جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

شورای گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی

برنامه درسی رشته

فیزیک

PHYSICS

دکتری

تهیه‌کنندگان:

دکتر محمد رضا اجتهادی	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف
دکتر محمود بهمن آبادی	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف
دکتر علی رضاخانی	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف
دکتر ندا صدوقی	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف
دکتر مهدی کارگریان	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف
دکتر سامان مقیمی	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف
دکتر علیرضا مشفق	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

فصل اول

مشخصات کلی برنامه درسی

الف) مقدمه

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 پژوهشیِ 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 بگذراند. برای آشنایی و آموزش دانشجویان در مورد به‌روزترین مسائل فیزیک در حوزه‌های پژوهشی یا حوزه‌های میان‌رشته‌ای، درسِ «مطالعه انفرادی» نیز در برنامه‌ی درسی قرار داده شده‌است، 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 پژوهشیِ» تدوین‌شده 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 زمان‌بندی‌شده 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 خواهدشد. طبق این برنامه دانشجویان دکتری در سال اول فرصت کافی دارند تا با درس‌ها و زمینه‌های پژوهشی گوناگون در دانشکده آشنا شوند و بتواند 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 پویاییِ دانشجویان دوره‌ی دکتری فیزیک بوده‌است.

در مجموع برنامه‌ی آموزشی-پژوهشی دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه صنعتی شریف مطابق با تجربه‌های موفق بین‌المللی شکل گرفته و به‌روز شده‌است 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 به‌روزرسانیِ جزئیات برنامه و درس‌ها و فهرست سرفصل‌ها و مراجع آن‌ها ارائه شده است.

کلیاتِ 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 دانشگاه 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 دقیقِ 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 اپتیک 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 نوپَدید طبیعتِ وسیع و میان‌رشته‌ایِ 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 [۱] 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، منعطف‌بودنِ برنامه‌ی درسی و آموزشی یکی از شرط‌های اصلی برای آموزش و پرورش دانشجویانی است که پتانسیل

[۱] برای نمونه: دانشگاه‌های اِم.آی.تی.، هاروارد، اِستنفورد، کَلتِک، پرینستون، بِرکلی، کِیمبریج، آکسفورد، ای.تی.اچ.، کُرنِل، پِنسیلوانیا، آستین تگزاس، مِریلند، شیکاگو، یو.سی.اِل.اِی.، توکیو، و پِکن.

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 این‌حال، 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، به‌تدریج پرورش دانشجویان دکتری در سایر زمینه‌های پژوهشی و حوزه‌های مدرن مربوطه نیز در دستور کار دانشکده‌ی فیزیک قرار گرفت. برای نمونه می‌توان به شکل گیری زمینه‌های پژوهشی تجربی و تاسیس و تجهیز آزمایشگاههای تحقیقاتی مانند فیزیک سطح، فیزیک لایه های 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 موفقیتِ 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 نظریِ گوناگونی را دربرمی‌گیرند. به‌عنوان نمونه، هم‌اکنون برخی از زمینه‌های پژوهشی دانشکده عبارت‌اند از: اپتیک و لیزر، اطلاعات و رایانش کوانتومی، کیهان‌شناسی و اخترفیزیک، سیستم‌های پیچیده، ذرات و انرژی‌های بالا، ماده‌ی چگال (تجربی و نظری)، و حوزه‌های میان‌رشته‌ای. بر اساس روح کلیِ حاکم بر برنامه‌ی دکتری فیزیک در این دانشکده، درجه‌ی دکتری این دانشکده مشخصاً بر روی «فیزیک» است. از این‌رو، تنظیم برنامه‌ی درسی مندرج در فصل دوم و سوم این برنامه درسی بر اساس حوزه‌های مختلف اساساً برای راهنماییِ 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 دست‌کم ۳ درس یا ۱۲ واحد از زمینه‌ی پژوهشی (مطابق جدول ۳ و ۴ و با هماهنگی با استاد راهنما) و ۳ سمینار (به‌شرح زیر) باشد. بنابراین، تعداد واحدهای پایان‌نامه‌ی دکتری فیزیک نیز ۲۲ واحد است. تعداد واحدهای گذرانده‌شده برای شرکت در آزمون جامع دکتری فیزیک دست‌کم 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» (هرکدام ۱-واحدی)، و چهار بار «دستیار آموزشی» (۰-واحدی) ثبت‌نام کنند و آن‌ها را با موفقیت بگذرانند.

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

ملاحظات:

الف) ثبت‌نام دانشجویان دکتری فیزیک در نیم‌سال اول تحصیلی‌شان در درس «سمینار عمومی دکتری» الزامی است.

ب) دانشجویان دکتری فیزیک باید در پنج نیم‌سالِ اول تحصیلیِ 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 عنوانِ درسِ تخصصی در دوره‌ی دکتری یک درسِ «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	*	–	–		–	–	–
٤.	لیزر پیشرفته ۲	۴	*	–	–		–	–	–
٥.	رایانش و اطلاعات کوانتومی ۱	۴	*	–	–		–	–	–
٦.	رایانش و اطلاعات کوانتومی ۲	۴	*	–	–		–	–	–
۷.	نظریه میدان کوانتومی۱	۴	*	–	–		–	–	–
۸.	نظریه میدان کوانتومی۲	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	*	–	–		–	–	–
۱٤.	کیهان شناسی ۱	۴	*	–	–		–	–	–
۱٥.	کیهان شناسی ۲	۴	*	–	–		–	–	–
۱٦.	ماده چگال ۲	۴	*	–	–		–	–	–
۱۷.	فیزیک بس‌ذره ای	۴	*	–	–		–	–	–

جدول (٤)- 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		
.١	طیف‌سنجی لیزری	۴	*	–	–		–	–	–
.٢	اندرکنش لیزر و پلاسما	۴	*	–	–		–	–	–
.٣	مقولات ویژه در مخابرات کوانتومی	۴	*	–	–		–	–	–
.٤	سیستم‌های کوانتومی باز	۴	*	–	–		–	–	–
.٥	ترمودینامیک کوانتومی	۴	*	–	–		–	–	–
.٦	ریاضی فیزیک پیشرفته	۴	*	–	–		–	–	–
.٧	نظریه میدان دمای متناهی	۴	*	–	–		–	–	–
.٨	نظریه ریسمان ۱	۴	*	–	–		–	–	–
.٩	نظریه ریسمان ۲	۴	*	–	–		–	–	–
.١٠	ذرات بنیادی ۲	۴	*	–	–		–	–	–
.١١	ابرتقارن و ابرگرانش	۴	*	–	–		–	–	–
.١٢	دوگانی پیمانه /گرانش	۴	*	–	–		–	–	–
.١٣	سیستم‌های پیچیده	۴	*	–	–		–	–	–
.١٤	فرآیندهای تصادفی	۴	*	–	–		–	–	–
.١٥	نظریه میدان همدیس	۴	*	–	–		–	–	–
.١٦	فیزیک مواد نرم	۴	*	–	–		–	–	–
.١٧	گرانش و نسبیت عام ۲	۴	*	–	–		–	–	–
.١٨	فیزیک پرتوهای کیهانی	۴	*	–	–		–	–	–
.١٩	مقولات ویژه در کیهان شناسی	۴	*	–	–		–	–	–

