بسم‌الله الرحمن الرحیم

برنامه درسی

دوره: کارشناسی ارشد

رشته: فیزیک

گرایش: علوم و فناوری کوانتومی

تعداد واحدهای درسی و پژوهشی این دوره ۳۲ واحد به شرح زیر است:

- الزامی مشترک ۹ واحد
- تخصصی الزامی ۶ واحد
- تخصصی اختیاری ۹ واحد
- سمینار و روش تحقیق ۲ واحد
- پایان‌نامه ۶ واحد

جدول دروس الزامی مشترک : ۹ واحد

رشته فیزیک در مقطع کارشناسی ارشد (کلیه گرایش‌ها)

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیش‌نیاز/هم‌نیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	ندارد
۲	الکترودینامیک پیشرفته ۱	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	ندارد
۳	مکانیک آماری پیشرفته ۱	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	ندارد
	جمع کل	۹	-	۹	۱۴۴	-	۱۴۴	

جدول دروس تخصصی الزامی گرایش علوم و فناوری کوانتومی

(مقطع کارشناسی ارشد)

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیش‌نیاز/هم‌نیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	ساختار نظری-اطلاعاتی مکانیک کوانتومی	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱
۲	اطلاعات و رایانش کوانتومی	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱
	جمع کل	۶	-	۶	۹۶	-	۹۶	

جدول دروس تخصصی اختیاری گرایش علوم و فناوری کوانتومی

(مقطع کارشناسی ارشد)

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیش‌نیاز/هم‌نیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	مکانیک کوانتومی پیشرفته ۲	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱
۲	مبانی نظری و فلسفی مکانیک کوانتومی	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱
۳	نظریه درهم‌تنیدگی کوانتومی	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: ساختار نظری-اطلاعاتی مکانیک کوانتومی
۴	مبانی ریاضی اطلاعات کوانتومی	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۵	اطلاعات و رایانش کوانتومی پیشرفته ۱	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۶	اطلاعات و رایانش کوانتومی پیشرفته ۲	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: اطلاعات و رایانش کوانتومی پیشرفته ۱
۷	سامانه‌های کوانتومی باز	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۸	بهینه‌سازی محدب	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۹	فناوری‌های کوانتومی	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۱۰	روش‌های تجربی در رایانش و اطلاعات کوانتومی	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۱۱	اپتیک کوانتومی ۱	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۱۲	اپتیک کوانتومی ۲	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: اپتیک کوانتومی ۱
۱۳	روش‌های تجربی در اپتیک کوانتومی	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: اپتیک کوانتومی ۱
۱۴	اپتیک کوانتومی نانوساختارهای نیم‌رسانا	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	پ: مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱، الکترودینامیک پیشرفته ۱
۱۵	نظریه میدان‌های کوانتومی سامانه‌های بس‌ذره‌ای	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۱۶	موضوعات ویژه ۱	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	
۱۷	موضوعات ویژه ۲	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	

سرفصل دروس تخصصی الزامی

و دروس تخصصی اختیاری

مقطع کارشناسی ارشد

گرایش علوم و فناوری کوانتومی

عنوان درس به فارسی: **ساختار نظری-اطلاعاتی مکانیک کوانتومی** عنوان درس به انگلیسی: **Information-Theoretical Structure of Quantum Mechanics**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-الزامی**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: **مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱**
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	**نظری**	
				عملی	
			اختیاری	نظری	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس: هدف از این درس، ضمن یادگیری ساختار ریاضی مورد نیاز برای فهم عمیق مکانیک کوانتومی، آشنا شدن با جنبه‌هایی از مکانیک کوانتومی، مانند ویژگی‌های آماری و اطلاعاتی آن است که برای درک توان کاربردی این علم ضروری است.

سرفصل مطالب:

۱- فضاهای برداری خطی: فضای برداری خطی، دوگان فضای برداری، قضیه ریس-فیشر، فضای برداری ضرب‌داخلی، فضای برداری نرم‌دار، فضای هیلبرت متناهی و نامتناهی، عملگرهای کران‌دار، جبر C^*، اتحاد قطبش، فضای عملگرهای خودالحاق، عملگرهای مثبت، عملگرهای برافکنشی، عملگرهای یکانی و پادیکانی، عملگرهای کلاس-رد، عملگرهای هیلبرت-اشمیت، برد و کرنل عملگرها، عملگر نرمال، قضیه طیفی، تجزیه قطبی، تجزیه مقدار تکینه، آنسامبل‌ها، عملگر چگالی، ضرب تانسوری فضاهای برداری

۲- حالت‌های کوانتومی: فضای حالت، دوگانگی حالت و اثر، قضیه گلیسون، کره بلوخ، برهم‌نهی و تداخل، تبدیلات یکانی در فضای حالت‌ها، کلاس‌های هم‌ارزی، خودریختی‌های حالت، قضیه ویگنر، سامانه‌های مرکب، قضیه اشمیت، حالت‌های درهم‌تنیده، خالص‌سازی حالت‌های آمیخته، سنجه‌های تمیزپذیری حالت‌های کوانتومی

