموعه‌ی کانال‌های کوانتومی و قضیه‌ی چوی (Choi)
- اتساع استاین سپرینگ (Steinspring)



- نگاشت‌های دینامیکی
- نگاشت‌های دینامیکی جهان‌شمول
- تحول‌های مارکوفی کلاسیک
- تحول‌های مارکوفی کوانتومی
- حالت‌های پایای تحول‌های مارکوفی کوانتومی
- معادله‌های ناکاجیما-زوانزیگ (Nakajima-Zwanzig)
- تقریب برهم‌کنش ضعیف
- ترابرد در زنجیره‌های اسپینی باز
- تحولات غیرمارکوفی کوانتومی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. A. Rivas and S. Huelga, *Open Quantum Systems: An Introduction* (Springer, ۲۰۱۲).

۲. H.-P. Breuer and F. Petruccione, *The Theory of Open Quantum Systems* (Oxford University Press, ۲۰۰۲).

۳. M. M. Wilde, *Quantum Information Theory* (Cambridge University Press, ۲۰۱۹).





ترمودینامیک کوانتومی		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی: Quantum Thermodynamics	
نظری <input checked="" type="checkbox"/>	پایه <input type="checkbox"/>	- دروس پیش نیاز:	
عملی <input type="checkbox"/>	تخصصی <input type="checkbox"/>	- دروس هم نیاز:	
نظری-عملی <input type="checkbox"/>	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	۴	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

ترمودینامیک به عنوان دانشی پدیده شناختی و جهان شمول در بیشتر حوزه های فیزیک نقشی محوری بازی می کند. اخیراً با پیشرفت هایی که در حوزه اطلاعات کوانتومی، سیستم های باز کوانتومی، و کنترل سیستم های کوچک مقیاس انجام شده، توجهی دوباره به ترمودینامیک، قانون ها و پیامدهای آن، و مکانیک آماری در رژیم کوانتومی شده است. بررسی نظری مبانی بنیادی و میکروسکوپی مفاهیم و قانون های ترمودینامیکی با توجه به مکانیک کوانتومی و دینامیک سیستم های باز کوانتومی، مانند کار، گرما، دما، رخداد تعادل گرمایی، موتورهای گرمایی کوانتومی، مطالعه ی عمیق تر نقش اطلاعات در ترمودینامیک، و ترمودینامیک محاسبه / رایانش از هدف های این درس است.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

- مروری بر قانون ها و مفاهیم اساسی ترمودینامیک تعادلی و ناتعادلی
- مروری بر مکانیک کوانتومی و نظریه ی اطلاعات کوانتومی
- دینامیک سیستم های کوانتومی باز: معادله های مادر مارکوفی و غیرمارکوفی
- نوعی بودن حالت ها و مشاهده پذیرهای کوانتومی
- ترمودینامیک در رژیم کوانتومی: انتروپی، کار، گرما، دما، فرآیندهای بی دررو، و اصل کُنداوئر
- موتورهای گرمایی کوانتومی: موتور کارنو و موتور اُتو
- فرآیندهای کوانتومی گسسته و پیوسته و ترمودینامیک آن ها
- تعادل گرمایی در سیستم های کوانتومی بسته و باز، فرضیه ی گرمایی شدن ویژه حالت های همیلتونی
- قانون دوم ترمودینامیک: قضیه های افت وخیز کلاسیکی و کوانتومی



• ترمودینامیک سیستم‌ها و فرآیندهای تصادفی: کلاسیکی و کوانتومی

• ترمودینامیک محاسبه/رایانش

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱.F. Binder, L. A. Correa, C. Gogolin, J. Anders, and G. Adesso (Eds.), *Thermodynamics in the Quantum Regime: Fundamental Aspects and New Directions* (Springer, ۲۰۱۸).

۲.J. Gemmer, M. Michel, and G. Mahler, *Quantum Thermodynamics — Emergence of Thermodynamic Behavior within Composite Quantum Systems* (Springer, ۲۰۰۹).