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

فصل سوم

ویژگی‌های دروس

عنوان درس به فارسی:	فیزیک بس ذره‌ای		
عنوان درس به انگلیسی:	Many-particle Physics		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ■ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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

هدف کلی:

درس فیزیک بس‌ذره‌ای 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:

- کوانتش دوم
- نظریه‌ی اختلال استاندارد برای گاز الکترونی
- روش تابع گرین و دیاگرام‌های فاینمن در دمای صفر
- تقریب هاتری-فوک، پراکندگی و گاز الکترونی تبهگن
- نظریه‌ی پاسخ خطی
- نظریه‌ی میدان در دمای محدود و در حالت تعادل
- تعمیم نظریه‌ی پاسخ خطی به دمای محدود
- فرمول‌بندی انتگرال مسیری سیستم‌های بس‌ذره‌ای
- 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:

1. L. Fetter and J. D. Walecka, *Quantum Theory of Many-Particle Systems* (Cambridge University Press, 2020).
2. G. D. Mahan, *Many-Particle Physics* (Kluwer, 2000).
3. A. Altland and B. Simons, *Condensed Matter Field Theory* (Cambridge University Press, 2010).

عنوان درس به فارسی:	ماده چگال ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	Condensed Matter Physics 1	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٤٨	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 نیمه‌کلاسیکی
- 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:

1. M. P. Marder, *Condensed Matter Physics* (Wiley, 2010).
2. S. M. Girvin and K. Yang, *Modern Condensed Matter Physics* (Cambridge University Press, 2019).
3. G. Grosso and G. P. Parravicini, *Solid State Physics* (Academic Press, 2013).
4. M. El-Batanouny, *Advanced Quantum Condensed Matter Physics — One-Body, Many-Body, and Topological Perspectives* (Cambridge University Press, 2020).
5. P. M. Chaikin and T. C. Lubensky, *Principles of Condensed Matter Physics* (Cambridge University Press, 1995).

عنوان درس به فارسی:	ماده چگال ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	Condensed Matter Physics 2	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٤٨	رساله / پایان‌نامه ☐	

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:

- نیمه‌رساناها
- جایگزیدگی اندرسون
- گاز الکترون با برهم‌کنش (تابع دی‌الکتریک و پلاسمون‌ها)
- نظریه‌ی مایع فِرمی
- توپولوژی، فاز بِری، و عایق‌های توپولوژیکی
- اثر هال کوانتومیِ صحیح
- خواص اپتیکی (کلاسیکی و کوانتومی)
- مغناطش در جامدات
- ابررسانایی: نظریه‌های پدیده‌شناختی، 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:

1-M. Marder, *Condensed Matter Physics* (Wiley, 2010).

2-S. M. Girvin and K. Yang, *Modern Condensed Matter Physics* (Cambridge University Press, 2019).

3-G. Grosso and G. P. Parravicini, *Solid State Physics* (Academic Press, 2013).

4-M. El-Batanouny, *Advanced Quantum Condensed Matter Physics — One-Body, Many-Body, and Topological Perspectives* (Cambridge University Press, 2020).

5-P. M. Chaikin and T. C. Lubensky, *Principles of Condensed Matter Physics* (Cambridge University Press, 1995).

عنوان درس به فارسی:	مقولات ویژه در سیستم‌های الکترونی همبسته قوی		
عنوان درس به انگلیسی:	Special Topics in Strongly Correlated Systems		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه□ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی □ عملی□
تعداد واحد:	٤		اختیاری ■ نظری-عملی□
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه□

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 تبادلی 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 کوانتمی و گذار فازهای توپولوژیک (گذار کاسترلیتز-تالس)
- اثر کوانتمی هال صحیح و کسری (ترازهای لاندائو و توابع موج لافلین)
- روشهای محاسباتی در سیستمهای همبسته قوی (قطری سازی دقیق، روشهای بازبهنجارش و ...)
- آنتروپی 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:

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

عنوان درس به فارسی:	فرایندهای سطح در جامدات		
عنوان درس به انگلیسی:	Solid Surface Processes	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 فصل‌مشترک جامدات مختلف را ارائه خواهدکرد. 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

۱-۲ ویژگی‌ها و خواص سطح

۱-۳ حساسیت سطح

۱-۴ مبانی علوم و فناوری خلأ

۱-۵ روش‌های تمیز کردن سطح

- **نفوذ در سطح**

۲-۱ سینتیک

۲-۲ مکانیزم

۲-۳ 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- لایه‌ای (Frank-van der Merwe)
۴-۲ جزیره- جزیره‌ای (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 نانوساختارهای سلسله مراتبی

- **جامدات متخلخل و تخلخل‌پذیری**

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) به‌وسیله**

۷-۱ باریکه یونی
۷-۲ لیزر
۷-۳ پلاسما

۴-۷ روش‌های سخت کردن سطوح

- **فرآیند پلاسمای سرد**
- **فرآیند الکتروکرومیک**

۹-۱ تحلیل فرآیند

۹-۲ مواد مناسب

۹-۳ معادلات و روش‌های اندازه‌گیری

۹-۴ 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

۱۲-۳ بررسی چند مثال

- **کاربردهای فرآیندهای سطح**

۱۳-۱ پدیده‌های آب‌دوستی/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 نانوساختارهای دوبعدی پساگرافن (TMD ، $g\text{-}C_3N_4$ ، 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:

1. K. Tamara, Dynamic Processes on Solid Surfaces, Springer, (2008).
2. Hans Luth, *Solid Surface, Interface and Thin Films*, Springer (2015).
3. D. Gupta, *Diffusion Processes in Advanced Technological Materials* (2005).
4. Boles, M. A.; Ling, D.; Hyeon, T.; Talapin, D. V. "The Surface Science of Nanocrystals", Nature Materials, 2016, 15, 141-153.
5. R.I. Masel, *Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surface*, (1996).
6. G.A. Somorjai, *Chemistry in Two Dimensions: Surfaces*, Cornell University Press, Ithaca (1981).
7. G.A. Somorjai, *Introduction to Surface Chemistry and Catalysis*, Wiley (1994).
8. John A. Venables, *Introduction to Surface and Thin Film Processes*, Cambridge Univ. Press, (2000). http://venables.asu. edu/grad/appweb1.html.
9. K. Kolasinksi, *Surface Science: Foundations of Catalysis and Nano Science*, Wiley, 3rd, 2012.
10. A. Fujishima, X. Zhang, D. A. Tryk, *"TiO_2 Photocatalysis and Related Surface Phenomena*", Surface Science Report, 63, (2008) 515-582.
11. Bai, S.; Wang, L.; Li, Z.; Xiong, Y. "*Facet-Engineered Surface and Interface Design of Photocatalytic Materials*", Advanced Science, 2017, 4, 1600216
12. A. Z. Moshfegh, *"Nanoparticle Catalysts"*, J. Phys. D: Appl. Phys., 42 (2009) 233001- 233031(**Review Article**).