۳- مشاهده‌پذیرها: مشاهده‌پذیرها و سنجه‌های عملگر-مقداری مثبت، مشاهده‌پذیرها و نگاشت‌های آماری، مشاهده‌پذیر حقیقی، اختلاط مشاهده‌پذیرها، هم‌وجودی اثرها، مشاهده‌پذیرهای ایده‌آل، مشاهده‌پذیرهای مکمل، مشاهده‌پذیرهای اطلاعات-کامل، مشاهده‌پذیرهای اطلاعات-کامل متقارن، برآورد حالت، تمییزپذیری حالت‌های کوانتومی با کمترین خطا، تمییزپذیری بدون ابهام حالت‌های کوانتومی، رابطه دانه-درشتی بین مشاهده‌پذیرها، کاربرهایی در اپتیک کوانتومی

۴- کانال‌های کوانتومی: تبدیل سامانه‌های کوانتومی، عملیات کوانتومی، نگاشت‌های مثبت و کاملا مثبت، قضیه عدم‌کپی‌سازی کوانتومی، قضیه اتساع اشتاین-اشپرینگ، نمایش جمع-عملگری کانال‌ها، اختلاط کانال‌ها، ترکیب کانال‌ها، تقسیم‌پذیری کانال‌ها، کانال‌های انقباضی، کانال‌های مزدوج، پارامتربندی کانال‌های کوانتومی، یک‌ریختی چوی-جمیولکوفسکی، کانال‌های یکانی کتره‌ای، کانال‌های میرایی-فاز، کانال‌های کیوبیتی، کانال‌های یونیتال

۵- اندازه‌گیری کوانتومی: مدل‌های اندازه‌گیری، دستگاه‌های اندازه‌گیری، اختلال ناشی از اندازه‌گیری، قضیه لودر، اندازه‌گیرهای تکرارپذیر، قضیه ویگنر-اراکی-یاناس

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

منابع اصلی:

- T. Heinosaari, and M. Ziman, “The Mathematical Language of Quantum Theory”, Cambridge University of Press, 2012.

منابع فرعی:

- I. Bengtsson , K. Zyczkowski, "Geometry of Quantum States, An introduction to quantum entanglement", Cambridge University Press, 2006.
- A. Buchleiter, C. Viviescas, M. Tiersch, "Entanglement and Decoherence", Springer-Verlag, 2009.
- A. Holevo, “Probabilistic and Statistical Aspects of Quantum Theory”, Edizioni Della Normale, 2011.
- D. Petz, "Quantum Information Theory and Quantum Statistics", Springer-Verlag, 2008.
- R. K. Brylinski, G. Chen, "Mathematics of Quantum Information", Chapman & Hall, 2002.
- M. Nakahara, R. Rahimi, A. Saitoh, "Mathematical Aspects of Quantum Computing", World Scientific, 2008.

عنوان درس به فارسی: **اطلاعات و رایانش کوانتومی** عنوان درس به انگلیسی: **Quantum Information and Computation**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-الزامی**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: **مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱**
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	**نظری**	
				عملی	
			اختیاری	نظری	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: در این درس ضمن آشنا شدن با نظریه رایانش و اطلاعات کلاسیکی، به تعمیم آن در چارچوب مکانیک کوانتومی پرداخته می‌شود. همچنین با تاکید بر ویژگی‌های غیرکلاسیکی مکانیک کوانتومی، بیان تفاوت‌های نظریه رایانش و اطلاعات کوانتومی نسبت به همتای کلاسیکی آن از اهداف این درس است.

سرفصل مطالب:

۱- مقدمه‌ای بر اطلاعات کلاسیک: احتمال‌ها، آنتروپی و اطلاعات، آنتروپی شانون، قضایای کدگذاری شانون، فشرده‌سازی داده های کلاسیکی

۲- مقدمه‌ای بر رایانش کلاسیک: ماشین تورینگ، گیت‌های کلاسیک، گیت‌های جهان‌شمول، پیچیدگی محاسباتی، خطای محاسباتی و تصحیح آن

۳- مبانی مکانیک کوانتومی: فضای برداری، عملگرهای خطی و ماتریس‌ها، اصول موضوعه مکانیک کوانتومی، عملگر حالت، فضای ضرب تانسوری، کیوبیت، درهم‌تنیدگی کوانتومی، نظریه‌ی اندازه‌گیری کوانتومی، اندازه‌گیری ایده‌آل و غیرایده‌آل

۴- نظریه اطلاعات کوانتومی: آنتروپی فون نویمن، عملیات کوانتومی، کانال‌های کوانتومی، قضایای کدگذاری کوانتومی شوماخر، فشرده‌سازی داده‌های کوانتومی، سنجه اندازه برای اطلاعات کوانتومی

۵- مخابرات کوانتومی: امنیت اطلاعات، رمزنگاری کلاسیک، پروتوکل RSA، قضیه عدم کپی‌سازی، رمزنگاری کوانتومی، توزیع کلید کوانتومی، پروتوکل BB84، کدگذاری چگال، فرابرد کوانتومی

۶- رایانش کوانتومی: اصول رایانش کوانتومی، گیت‌های کوانتومی، گیت‌های کوانتومی جهان‌شمول، ارزیابی یک تابع، توازی کوانتومی، الگوریتم دوچ، الگوریتم جستجو، تبدیل فوریه کوانتومی، تعیین دوره تناوب یک تابع، الگوریتم تجزیه یک عدد صحیح به عامل‌های اول

۷- تصحیح خطای کوانتومی: خطاهای یکانی، کدهای تصحیح خطا، واهمدوسی و خطاهای غیریکانی

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

منابع اصلی:

- S. Barnett, "Quantum Information", 1st Edition, Oxford University Press, 2009.