۳.G. Mahler, *Quantum Thermodynamic Processes: Energy and Information Flow at the Nanoscale* (CRC Press, ۲۰۱۴).

۴.G. Kurizki and A. G. Kofman, *Thermodynamics and Control of Open Quantum Systems* (Cambridge University Press, ۲۰۲۲).

۵.P. Strasberg, *Quantum Stochastic Thermodynamics: Foundations and Selected Applications* (Oxford University Press, ۲۰۲۱).

۶.R. Jancel, *Foundations of Classical and Quantum Statistical Mechanics* (Pergamon, ۱۹۶۹).

۷.H.-P. Breuer and F. Petruccione, *The Theory of Open Quantum Systems* (Oxford University Press, ۲۰۰۲).

۸.A. Rivas and S. F. Huelga, *Open Quantum Systems — An Introduction* (Springer, ۲۰۱۲).



ریاضی فیزیک پیشرفته		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		Advanced Mathematical Physics	
پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>		عنوان درس به انگلیسی:	
تخصصی <input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>		دروس پیش نیاز:	
اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/>		دروس هم نیاز:	
رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>		۴	تعداد واحد:
		۶۴	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

**هدف کلی:**

در این درس مبانی ریاضی پیشرفته برای حوزه‌های مختلفی از فیزیک مدرن بررسی می‌شود.

**اهداف ویژه:**

- ۱- آموزش مفاهیم بنیادی
- ۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

**پ) مباحث یا سرفصل‌ها:**

- مقدماتی از فضاهاى متریک و توپولوژیک
- ناوردهای توپولوژیک
- مقدمه‌ای از نظریه‌ی هموتوبی
- مقدمه‌ای از نظریه‌ی همولوژی
- خمینه‌ها
- میدان‌های برداری و فرم‌های دیفرانسیلی و تانسورها
- هندسه‌ی ریمانی (متریک، همبندی، انحنا، ژئودزی‌ها، میدان‌های کیلینگ، ...)
- خمینه‌های مختلط
- کلاف‌های تار و نظریه‌ی پیمانه‌ای

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:



ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ... درصد

آزمون پایان نیم‌سال ... درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. M. Nakahara, *Geometry, Topology and Physics* (IoP Press, ۲۰۰۳).



عنوان درس به فارسی:		فیزیک پرتوهای کیهانی	
عنوان درس به انگلیسی:		Cosmic Ray Physics	
دروس پیش نیاز:	-	پایه <input type="checkbox"/>	نظری <input checked="" type="checkbox"/>
دروس هم نیاز:	-	تخصصی <input type="checkbox"/>	عملی <input type="checkbox"/>
تعداد واحد:	۴	اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>	نظری-عملی <input type="checkbox"/>
تعداد ساعت:	۶۴	رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### هدف کلی:

هدف کلی این درس آشنایی با مفاهیم بنیادی اخترفیزیک ذره‌ای و پرتوهای کیهانی است. ماهیت این درس به صورت خاص در فصل مشترک اخترفیزیک، ذرات بنیادی و کیهان‌شناسی قرار دارد. در این درس مدل استاندارد ذرات، آشکارسازی ذرات پرانرژی و تابش بررسی می‌شود. سازوکار شتاب گرفتن ذرات در کیهان و منشا پرتوهای کیهانی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

### اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای فعالیت‌های پژوهشی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- تاریخچه اختر فیزیک ذره‌ای و پرتوهای کیهانی
- مروری بر مدل استاندارد فیزیک ذرات
- سینماتیک و سطح مقطع برخورد ذرات
- فیزیک آشکارسازهای ذرات و تابش
- سازوکارهای شتاب ذرات
- پرتوهای کیهانی اولیه
- پرتوهای کیهانی ثانویه

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال

۵۰ درصد



ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱۱. C. Grupen, "*Astroparticle Physics*", (۲nd Edition, Springer; ۲۰۲۰).
۱۲. H. Perkins, "*Particle Astrophysics*", (Oxford University Press; ۲nd edition, ۲۰۰۹).