13.M. Faraji, et al, A. Z. Moshfegh, "*Two-Dimensional Materials in Semiconductor Photoelectrocatalytic Systems for Water Splitting"*, Energy and Environmental Science, 12, (2019), 59-95, (**Review Article**).

14. S. Samadi, A. Z. Moshfegh, *"Heterogeneous Photocatalysis by Organic Materials: from Fundamental to Applications*", in "Current Developments in Photocatalysis and Photocatalytic Materials", Elsevier, (2020), 457- 473, (**Book Chapter**).

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

"Simultaneous Dual-Functional Photocatalysis by g-C3N4-Based

Nanostructures" ACS ES&T Engineering, 2022, Accepted, (**Review Article**).

عنوان درس به فارسی:	نظریه میدان کوانتومی ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	Quantum Field Theory 1	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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
- کوانتومی‌کردن با استفاده از روش انتگرال مسیری
- سیستم‌های مقید
- کنش و پتانسیل مؤثر
- میدان‌های غیرآبلی پیمانه‌ای و تقارنِ BRST
- مدل گلاشو، واینبرگ، و سلام
- کرومودینامیک کوانتومی
- بازبهنجارش کرمودینامیک
- گروه بازبهنجارش
- محاسبه‌ی تابع beta در مرتبه‌ی تک‌حلقه برای الکترودینامیک کوانتومی و کرومودینامیک کوانتومی

- محاسبه‌ی تابع beta با استفاده روش میدان زمینه
- بسط ضرب عمل‌گرها
- 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:

1-M. Peskin and D. Schroeder, *An introduction to Quantum Field Theory* (Western Press, 1995).

2-M. D. Schwartz, *Quantum Field Theory and the Standard Model* (Cambridge University Press, 2015).

3-S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, Vol. 1 (Cambridge University Press, 1995).

4-S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, Vol. 2 (Cambridge University Press, 2005).

عنوان درس به فارسی:	نظریه میدان کوانتومی ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	Quantum Field Theory 2	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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

هدف کلی:

موضوع اصلی این درس مباحث پیشرفته‌تر نظریه‌ی میدان شامل رهیافت انتگرال مسیری، ناهنجاری کوانتومی، و جواب‌های غیراختلالی است.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- انتگرال مسیری، کنش موثر
- ناهنجاری‌های کوانتومی
- جواب‌های غیراختلالی، سالیتون، تک‌قطبی، اینستَنتون، و کینک
- رهیافت ویلسونی به گروه‌های بازبهنجارش‌پذیر

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:

1-M. Peskin and D. Schroeder, *An introduction to Quantum Field Theory* (Western Press, 1995).

2-M. D. Schwartz, *Quantum Field Theory and the Standard Model* (Cambridge University Press, 2015).

3-S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, Vol. 2 (Cambridge University Press, 2008).

4-M. Shifman, *Advanced Topics in Quantum Field Theory: A Lecture Course* (Cambridge University Press, 2012).

عنوان درس به فارسی:	ذرات بنیادی ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	Particle Physics 1		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		نظری ■ پایه □
دروس هم‌نیاز:	-		عملی □ تخصصی ■
تعداد واحد:	٤		نظری-عملی □ اختیاری □
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه □

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 برهم‌کنش‌ها در سطحی بنیادی ارائه می‌دهد. هدف اصلی این درس مطالعه‌ی این مدل و هم‌چنین 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 کوارکی، طعم، و رنگ
- تقارن‌های پیمانه‌ای
- شکست خودبخودیِ تقارن
- مدل استاندارد برهم‌کنش‌های 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:

1-C. P. Burgess, G. D. Moore, *The Standard Model Primer* (Cambridge University Press, 2007).

2-P. Langacker, *The Standard Model and Beyond* (CRC Press, 2017).

3-M. Peskin, *Concepts of Elementary Particle Physics* (Oxford University Press, 2019).

4-M. Thompson, *Modern Particle Physics* (Cambridge University Press, 2013).

عنوان درس به فارسی:	ذرات بنیادی ۲		نوع درس و واحد	
عنوان درس به انگلیسی:	Particle Physics 2		نظری ■	پایه □
دروس پیش‌نیاز:	-		عملی □	تخصصی □
دروس هم‌نیاز:	-		نظری-عملی □	اختیاری ■
تعداد واحد:	٤			
تعداد ساعت:	٦٤			رساله / پایان‌نامه □

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 شده‌است .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:

1.I. Aitchison, *Supersymmetry* (Cambridge University Press, 2007).

2.K. Zuber, *Neutrino Physics* (CRC Press, 2012).

3.R. Mohapatra, *Unification and Supersymmetry* (Springer, 2002).

عنوان درس به فارسی:	نظریه ریسمان ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	String Theory 1	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 می‌نمایاند 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:

- مقدمات گرانش کوانتومی و لزوم پرداختن به نظریه‌ی ریسمان
- مقدماتی از نظریه‌ی میدان همدیس دوبعدی
- ریسمان بوزونی
- کنش نَمبو-گوتو و تقارن‌های آن
- کنش پولیاکف و تقارن‌های آن
- انتگرال مسیر پولیاکف و کوانتش ریسمان بوزونی

- پیمانه‌ی مخروط نوری، قیدهای ویراسورو، و ابعاد بحرانی
- تقارنBRST
- طیف ریسمان باز
- طیف ریسمان بسته
- شامه‌ها و فشرده‌سازی
- D-شامه‌ها
- فشرده‌سازی و اُربیفلدها
- T-دوگانی
- دامنه‌های پراکندگی
- دامنه‌ی پراکندگی ریسمان‌ها
- 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:

1-J. Polchinski, *String Theory*, Vol. 1 (Cambridge University Press, 1998).