منابع فرعی:

- G. Benenti, G. Casati, G. Strini, "Priciples of Quantum Computation and Information", 1st Edition, World Scientific, 2007.

عنوان درس به فارسی: **مکانیک کوانتومی پیشرفته ۲** عنوان درس به انگلیسی: **Advanced Quantum Mechanics II**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: **مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱**
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس: تکمیل مباحث مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱ و آشنایی با مبانی مکانیک کوانتومی نسبیتی و میدان‌های کوانتومی

سرفصل مطالب:

۱- انتگرال مسیر فاینمن: دامنه گذار، انتشارگر تابع موج، انتشارگر و دامنه گذار، فرمول‌بندی انتگرال مسیر فاینمن، انتشاگر ذره آزاد

۲- دوران: دوران و اندازه حرکت زاویه‌ای، سیستم اسپین ½، گروه $SO(3)$، گروه $SU(2)$، زوایای اویلر

۳- مدل نوسانگر شوینگر و نمایشات گروه $SU(2)$

۴- عملگرهای تانسوری: عملگرهای برداری، ضرب تانسورها، قضیه ویگنر-اکارت

۵- مقدمه‌ای بر مکانیک کوانتومی نسبیتی: معادله کلاین-گوردون، معادله دیراک، گروه دوران، گروه لورنتس، پادذره، اسپینورهای دیراک

۶- مبانی نظریه میدان‌های کوانتومی: هامیلتونی میدان الکترومغناطیسی، کوانتش میدان تابشی، حالت‌های میدان تابشی، حالت‌های همدوس، همدوسی

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
-	+	**آزمون‌های نوشتاری:** +	

		عملکردی:	

منابع:

- J. J. Sakurai and Jim Napolitano, Modern Quantum Mechanics, Addison-Wesley, 2011.
- J. S Townsend, A Modern Approach to Quantum Mechanics, University Science Books, 2012.
- L. E. Ballentine, Quantum Mechanics: A modern Approach, World Scientific Publishing, 2000.
- L. Ryder, Quantum Field Theory, Cambridge University Press, 1996.
- F. Schwabl, Advanced Quantum Mechanics, Springer, 2008.

عنوان درس به فارسی: **مبانی نظری و فلسفی مکانیک کوانتومی** عنوان درس به انگلیسی: **Theoretical and Philosophycal Foundations of Quantum Mechanics**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	--------
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: هدف این درس بررسی مبانی نظری و مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی است. بنا به تشخیص و علاقمندی مدرس، در بخش‌های متناسب می‌تواند به جنبه‌های فلسفی مکانیک کوانتومی اشاره کرد.

سرفصل مطالب:

۱- مقدمه‌ای بر مفاهیم مکانیک کوانتومی و بعضی پیامدهای فلسفی آن

۲- آزمون‌های کوانتومی: تعریف سامانه‌ی کوانتومی، آزمون‌های ماکسیمال کوانتومی، آزمون‌های پیاپی، اصل تداخل، دامنه های گذار

۳- تعین‌گرایی رمزی و جدایی‌ناپذیری: همبستگی‌های کوانتومی و کلاسیک، آزمون‌های ناکامل و ردهای جزیی، تجزیه‌ی اشمیت، ذرات تمیزناپذیر و قضیه‌ی آمار سامانه‌های بوزونی و فرمیونی

۴- قضیه‌ی بل: نامساوی بل و معمای EPR، آزمایش‌های اسپکت‌گونه

۵- زمینه‌مندی (contextuality) : رابطه ناموضعیت و زمینه‌مندی، قضیه‌ی گلیسون، قضیه کوخن-اشپکر، جنبه‌های تجربی و منطقی زمینه‌مندی،

۶- نظریه اطلاعات و ترمودینامیک: آنتروپی، ترمودینامیک سامانه‌های متعادل، گاز کوانتومی ایده‌آل، فرایندهای ناممکن، قضیه نویمارک، محدودیت‌های عینیت‌گرایی، رمزنگاری و دوربردی کوانتومی

۷- روش‌های نیمه کلاسیک: اصل انطباق، کنش کلاسیک، مکانیک کوانتومی در فضای فاز

۸- بسته به میزان وقت و علاقه مدرس، بعضی جنبه‌های فلسفی مکانیک کوانتومی به ویژه در رابطه با مباحث بالا بررسی می‌شود.

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه

–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

- A. Peres, Quantum Theory: Concept and Methods, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- G. Auletta, Foundations and Interpretation of Quantum Mechanics, World Scientific, 2001.

<table>
<tr><td rowspan="3">عنوان درس به فارسی:
نظریه درهم‌تنیدگی کوانتومی

عنوان درس به انگلیسی:
Quantum Entanglement Theory</td><td rowspan="2">تعداد واحد: ۳

تعداد ساعت: ۴۸</td><td rowspan="2">نوع واحد:
تخصصی-اختیاری</td><td>جبرانی</td><td>نظری</td><td rowspan="2">دروس پیشنیاز:
ساختار نظری-اطلاعاتی مکانیک کوانتومی</td></tr>
<tr><td></td><td>عملی</td></tr>
<tr><td colspan="2">آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■
سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td><td>پایه
الزامی
اختیاری</td><td>نظری
عملی
نظری
عملی
نظری
عملی</td><td></td></tr>
</table>

اهداف کلی درس: مطالعه‌ی مبانی نظری درهم‌تنیدگی کوانتومی و شناسایی، سنجش و ساخت حالت‌های درهم‌تنیده

سرفصل مطالب:

۱- اهمیت درهم‌تنیدگی کوانتومی: درهم‌تنیدگی به عنوان یک ویژگی سامانه‌های مرکب، درهم‌تنیدگی به عنوان یک منبع فیزیکی، کاربردهایی از اهمیت درهم‌تنیدگی در پروتوکل‌های اطلاعات کوانتومی

۲- درهم‌تنیدگی و هم‌بستگی‌های غیرموضعی: ناموضعیت کوانتومی و پارادوکس EPR، متغیرهای نهانی، نامساوی بل، حالت‌های بل، نامساوی CHSH و شرایط بیشترین نقض آن، تانسور هم‌بستگی، حالت‌های درهم‌تنیده خالص و آمیخته، نامساوی‌های بل تعمیم‌یافته

۳- معیارهای جداپذیری: تجزیه اشمیت، مرتبه و اعداد اشمیت، معیار ترانهاد پاره‌ای، معیار پرس-هورودسکی و قضایای لونشتاین، معیار پرس-هورودسکی و نگاشت‌های مثبت، معیار کاهش، معیار برد، معیار ماجوریزاسیون، حالت‌های درهم‌تنیده با ترانهاد پاره‌ای مثبت، حالت‌های لبه، بهترین تقریب جداپذیری

۴- شاهدهای درهم‌تنیدگی: قضیه جدایی هان-باناخ، شاهد درهم‌تنیدگی، شاهدهای درهم‌تنیدگی مبتنی بر عملگرهای برافکنشی، نامساوی بل به عنوان شاهد درهم‌تنیدگی، شاهدهای تفکیک‌پذیر و تفکیک‌ناپذیر، نگاشت‌های مثبت، یک‌ریختی چوی-جمیولکوفسکی، اندازه‌گیرهای جمعی و آشکارسازی درهم‌تنیدگی

۵- کانال‌های کوانتومی در سامانه‌های مرکب: کانال کوانتومی، کانال موضعی، کانال غیرموضعی، کانال‌های جدایی‌پذیر، کانال LOCC، کانال تورلینگ و حالت‌های ورنر و همسان‌گرد، درهم‌تنیدگی و LOCC، عملیات LOCC و ترتیب جزئی در فضای حالت‌ها، درهم‌تنیدگی بیشینه، قضیه ماجوریزاسیون نیلسون و ارتباط LOCC حالت‌ها، کانال‌های هولو، کانال‌های از بین‌برنده درهم‌تنیدگی،

۶- سنجه‌های درهم‌تنیدگی: آنتروپی درهم‌تنیدگی، درهم‌تنیدگی تشکیل، درهم‌تنیدگی تقطیر، هزینه درهم‌تنیدگی، کونکورنس، نگاتیویته، سنجه‌های مبتنی بر فاصله، آنتروپی نسبی، سنجه‌های هندسی، سنجه‌های جبری، تعمیم کونکورنس به ابعاد بالا، نیرومندی درهم‌تنیدگی، مونوتون درهم‌تنیدگی

۷- درهم‌تنیدگی سامانه‌های چندبخشی: طبقه‌بندی درهم‌تنیدگی سامانه‌های چندبخشی، حالت‌های m-جداپذیر، حالت های GHZ، حالت‌های W، معیارها و سنجه‌های درهم‌تنیدگی سامانه‌های چندبخشی، ناورداهای تبدیلات محلی، تعمیم تجزیه اشمیت به سامانه‌های چندبخشی، سنجش درهم‌تنیدگی سامانه‌های چندبخشی، n-تنگل

۸- تقطیر درهم‌تنیدگی: خالص‌سازی، تقطیر یک‌طرفه، تقطیر دوطرفه، معیارهای تقطیر درهم‌تنیدگی، کاتالیست درهم‌تنیدگی، درهم‌تنیدگی تقطیرپذیر، حالت‌های درهم‌تنیده‌ی مقید، پروتوکل‌های تقطیر درهم‌تنیدگی، تقطیر درهم‌تنیدگی در سامانه‌های چندبخشی، تقطیر درهم‌تنیدگی در حضور نوفه، کاربردهای تقطیر درهم‌تنیدگی

۹- درهم‌تنیدگی حالت‌های با متغیر پیوسته: حالت‌های با متغیر پیوسته، حالت‌های همدوس، حالت‌های چلانده، توابع شبه توزیع، حالت‌های گاوسی، ماتریس هم وردایی، درهم‌تنیدگی حالت‌های گاوسی، عملیات گاوسی