2-J. Polchinski, *String Theory*, Vol. 2 (Cambridge University Press, 1998).

3-M. B. Green, J. Schwarz, and E. Witten, *Superstring Theory*, Vol.1 (Cambridge University Press, 1988).

4-M. B. Green, J. Schwarz, and E. Witten, *Superstring Theory*, Vol.2 (Cambridge University Press, 1988).

5-K. Becker, M. Becker, and J. Schwarz, *String Theory and M-Theory* (Cambridge University Press, 2006).

6-B. Zwiebach, *A First Course in String Theory* (Cambridge University Press, 2004).

عنوان درس به فارسی:	نظریه ریسمان ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	String Theory 2	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 می‌نمایاند 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:

- اَبَرریسمان‌ها
- آشنایی با جبر اَبَرتقارنی
- نظریه‌ی میدان همدیس اَبَرمتقارن
- اَبَرریسمان‌ها، قیدهای ویراسوروی اَبَرتقارنی، و ابعاد بحرانی
- طیف نوع I

- طیف نوع II
- ریسمان هتروتیک
- اَبَرگرانش
- فشرده‌سازی در اَبَرریسمان‌ها
- کاهش کالوتزا - کلاین
- فشرده‌سازی روی چنبره
- فشرده‌سازی کَلابی - یائو
- دوگانی‌ها در نظریه‌ی اَبَرریسمان
- سیاه‌چاله‌ها و سیاه‌شامه‌ها در نظریه‌ی اَبَرگرانش
- مقدمات دوگانی پیمانه-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:

1-J. Polchinski, *String Theory*, Vol. 1 (Cambridge University Press, 1998).

2-J. Polchinski, *String Theory*, Vol. 2 (Cambridge University Press, 1998).

3-M. B. Green, J. Schwarz, and E. Witten, *Superstring Theory*, Vol.1 (Cambridge University Press, 1988).

4-M. B. Green, J. Schwarz, and E. Witten, *Superstring Theory*, Vol. 2 (Cambridge University Press, 1988).

5-K. Becker, M. Becker, and J. Schwarz, *String Theory and M-Theory* (Cambridge University Press, 2006).

6-B. Zwiebach, *A First Course in String Theory* (Cambridge University Press, 2004).

عنوان درس به فارسی:	ابر تقارن و ابر گرانش		
عنوان درس به انگلیسی:	Supersymmetry and Supergravity	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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

هدف کلی:

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

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- اَبرتقارن، تبدیلات، جبر و گروه، نمایش‌ها
- اَبرمیدان
- لاگرانژی‌ها و برهم‌کنش‌های اَبرمتقارن
- شکست اَبرتقارن
- اَبرفضا
- اَبرتقارن موضعی، چندتایی اَبرگرانش
- جواب‌های غیراختلالی اَبرمتقارن
- شکست دینامیکی اَبرتقارن
- مباحث پیشرفته، نظریه‌ی Seiberg-Witten، دوگانی Seiberg، اَبرپتانسیل 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:

1-J. Wess, J. Bagger, *Supersymmetry and Supergravity* (Princeton University Press, 1991).

2-J. Turnning, *Modern Supersymmetry* (Oxford University Press, 2010).

3-D. Freedman and A. Van Proeyen, *Supergravity* (Cambridge University Press, 2012).

عنوان درس به فارسی:	دوگانی پیمانه / گرانش		
عنوان درس به انگلیسی:	Gauge/Gravity Duality		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ■ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 عام‌تر دوگانی پیمانه/گرانش، یکی از مهم‌ترین برون‌دادهای نظریه‌ی ریسمان می‌باشد. طبق این دوگانی یک نظریه‌ی میدان پیمانه‌ای با تقارن‌های خاص با یک نظریه‌ی گرانش در یک بعد بالاتر متناظر است، به این معنی که برای محاسبه‌ی کمیت "x" در نظریه‌ی میدان می‌توان موجود هندسی معادل آن "y" در گرانش را محاسبه کرد.اهمیت این موضوع وقتی آشکار می‌شود که توجه کنیم که نظریه‌ی میدان با جفت‌شدگی قوی با یک نظریه‌ی گرانشی کل‌اسیکی متناظر خواهد بود که در کارکردن با آن به‌خوبی توانا هستیم .هدف ما در این درس آشنایی با این دوگانی و کاربردهای آن در کرومودینامیک کوانتومی، فیزیک ماده‌ی چگال، اطلاعات کوانتومی، و غیرو می‌باشد.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مروری بر نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی و نسبیت عام
- نظریه‌ی میدان‌های همدیس
- جواب‌های پاددوسیته‌ی معادله‌های اینشتین
- سیاه‌چاله‌های پاددوسیته و دوگانی AdS/CFT
- اصل بیشینه‌ی آنتروپی، هولوگرافی، و دوگانی پیمانه/گرانش
- کاربرد دوگانی پیمانه/گرانش در کرومودینامیک کوانتومی
- کاربرد دوگانی پیمانه/گرانش در فیزیک ماده چگال
- کاربرد دوگانی پیمانه/گرانش در اطلاعات کوانتومی، آنتروپی درهم‌تنیدگی 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:

1-M. Ammon and J. Erdmenger, *Gauge/Gravity Duality* (Cambridge University Press, 2015).

2-H. Nastase, *Introduction to the AdS/CFT Correspondence* (Cambridge University Press, 2015).

3-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, 2014).

4-M. Natsuume, *AdS/CFT Duality User Guide* (Springer, 2015).

5-O. Aharony, S. S. Gubser, J. M. Maldacena, H. Ooguri, and Y. Oz, Large *N* field theories, string theory and gravity, Phys. Rep. 323, 183 (2000).

عنوان درس به فارسی:	نظریه میدان دمای متناهی		
عنوان درس به انگلیسی:	Finite Temparature Field Theory	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 بس‌ذره‌ای نسبیتی با استفاده از مفاهیم نظریه‌ی میدان کوانتومی در دمای صفر است. این درس پایه‌ی اصلی برای انجام پژوهش در ارتباط با آزمایش‌های برخوردهای 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
- برهم‌کنش و روش نمودارهای فاینمن
- بازبهنجارش در دمای متناهی
- الکترودینامیک کوانتومی و نمودارهای حلقه
- نظریه‌ی پاسخ خطی و برانگیختگی‌های دسته‌جمعی
- هیدرودینامیک نسبیتی
- روش کوبُو و ضرایب ترابردی
- 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:

1- J. Kapusta and C. Gale, *Finite Temperature Field Theory* (Cambridge University Press, 2006).

2- M. Le Bellac, *Thermal Field Theory* (Cambridge University Press, 1996).

3- A. Das, *Finite Temperature Field Theory* (World Scientific, 1997).

4- K. Yagi, T. Hatsuda, and Y. Miake, *Quark-Gluon Plasma, from Big Bang to Little Bang* (Cambridge University Press, 2005).

5- W. Florkowski, *Phenomenology of Ultra-Relativistic Heavy-Ion Collisions* (World Scientific, 2010).

عنوان درس به فارسی:	گرانش و نسبیت عام ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	Gravity and General Relativity 1		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ■ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 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:

1.S. M. Carroll, *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity* (Cambridge University Press, 2019).

2.M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, A. N. Lasenby, *General Relativity: An Introduction for Physicists* (Cambridge University Press, 2006).

3.S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity* (Wiley, 1972).

عنوان درس به فارسی:	گرانش و نسبت عام ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	Gravity and General Relativity 2		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ■ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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

هدف کلی:

درس گرانش و نسبیت عام ۲ درس مقطع دکتری در ادامه درس شمارهآن۱ به تعمیق مفاهیم ارائه شده در نسبیت عام می‌پردازد. به طور خاص سیاهچاله ها بررسی می‌شود. 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 می‌شود.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- سیاهچاله ها (شوارتزشیلد، کِر، رایسنر نوردشتروم)
- 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:

6. S. M. Carroll, "*Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*", (Addison-Wesley, 2003).
7. C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler, "*Gravitation*", (Princeton University Press, 2017)
8. R. M. Wald, "*General Relativity*", (University of Chicago Press; 1984).
9. M. Guidry, "*Modern General Relativity: Black Holes, Gravitational Waves, and Cosmology*", (Cambridge University Press; 2019).
10. M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, A. N. Lasenby, "*General Relativity: An Introduction for Physicists*", (Cambridge University Press; 2006).

عنوان درس به فارسی:	کیهان شناسی ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	Cosmology 1	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 تشکیل‌دهنده، 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:

1. S. Dodelson and F. Schmidt, *Modern Cosmology* (Academic Press, 2021).
2. S. Weinberg, *Cosmology* (Oxford University Press, 2008).
3. V. Mukhanov, *Physical Foundation of Cosmology* (Cambridge University Press, 2005).

عنوان درس به فارسی:	کیهان‌شناسی ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	Cosmology 2		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ■ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 کیهان شناسی ۱ به تعمیق مفاهیم ارائه شده در کیهان شناسی مدل استاندارد می پردازد. به طور خاص دو موضوع فیزیک تابش زمینه کیهان و تشکیل ساختار بررسی می شود. در این راستا شرایط اولیه کیهان و مدل های تورمی، نظریه اختلال خطی و تشکیل ساختار غیرخطی بررسی می شود. همگرایی گرانشی در مقیاس کیهانی و ارتباط مشاهده پذیرهای کیهانی با نظریه مدل استاندارد نیز در این درس واکاوی می شود.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای فعالیت‌های پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- شرایط اولیه کیهان و مدل های 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
- روش های 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:

1. S. Dodelson, F. Schmidt, "*Modern Cosmology",* (2nd Edition by Academic Press; 2020).
2. S. Weinberg, "*Cosmology*", (Oxford University Press; 2008).
3. V. Mukhanov, "*Physical Foundations of Cosmology*", (Cambridge University Press; 2005).
4. D. Baumann, "*Cosmology*" (Cambridge University Press; 2022).

عنوان درس به فارسی:	مقولات ویژه در اخترفیزیک		
عنوان درس به انگلیسی:	Special topics in Astrophysics		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ■ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 اخترزیست‌شناسی مرزهای دانش در این حوزه هستند که در این درس به آن ها پرداخته می‌شود.

اهداف ویژه:

۱- کسب آمادگی لازم برای فعالیت های پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- 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:

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:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. C. Grupen, "*Astroparticle Physics*", (2nd Edition, Springer; 2020).

2. H. Perkins, "*Particle Astrophysics*", (Oxford University Press; 2nd edition, 2009).

3. H. Mo, F. van den Bosch, S. White, "*Galaxy Formation and Evolution*", (Cambridge University Press; 2010).

4. S. Dodelson, "*Gravitational Lensing*", (Cambridge University Press; 2017).

5. P. Schneider, C. Kochanek, "*Gravitational Lensing: Strong, Weak and Micro*", (Springer; 2006th edition, 2006).

6. T. Bruce, "*Physics of the Interstellar and Intergalactic Medium*", (Princeton University Press 2011).

7. J. J. Condon, S. M. Ransom, "*Essential Radio Astronomy*", (Princeton University Press 2016).

8. Muriel Gargaud, Hervé Martin, Purificación López-García, Thierry Montmerle, Robert Pascal, "*Young Sun, Early Earth and the Origins of Life: Lessons for Astrobiology*", (Springer; 2013).

9. P. Ulmschneider, "*Intelligent Life in the Universe: Principles and Requirements Behind Its Emergence*", (Springer 2013).

10. M. Stix, "*The Sun*" (Springer; 2nd edition, 2004).

عنوان درس به فارسی:	مقولات ویژه در کیهان‌شناسی		
عنوان درس به انگلیسی:	Special Topics in Cosmology	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 کیهان شناسی 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 فعالیت های پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- فیزیک کیهان اولیه، مدل های تورمی و جایگزین
- مسئله ماده تاریک، مشاهدات
- مسئله ماده تاریک، مدل های نظری (مدل های فراتر از مدل استاندار ذرات)
- مسئله ماده تاریک، مدل های نظری (گرانش تعمیم یافته)
- انرژی تاریک و مشاهدات
- مدل های نظری انرژی تاریک
- تشکیل و تحول کهکشان ها 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:

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:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. L. Amendola, S. Tsujikawa, "*Dark Energy: Theory and Observations*", (Cambridge University Press; 2010).