۱۰- مباحث متفرقه در درهم‌تنیدگی کوانتومی: هندسه حالت‌های درهم‌تنیده، نامساوی‌های آنتروپی و درهم‌تنیدگی کوانتومی، درهم‌تنیدگی و اطلاعات منفی، هم‌بستگی‌های کوانتومی ورای درهم‌تنیدگی، درهم‌تنیدگی از دیدگاه نظریه منبع کوانتومی، درهم‌تنیدگی و ارتباط آن با همدوسی کوانتومی، درهم‌تنیدگی و مخابرات کوانتومی، ظرفیت کانال کوانتومی و درهم‌تنیدگی، کران هولو، ظرفیت کدگذاری چگال کوانتومی، درهم‌تنیدگی و رایانش کوانتومی، درهم‌تنیدگی و مبادله امن کلید

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	**آزمون‌های نوشتاری:** +	
		عملکردی:	

منابع:

منابع اصلی:

- J. Audretsch, "Entangled Systems: "New Directions in Quantum Physics", Wiley-VCH Verlag, 1rst Edition, 2007.
- R. Horodecki, P. Horodecki, M. Horodecki, K. Horodecki, "Quantum Entanglement, Review of Modern Physics", The American Physical Society, V81, 865-942, 2009.
- A. Buchleiter, C. Viviescas, M. Tiersch, "Entanglement and Decoherence", Springer-Verlag, 2009.

منابع فرعی:

- I. Bengtsson, K. Zyczkowski, "Geometry of Quantum States: An Introduction to Quantum Entanglement", Cambridge University Press, 1rst Edition, 2006.

- D. Brus, G. Leuchs, "Lectures on Quantum Information", WILEY-VCH, 2007.

عنوان درس به فارسی: **مبانی ریاضی اطلاعات کوانتومی** عنوان درس به انگلیسی: **Mathematical Foundations of Quantum Information**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	--------
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: در این درس هدف معرفی ساختارهای ریاضی مورد نیاز جهت مطالعه نظریه اطلاعات کوانتومی است.

سرفصل مطالب:

۱- تحدب: مجموعه‌های محدب، پوسته محدب، قضیه مینکوفسکی، قضیه کاراتودوری، جدایی هان-باناخ، نظریه رنگ

۲- هندسه توزیع‌های احتمال: ماجوریزاسیون، ماجوریزاسیون و ترتیب جزئی، آنتروپی‌ها، سنجه‌ها و توزیع‌های پیوسته، هندسه آمار، متریک فیشر-رائو، آنسامبل‌های کلاسیک، آنتروپی‌های تعمیم‌یافته

۳- هندسه فضای حالت‌ها: هندسه حالت‌های خالص، فضای برافکنشی مختلط، نرم و فاصله در فضای هیلبرت، فاصله فوبینی-استادی، متریک فوبینی-استادی، نرم‌های شاتن، عملگرها و مشاهده‌پذیرها، زیرجبرها و زیرسامانه‌ها، طبقه‌بندی سامانه‌های کوانتومی، احتمال گذار، مشابهت، فاصله برس، خواص هندسی فاصله برس، ابرجمع‌پذیری، یک‌نوایی، میانگین هندسی و مشابهت

۴- فضای ماتریس‌های چگالی: فضای هیلبرت-اشمیت، مجموعه حالت‌های آمیخته، آنسامبل‌ها، تحدب فضای ماتریس‌های چگالی، لایه‌بندی، مدارهای گروه یکانی، خمینه فلاگ

۵- نگاشت‌ها و عملیات کوانتومی: اندازه‌گیری‌ها، سنجه‌های عملگر-مقداری مثبت، اندازه‌گیری انتخابی و غیرانتخابی، قضیه نایمارک، نگاشت‌های مثبت و کاملا مثبت، نگاشت‌های تجزیه‌پذیر، یک‌ریختی چوی-جمیولکوفسکی، قضیه چوی-جمیولکوفسکی، نمایش جمع-عملگری، فرم کانونیک عملگرهای کراس، نگاشت‌های یونیتال و دوتصادفی، لم چوی، نگاشت‌های تک-کیوبیتی

۶- ماتریس‌های چگالی و آنتروپی‌ها: آنتروپی فون‌نویمن، تقعر، زیرجمع‌پذیری و ابرزیرجمع‌پذیری آنتروپی فون‌نویمن، نامساوی اراکی-لیب، آنتروپی نسبی کوانتومی و خواص آن، آنتروپی رینی، آنتروپی سالیس، ماجوریزاسیون ماتریس های چگالی

۷- سنجه‌های تمیزپذیری: سنجه‌های تمیزپذیری کلاسیکی، سنجه‌های تمیزپذیری کوانتومی، مشابهت و فاصله آماری

۸- متریک‌های یکنوا و سنجه‌ها: متریک‌های یکنوا، سنجه‌های حاصل‌ضربی و خمینه‌های فلاگ، سنجه‌های هیلبرت-اشمیت، سنجه برس، سنجه‌های القایی، ماتریس‌های چگالی کتره‌ای، عملیات کتره‌ای

۹- مکانیک کوانتومی در فضای فاز: تبدیلات هم‌تافته، تابع توزیع ویگنر، قضیه استون-فون‌نویمن، گروه متاپلکتیک

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

منابع اصلی:

- I. Bengtsson , K. Zyczkowski, "Geometry of Quantum States, An introduction to quantum entanglement", Cambridge University Press, 2006.