2. H. Mo, F. van den Bosch, S. White, "*Galaxy Formation and Evolution*", (Cambridge University Press; 2010).

3. S. Dodelson, "Gravitational Lensing", (Cambridge University Press; 2017).

4. S. Dodelson, F. Schmidt, "*Modern Cosmology",* (2nd Edition by Academic Press; 2020).

5. S. Weinberg, "*Cosmology*", (Oxford University Press; 2008).

6. V. Mukhanov, "*Physical Foundations of Cosmology*", (Cambridge University Press; 2005).

7. D. Baumann, "*Cosmology*" (Cambridge University Press; 2022).

8. J. Binney, S. Tremaine, "*Galactic Dynamics*", (Princeton University Press; 2nd edition, 2008).

عنوان درس به فارسی:	اپتیک کوانتومی ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	Quantum Optics 1	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 حوزه‌ی 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
- کوانتش انرژی در مدارهای LC
- کوانتش نور در مُدهای کاواک
- کوانتش میدان‌های الکترومغناطیسی
- برهم‌کنش نور با ماده
- حالت‌های همدوس و چلانده
- حالت‌های درهم‌تنیده
- کوانتش اپتیک پیرامحوری ـــ تکانه‌ی زاویه‌ای
- ادوات اپتیک خطی
- آشکارسازی فوتون‌ها
- آزمایش‌ها در اپتیک خطی

- برهم‌کنش نور همدوس با اتم
- الکترودینامیک 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:

1. J. C. Garrison and R. Y. Chiao, *Quantum Optics* (Oxford University Press, 2008).

2. Y. Shih, *An Introduction to Quantum Optics: Photon and Biphoton Physics* (CRC Press, 2011).

3.D. F. Walls and G. J. Milburn, *Quantum Optics* (Springer, 2008).

4. C. C. Gerry and P. L. Knight, *Introductory Quantum Optics* (Cambridge University Press, 2004).

5. M. O. Scully and M. S. Zubairy, *Quantum Optics* (Cambridge University Press, 1997).

عنوان درس به فارسی:	اپتیک کوانتومی ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	Quantum Optics 2	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 حوزه‌ی 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 غیرخطی
- نوفه‌ی کوانتومی و تلفات
- حالت‌های غیرکلاسیکی نور
- تقویت‌کننده‌های خطی نور
- توموگرافی کوانتومی
- معادله‌ی اساسی (master equation) و معادله‌ی لانژون (Langevin)
- نامساوی بِل 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:

1.J. C. Garrison and R. Y. Chiao, *Quantum Optics* (Oxford University Press, 2008).

2.E. Hanamura, Y. Kawabe, and A. Yamanak, *Quantum Nonlinear Optics* (Springer, 2007).

3.S. Barnett and P. Radmore, *Methods in Theoretical Quantum Optics* (Oxford University Press, 2002).

4.D. F. Walls and G. J. Milburn, *Quantum Optics* (Springer, 2008).

5.M. Orszag, *Quantum Optics: Including Noise Reduction, Trapped Ions, Quantum Trajectories, and Decoherence* (Springer, 2016).

عنوان درس به فارسی:	لیزر پیشرفته ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	Femtoscond Laser Pulses		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ■ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 پالس-های 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 فوق‌کوتاه: حالت قفل‌کردن
- روش‌های بیشتر برای تولید پالس‌های نوری فوق‌کوتاه
- 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 فِمتوثانیه‌ی تِراهرتز
- 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:

1.C. Rullière (Ed.), *Femtosecond Laser Pulses: Principles and Experiments* (Springer, 2005).

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

3.M. Uesaka (Ed.), *Femtosecond Beam Science* (Imperial College Press, 2005).

عنوان درس به فارسی:	اپتیک غیرخطی		
عنوان درس به انگلیسی:	Nonlinear Optics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 هرکدام 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[۲] غیرخطی
- توصیف معادله‌ی موج برهم‌کنش‌های 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 آکوستواپتیک

[۲] susceptibility

- پراکندگی بریلوئن و رایلی تحریک‌شده
- پراکندگی تحریک‌شده‌ی رامان و رایلی–وینگ (Rayleigh-Wing)
- اثر الکترواپتیکی و اثر فوتوریفرکتیو (انکساری نوری)

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:

1. R. Boyd, *Nonlinear Optics* (Academic Press, 2008).
2. Y. R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics* (Wiley, 2003).

عنوان درس به فارسی:	طیف سنجی لیزری		
عنوان درس به انگلیسی:	Laser Spectroscopy	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 خواهدشد. هم‌چنین تکنیک‌های مختلف طیف‌سنجی لیزری و کاربردهای آن‌ها را از نظر فیزیکی بررسی می کنیم.

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 دوگانه
- طیف‌سنجی لیزری با تفکیک زمانی

- طیف‌سنجی منسجم
- طیف‌سنجی لیزریِ 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:

1. W. Demtröder, *Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation* (Springer, 2002).

عنوان درس به فارسی:	اندرکنش لیزر و پلاسما		
عنوان درس به انگلیسی:	Laser-Plasma Interaction	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 شتاب‌دهنده‌های ذرات جدید، علم و فناوری پشت اشتعال و سوختن سوخت همجوشی منفجرشده بررسی می‌شود. سپس بر کاربردهای منابع پرتوان پرتو ایکس و توسعه‌ی لیزرهای پرتو ایکس تمرکز خواهدشد. هم‌چنین در مورد چگونگی استفاده از لیزرهای با توان فوق‌العاده در کاربردهای فیزیک ذرات بنیادی و هسته‌ای و هم‌چنین چگونگی استفاده از چگالی توان بالای برهم‌کنش‌های لیزر-پلاسما برای مطالعه‌ی ماده در شرایط شدید بحث می‌شود.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- انرژی همجوشی اینرسی
- شتاب‌دهنده‌ها
- منبع‌های پرتو ایکس
- لیزرهای پرتو ایکس
- فیزیک هسته‌ای و ذرات با لیزرهای فوق‌شدید
- معادله‌های حالت
- پردازش مواد با لیزرِ فمتوثانیه
- نانوذرات القاشده توسط لیزرهای فِمتوثانیه

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:

1.S. Eliezer and K. Mima (Eds.), *Applications of Laser-Plasma Interactions* (CRC Press, 2019).

عنوان درس به فارسی:	مقولات ویژه در مخابرات کوانتومی		
عنوان درس به انگلیسی:	Special Topics in Quantum Communications	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 به‌ویژه تک فوتون
- آشکارسازهای تک‌فوتونی
- آشکارسازهای هِترودایِن
- 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.

عنوان درس به فارسی:	پدیده‌های بحرانی		
عنوان درس به انگلیسی:	Critical Phenomena		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ■ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 به‌کار 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 رفتار ها پرداخته می‌شود، از جمله نظریه‌ی لانداو-گینزبورگ و بازبهنجارش.

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 به‌دست‌آوردن نماهای مقیاسی
- نظریه‌ی لانداو-گینزبورگ
- نقش افت‌وخیزها در نظریه‌ی لانداو-گینزبورگ
- ایده‌های مقیاسی و بازبهنجارش
- بازبهنجارش در فضای مکان، مثال‌هایی مانند مدل آیزینگ
- مقدماتی بر بازبهنجارش در فضای تکانه، بسط اِپسیلون و بازبهنجارش ویلسونی
- مدل‌های مختلف از جمله مدل کاسترلیتز-تالِس

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:

1. N. Goldenfeld, *Lectures on Phase Transitions and the Renormalization Group* (CRC Press, 2019).

2. 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, 1992).