منابع فرعی:

- T. Heinosaari, and M. Ziman, “The Mathematical Language of Quantum Theory”, Cambridge University of Press, 2012.
- A. Buchleiter, C. Viviescas, M. Tiersch, "Entanglement and Decoherence", Springer-Verlag, 2009.
- A. Holevo, “Probabilistic and Statistical Aspects of Quantum Theory”, Edizioni Della Normale, 2011.
- D. Petz, "Quantum Information Theory and Quantum Statistics", Springer-Verlag, 2008.
- R. K. Brylinski, G. Chen, "Mathematics of Quantum Information", Chapman & Hall, 2002.
- M. Nakahara, R. Rahimi, A. Saitoh, "Mathematical Aspects of Quantum Computing", World Scientific, 2008.
- Y. S. Kim, M. E. Noz, "Phase Space Picture of Quantum Mechanics", World Scientific, 1991.

عنوان درس به فارسی: **اطلاعات و رایانش کوانتومی پیشرفته ۱** عنوان درس به انگلیسی: **Advanced Quantum Information and Computation I**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	--------
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: دراین درس، ضمن آشنا شدن با مبانی علم رایانش و اطلاعات کلاسیکی، به تعمیم کوانتومی آن پرداخته می‌شود. به ویژه، یادگیری اصول رایانش کوانتومی، پردازش و خوانش اطلاعات بر روی یک رایانه کوانتومی از اهداف این درس است.

سرفصل مطالب:

۱- مفاهیم اولیه: تاریخچه اطلاعات و رایانش کوانتومی، بیت کوانتومی، رایانش کوانتومی، الگوریتم‌های کوانتومی، مدارهای کوانتومی، گیت‌های کوانتومی، توازی کوانتومی، اطلاعات کوانتومی

۲- مبانی مکانیک کوانتومی: حالت‌های کوانتومی، مشاهده‌پذیرهای فیزیکی، اصول موضوعه مکانیک کوانتومی، سامانه‌های کوانتومی، عملگر حالت، نظریه‌ی اندازه‌گیری، دینامیک کوانتومی، نگاشت‌ها و عملیات کوانتومی، سامانه‌های مرکب، درهم‌تنیدگی کوانتومی

۳- مقدمه‌ای بر علم رایانه: ماشین تورینگ، مدارها، منابع رایانش، پیچیدگی محاسباتی، کلاس‌های پیچیدگی، انرژی و رایانش

۴- مدارهای کوانتومی: الگوریتم‌های کوانتومی، عملیات تک‌کیوبیتی، گیت‌های کنترل، عملیات چند کیوبیتی، اندازه‌گیری و خوانش اطلاعات، گیت‌های کوانتومی جهان‌شمول، پیچیدگی محاسباتی، شبیه‌سازی سامانه‌های کوانتومی

۵- تبدیل فوریه کوانتومی: برآورد فاز کوانتومی، تبدیل فوریه کوانتومی و یافتن دوره تناوب یک تابع، الگوریتم شُر و یافتن عامل‌های اول یک عدد صحیح، زیرگروه نهانی

۶- الگوریتم‌های جستجوی کوانتومی: الگوریتم جستجوی گراور، جستجوی کوانتومی در پایگاه نامنظم از داده‌ها، الگوریتم جستجو و شبیه‌سازی کوانتومی، بهینگی الگوریتم جستجو

۷- رایانه‌های کوانتومی: تحقق فیزیکی رایانه‌های کوانتومی، مدل‌های رایانش کوانتومی

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

منابع اصلی:

- M. A. Nielsen, I. L. Chuang, "Quantum Computation and Information", 10th Anniversary Edition, Cambridge University Press, 2010.

منابع فرعی:

- D. C. Marinescu, and G. M. Marinescu, “Classical and Quantum Information”, Academic Press, 2010.
- M. Hayashi, "Quantum Information, An introduction", Springer-Verlag, 2010.
- D. Petz, "Quantum Information Theory and Quantum Statistics", Springer-Verlag, 2008.
- Mark M. Wilde, “Quantum Information Theory”, Cambridge University Press, 2013.
- C. G. Timpson, “Quantum Information Theory and the Foundation of Quantum Mechanics”, Oxford University Press, 2013.
- S. Barnett, "Quantum Information", 1st Edition, Oxford University Press, 2009.
- G. Benenti, G. Casati, G. Strini, "Principles of Quantum Computation and Information", 1st Edition, World Scientific, 2007.

عنوان درس به فارسی: **اطلاعات و رایانش کوانتومی پیشرفته ۲** عنوان درس به انگلیسی: **Advanced Quantum Information and Computation II**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: **اطلاعات و رایانش کوانتومی پیشرفته ۱**
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: این درس به تکمیل درس اطلاعات و رایانش کوانتومی ۱، با تکیه بر بخش نظریه اطلاعات کوانتومی، می‌پردازد. به ویژه، آشنایی با سنجه‌ها و کران‌های نظریه اطلاعات کوانتومی و نیز مفاهیمی چون نوفه کوانتومی، خطای کوانتومی و کدهای تصحیح خطای کوانتومی از اهداف این درس است.