عنوان درس به فارسی:	نظریه میدان آماری		
عنوان درس به انگلیسی:	Statistical Field Theory	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 نظریه‌ی 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 لانداو-گینزبورگ
- توصیف فرمیونی از مدل آیزینگ
- بازبهنجارش در فضای تکانه
- مدل $O(n)$ و بوزون‌های گُلدستون
- 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:

1. E. Brézin, *Introduction to Statistical Field Theory* (Cambridge University Press, 2010).
2. G. Mussardo, *Statistical Field Theory: An Introduction to Exactly Solved Models in Statistical Physics* (Oxford University Press, 2010).

عنوان درس به فارسی:	نظریه میدان همدیس		
عنوان درس به انگلیسی:	Conformal Field Theory	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 نظریه‌ی ریسمان، علاوه بر تقارن‌های معمول فضا زمانی، تقارن مقیاس هم دیده می‌شود. به خاطر وجود تقارن بزرگ مقیاس، به‌ویژه در دو بعد، حل‌های دقیق از مسایلی 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 بپردازیم.

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 ضرب‌عملگرها
- 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 لگاریتمیِ $c = -2$
- تپه‌ی شنی و نظریه‌ی لگاریتمیِ $c = -2$
- 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:

1. P. Di Francesco, P. Mathieu, and D. Sénéchal, *Conformal Field Theory* (Springer, 2012).

2.S. V. Ketov, *Conformal Field Theory* (World Scientific, 1995).

3.M. Henkel and D. Karevski (Eds.), *Conformal Invariance: An Introduction to Loops, Interfaces and Stochastic Loewner Evolution* (Springer, 2012).

4.M. R. Gaberdiel and P. Goddard, "Axiomatic conformal field theory," Commun. Math. Phys. 209, 549 (2000).

5.A. N. Schellekens, "Introduction to conformal field theory," Fortschr. Phys. 44, 605 (1996).

عنوان درس به فارسی:	فرآیندهای تصادفی		
عنوان درس به انگلیسی:	Stochastic Processes		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ■ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 لِوی
- فرآیندهای پرش‌دار

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:

1. M. R. Rahimi Tabar, *Analysis and Data-Based Reconstruction of Complex Nonlinear Dynamical Systems* (Springer, 2019).

2.N. G. Van Kampen, *Stochastic Processes in Physics and Chemistry*, Vol. 1 (Elsevier, 1992).

عنوان درس به فارسی:	فیزیک مواد نرم		
عنوان درس به انگلیسی:	Soft Matter Physics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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

هدف کلی:

بسیاری از مواد نه در دسته‌ی جامدات می‌گنجند و نه در دسته‌ی مایعات، با این‌که حجم به‌نسبت مشخصی دارند .مهم‌ترین آن‌ها شاید مواد زیستی باشند. شناخت خواص مختلف آن‌ها بسیار می‌تواند به توصیف انواع پدیده‌هایی که در این مواد رخ می‌دهد 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 پدیده‌های مختلف فیزیکی زیستی آشنا می‌شویم.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مقدمه‌ای بر خواص مواد نرم
- مروری بر فیزیک آماری و گذر فازها
- خواص ویسکوالاستیکی مواد
- فیزیک بلورهای مایع و انواع گذرفازهای آن
- فیزیک مواد کلوئیدی
- فیزیک بِسپارها (پلیمرها)
- گذر فاز ژل‌شدن

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:

1. M. Doi, *Soft Matter Physics* (Oxford University Press, 2013).

2. R. A. L. Jones, *Soft Condensed Matter* (Oxford University Press, 2002).

عنوان درس به فارسی:	سیستم های پیچیده		
عنوان درس به انگلیسی:	Complex Systems	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 به‌نظر 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 مفهوم‌های 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 دانشجو با این مفهوم و کاربرد آن در برخی از این علوم آشنا می‌شود و روش‌های تحلیل آن را خواهدید.

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:

1.S. Thurner, R. Hanel, and P. Klimek, *Introduction to the Theory of Complex Systems* (Oxford University Press, 2018)..

2.J. Tranquillo, *An Introduction to Complex Systems: Making Sense of a Changing World* (Springer, 2019).

3.C. Gros, *Complex and Adaptive Complex Dynamical Systems: A Primer* (Springer, 2013).

عنوان درس به فارسی:	رایانش و اطلاعات کوانتومی ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	Quantum Computation and Information 1		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ■ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 اندازه‌گیری حالت‌های اتم‌های منفرد امکان‌پذیر می‌شود. این امکان اجازه می‌دهد که فرآیندهای پردازش و مخابره‌ی اطلاعات به شکل کاملاً نوینی که متاثر از خصوصیات کاملاً ممتاز کوانتومی است انجام شود و سطح جدیدی از فناوری شکل بگیرد که تاکنون سابقه نداشته است. می‌توان پیشرفت در این حوزه از فناوری را با اختراع رایانه یا اختراع اینترنت مقایسه کرد. این درس دانشجویان را برای فراگیری این علم و فناوری‌های ناشی از آن آماده می‌کند و به آن‌ها کمک می‌کند که با پیشرفت‌های روز دنیا هماهنگ باشند.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مقدمه‌ای بر رایانش و اطلاعات کوانتومی
- مبانی ریاضیاتی لازم برای اطلاعات کوانتومی
- ماتریس چگالی
- نظریه‌ی محاسبه
- فرآیندهای ساده‌ی پردازش اطلاعات کوانتومی
- الگوریتم‌های ساده‌ی کوانتومی
- رایانش برگشت‌پذیر کلاسیک
- مدارهای کوانتومی

- الگوریتم‌های 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)

1. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Information and Quantum Computation* (Cambridge University Press, 2000).
2. J. Preskill, *Lecture Notes for Physics 229: Quantum Information and Computation*, California Institute of Technology, http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/

عنوان درس به فارسی:	رایانش و اطلاعات کوانتومی ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	Quantum Computation and Information 2	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ■	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 اندازه‌گیری حالت‌های اتم‌های منفرد امکان‌پذیر می‌شود. این امکان اجازه می‌دهد که فرآیندهای پردازش و مخابره‌ی اطلاعات به شکل کاملاً نوینی که متاثر از خصوصیات کاملاً ممتاز کوانتومی است انجام شود و سطح جدیدی از فناوری شکل بگیرد که تاکنون سابقه نداشته است. می‌توان پیشرفت در این حوزه از فناوری را با اختراع رایانه یا اختراع اینترنت مقایسه کرد. این درس دانشجویان را برای فراگیری این علم و فناوری‌های ناشی از آن آماده می‌کند و به آن‌ها کمک می‌کند که با پیشرفت‌های روز دنیا هماهنگ باشند.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- جدایی‌پذیری و معیارهای درهم‌تنیدگی
- همبستگی‌های کوانتومی و اندازه‌های آن
- ناموضعیت در مکانیک کوانتومی
- نگاشت‌های مثبت و کاملاً مثبت
- کدهای تصحیح خطای کلاسیکی
- کدهای تصحیح خطای کوانتومی
- اندازه‌گیری تعمیم‌یافته
- نظریه‌ی اطلاعات کلاسیک — فشرده‌سازی اطلاعات کلاسیکی
- نظریه‌ی اطلاعات کلاسیک — ظرفیت کانال‌های 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)

1. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Information and Quantum Computation* (Cambridge University Press, 2000).
2. J. Preskill, *Lecture Notes for Physics 229: Quantum Information and Computation*, California Institute of Technology, http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/

عنوان درس به فارسی:	سیستم‌های کوانتومی باز		
عنوان درس به انگلیسی:	Open Quantum Systems	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 این‌رو 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، دانشجو با دسته‌ی مهم و وسیع تحولات کوانتومی مارکوفی آشنا می‌شود. 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 اِکستریموم مجموعه‌ی کانال‌های کوانتومی و قضیه‌ی چوی (Choi)

- اتساعِ استاین‌سپرینگ (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:

1.A. Rivas and S. Huelga, *Open Quantum Systems: An Introduction* (Springer, 2012).

2.H.-P. Breuer and F. Petruccione, *The Theory of Open Quantum Systems* (Oxford University Press, 2002).

3.M. M. Wilde, *Quantum Information Theory* (Cambridge University Press, 2019).

عنوان درس به فارسی:	ترمودینامیک کوانتومی		
عنوان درس به انگلیسی:	Quantum Thermodynamics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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

هدف کلی:

ترمودینامیک به‌عنوان دانشی پدیده‌شناختی و جهان‌شمول در بیشتر حوزه‌های فیزیک نقشی محوری بازی می‌کند. اخیراً با پیشرفت‌هایی که در حوزه‌ی اطلاعات کوانتومی، سیستم‌های باز کوانتومی، و کنترل سیستم‌های کوچک‌مقیاس انجام شده، توجهی دوباره به ترمودینامیک، قانون‌ها و پیامدهای آن، و مکانیک آماری در رژیم کوانتومی شده‌است. بررسی نظریِ مبانی بنیادی و میکروسکوپی مفاهیم و قانون‌های ترمودینامیکی با توجه به مکانیک کوانتومی و دینامیک سیستم‌های باز کوانتومی، مانند کار، گرما، دما، رخداد تعادل گرمایی، موتورهای گرمایی کوانتومی، مطالعه‌ی عمیق‌تر نقش اطلاعات در ترمودینامیک، و ترمودینامیکِ محاسبه/رایانش از هدف‌های این درس است.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای کارهای پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مروری بر قانون‌ها و مفاهیم اساسی ترمودینامیک تعادلی و ناتعادلی
- مروری بر مکانیک کوانتومی و نظریه‌ی اطلاعات کوانتومی
- دینامیک سیستم‌های کوانتومی باز: معادله‌های مادرِ مارکوفی و غیرمارکوفی
- نوعی‌بودنِ حالت‌ها و مشاهده‌پذیرهای کوانتومی
- ترمودینامیک در رژیم کوانتومی: اِنتروپی، کار، گرما، دما، فرآیندهای بی‌دررو، و اصل لَنداوئر
- موتورهای گرمایی کوانتومی: موتور کارنو و موتور اُتو
- فرآیندهای کوانتومی گسسته و پیوسته و ترمودینامیک آن‌ها
- تعادل گرمایی در سیستم‌های کوانتومی بسته و باز، فرضیه‌ی گرمایی‌شدنِ ویژه‌حالت‌های هَمیلتونی

- قانون دوم ترمودینامیک: قضیه‌های افت‌وخیز کلاسیکی و کوانتومی
- ترمودینامیک سیستم‌ها و فرآیندهای تصادفی: کلاسیکی و کوانتومی
- ترمودینامیکِ 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:

1.F. Binder, L. A. Correa, C. Gogolin, J. Anders, and G. Adesso (Eds.), *Thermodynamics in the Quantum Regime: Fundamental Aspects and New Directions* (Springer, 2018).

2.J. Gemmer, M. Michel, and G. Mahler, *Quantum Thermodynamics — Emergence of Thermodynamic Behavior within Composite Quantum Systems* (Springer, 2009).

3.G. Mahler, *Quantum Thermodynamic Processes: Energy and Information Flow at the Nanoscale* (CRC Press, 2014).

4.G. Kurizki and A. G. Kofman, *Thermodynamics and Control of Open Quantum Systems* (Cambridge University Press, 2022).

5.P. Strasberg, *Quantum Stochastic Thermodynamics: Foundations and Selected Applications* (Oxford University Press, 2021).

6.R. Jancel, *Foundations of Classical and Quantum Statistical Mechanics* (Pergamon, 1969).

7.H.-P. Breuer and F. Petruccione, *The Theory of Open Quantum Systems* (Oxford University Press, 2002).

8.A. Rivas and S. F. Huelga, *Open Quantum Systems — An Introduction* (Springer, 2012).

عنوان درس به فارسی:	ریاضی فیزیک پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Mathematical Physics		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	-		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-		تخصصی ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	٤		اختیاری ■ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤		رساله / پایان‌نامه ☐

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 فضاهای متریک و توپولوژیک
- ناورداهای توپولوژیک
- مقدمه‌ای از نظریه‌ی هُموتوپی
- مقدمه‌ای از نظریه‌ی هُمولوژی
- 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:

1. M. Nakahara, *Geometry, Topology and Physics* (IoP Press, 2003).

عنوان درس به فارسی:	فیزیک پرتوهای کیهانی		
عنوان درس به انگلیسی:	Cosmic Ray Physics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	-	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	-	تخصصی ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	٤	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٦٤	رساله / پایان‌نامه ☐	

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 می گیرد.

اهداف ویژه:

۱- آموزش مفاهیم بنیادی

۲- کسب آمادگی لازم برای فعالیت های پژوهشی

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- تاریخچه اختر فیزیک ذره ای 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

آزمون پایان نیم‌سال ۵۰ درصد

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

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

11. C. Grupen, "*Astroparticle Physics*", (2nd Edition, Springer; 2020).
12. H. Perkins, "*Particle Astrophysics*", (Oxford University Press; 2nd edition, 2009).