سرفصل مطالب:

۱- نوفه کوانتومی و عملیات کوانتومی: نوفه کلاسیکی، نوفه کوانتومی، عملیات کوانتومی، نمایش جمع-عملگری، وارونی بیت، وارونی فاز، کانال وافازی کوانتومی، کانال میرایی-دامنه، کانال میرایی-فاز، توموگرافی فرآیند کوانتومی

۲- سنجه‌های فاصله در اطلاعات کوانتومی: سنجه فاصله در اطلاعات کلاسیک، تمیزپذیری حالت‌های کوانتومی، فاصله رد، خاصیت انقباضی عملیات حفظ‌کننده رد، مشابهت، رابطه بین سنجه‌های فاصله، کانال‌های کوانتومی و میزان اطلاعات حفظ‌شده

۳- تصحیح خطای کوانتومی: کدهای سه کیوبیتی، کد شُر، نظریه تصحیح خطای کوانتومی، گسسته‌سازی خطا، کران همینگ کوانتومی، ساخت کدهای کوانتومی، کدهای پایدارساز، قضیه گوتسمن-نیل، مدارهای تصحیح خطای کوانتومی، رایانش کوانتومی تحمل‌پذیر خطا، اندازه‌گیری تحمل‌پذیر

۴- آنتروپی و اطلاعات: آنتروپی شانون، آنتروپی فون‌نویمن، زیرجمع‌پذیری و زیرجمع‌پذیری قوی آنتروپی، تقعر آنتروپی، آنتروپی نسبی کوانتومی، اطلاعات متقابل

۵- نظریه اطلاعات کوانتومی: تمیزپذیری حالت‌های کوانتومی، اطلاعات قابل دسترس، کران هولو، فشرده‌سازی داده‌ها، قضیه کدگذاری بدون نوفه شانون، قضیه کدگذاری بدون نوفه شوماخر، اطلاعات کلاسیک بر روی کانال‌های نوفه‌دار کوانتومی، اطلاعات کوانتومی بر روی کانال‌های نوفه‌دار کوانتومی، آنتروپی تبادل، نامساوی فانو، کران سینگلتون

۶- درهم‌تنیدگی کوانتومی: ناموضعیت بل، درهم‌تنیدگی و عملیات کوانتومی موضعی، درهم‌تنیدگی و جدایی‌پذیری، درهم‌تنیدگی و کمیت‌های اطلاعاتی، درهم‌تنیدگی و ماجوریزاسیون، تقطیر درهم‌تنیدگی و تصحیح خطای کوانتومی

۷- فرآیندهای اطلاعات کوانتومی: فرابرد کوانتومی، کدگذاری چگال، رمزنگاری کوانتومی، مبادله کوانتومی کلید

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

منابع اصلی:

- M. A. Nielsen, I. L. Chuang, "Quantum Computation and Information", 10th Anniversary Edition, Cambridge University Press, 2010.

منابع اصلی:

- D. C. Marinescu, and G. M. Marinescu, “Classical and Quantum Information”, Academic Press, 2010.
- M. Hayashi, "Quantum Information, An introduction", Springer-Verlag, 2010.
- D. Petz, "Quantum Information Theory and Quantum Statistics", Springer-Verlag, 2008.
- Mark M. Wilde, “Quantum Information Theory”, Cambridge University Press, 2013.
- D. Brus, G. Leuchs, "Lectures on Quantum Information", WILEY-VCH, 2007.

عنوان درس به فارسی: **سامانه‌های کوانتومی باز** عنوان درس به انگلیسی: **Open Quantum System**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: --------
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس: در این درس هدف معرفی سامانه‌های کوانتومی باز است. با معرفی روش‌های بررسی این سامانه‌ها، به چگونگی بررسی سامانه‌های کوانتومی همراه با اتلاف می‌پردازیم.

سرفصل مطالب:

۱- فرآیندهای تصادفی کلاسیکی: نظریه احتمال‌های کلاسیکی، متغیرهای تصادفی، فرآیندهای تصادفی، فرآیندهای مارکوفی کلاسیکی

۲- احتمال‌های کوانتومی: مبانی مکانیک کوانتومی، تعبیر آماری مکانیک کوانتومی، آنسامبل آماری، احتمال‌های توام در مکانیک کوانتومی، آنتروپی‌ها، سامانه‌های مرکب، نظریه اندازه‌گیری کوانتومی، اندازه‌گیری غیرمستقیم، اندازه‌گیری غیرتخریبی

۳- رهیافت ابرعملگری در سامانه‌های کوانتومی باز: عملیات کوانتومی، قاعده جمع ابرعملگری، عملگرهای کراس، نگاشت دینامیکی، نگاشت دینامیکی جهان‌شمول، نگاشت دینامیکی انقباضی، وارون نگاشت دینامیکی، فرآیندهای مارکوفی کوانتومی

۴- رهیافت معادله کلیدی در سامانه‌های کوانتومی باز: دینامیک سامانه‌های کوانتومی بسته و باز، معادله لیوویل-فون نویمن، تصویر برهم‌کنش، فرآیندهای مارکوفی کوانتومی، نیم‌گروه دینامیکی کوانتومی، ارتباط رهیافت معادله کلیدی با رهیافت عملگری، توصیف میکروسکوپی فرآیندهای مارکوفی، معادله ناکاجیما-زوانزیگ، حد جفت‌شدگی ضعیف، حد جفت‌شدگی تکینه، معادله کلیدی در اپتیک کوانتومی، حرکت براونی کوانتومی

۵- فرآیندهای حافظه‌مند: فرآیندهای غیرمارکوفی، توصیف میکروسکوپی فرآیند غیرمارکوفی، معیارها و سنجه‌های فرآیندهای غیرمارکوفی

۶- واهمدوسی کوانتومی: تابع واهمدوسی، واهمدوسی در سامانه‌های مارکوفی، واهمدوسی و اندازه‌گیری کوانتومی

۷- واهمدوسی در نظریه اطلاعات کوانتومی: الگوهای واهمدوسی یک کیوبیت، کانال‌های کوانتومی و واهمدوسی، وادرهم تنیدگی کوانتومی، معادله کلیدی یک کیوبیت، گذار از دنیای کوانتومی به دنیای کلاسیکی، گربه شرودینگر و واهمدوسی، کنترل واهمدوسی، زیرفضاهای بدون واهمدوسی

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

منابع اصلی:

- H-P Breuer, F. Petruccione, "The Theory of Open Quantum Systems", 1st Edition, Oxford University Press, 2007.
- A. Rivas, and S. F. Huelga, "Open Quantum Systems: An Introduction", Springer, 2012.

منابع فرعی:

- T. M. Nieuwenhuizen, C. Pombo, C. Furtado, and A. Khrennikov, "Quantum Foundations and Open Quantum Systems", World Scientific, 2014.
- Maximilian Schlosshauer, "Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition", Springer-Verlage, 2007.
- A. Holevo, "Statistical Structure of Quantum Theory", Springer, 2001.

عنوان درس به فارسی: **بهینه‌سازی محدب** عنوان درس به انگلیسی: **Convex Optimization**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	--------
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: آشنایی با روش‌های مختلف بهینه‌سازی بر روی مجموعه‌های محدب، و کسب مهارت در بکار بردن آن‌ها در مسائل مرتبط با نظریه اطلاعات کوانتومی

سرفصل مطالب:

۱- مقدمه‌ای بر مسئله بهینه‌سازی: برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی محدب، بهینه‌سازی غیرخطی

۲- مجموعه‌های محدب: مجموعه آفین، بعد آفین، مجموعه محدب، عملیات بر روی مجموعه‌های محدب، توابع آفین، نامساوی‌های تعمیم‌یافته و ترتیب جزئی، ابرصفحه‌های حائل، ابرصفحه‌های پشتیبان، مخروط همزاد، نامساوی‌های تعمیم‌یافته همزاد

۳- توابع محدب: تعریف مجموعه‌های محدب و ویژگی آن‌ها، عملیات حفظ‌کننده تحدب، توابع مزدوج، توابع شبه‌محدب، توابع لگاریتم-مقعر و لگاریتم-محدب، تحدب و نامساوی‌های تعمیم‌یافته،

۴- مسائل بهینه‌سازی محدب: مسائل بهینه‌سازی، بهینه‌سازی محدب، مسائل بهینه‌سازی خطی، مسائل بهینه‌سازی درجه‌دوم، برنامه‌ریزی هندسی، قیود نامساوی‌های تعمیم‌یافته، بهینه‌سازی برداری

۵- همزادی: تابع همزاد لاگرانژ، مسئله همزاد لاگرانژ، شرایط بهینه‌گی، اختلال و تحلیل حساسیت، قضایای گزینه‌ها، نامساوی‌های تعمیم‌یافته

۶- کاربردهایی از بهینه‌سازی محدب در اطلاعات کوانتومی: کاربرد بهینه‌سازی محدب در ساخت شاهدهای درهم‌تنیدگی، کاربرد بهینه‌سازی محدب در مسئله تمییزپذیری حالت‌های کوانتومی

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

- Stephen Boyd and Lieven Vandenberghe, "Convec Optimization", Cambridge University Press, 2004.
- Edwin K. P. Chong and Stanislaw H. Zak, "An Introduction to Optimization", John Wiley & Sons, 2001.

عنوان درس به فارسی: **فناوری‌های کوانتومی** عنوان درس به انگلیسی: **Quantum Technologies**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	--------
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس: هدف از این درس ارایه مطالبی از یافته‌های علمی در زمینه فناوری‌های کوانتومی است. در این درس روش‌های پیاده‌سازی طرح‌واره‌های تجربی که در آن اصول همدوسی کوانتومی و درهم‌تنیدگی کوانتومی دارای نقش موثر هستند معرفی می‌شوند. از آن جایی که مطالب مرتبط با این درس بسیار گسترده و متنوع است، انتخاب مطالب به تشخیص استاد درس از مطالب معرفی شده در پایین می‌تواند باشد. همچنین با توجه به پیشرفت‌های روزافزون در این زمینه، استاد درس می‌تواند از مطالب به روز و منابع جدید نیز استفاده کند.

سرفصل مطالب:

۱- مترولوژی کوانتومی: مبانی نظری مترولوژی کوانتومی، سنجه‌ها و استانداردها و سیستم واحدها، ساعت اتمی و مقیاس‌های زمانی، استاندارد و سنجه‌های طول، و....

۲- اندازه‌گیری کوانتومی: نظریه اندازه‌گیری کلاسیکی، نظریه اندازه‌گیری کوانتومی، اندازه‌گیری بر روی هنگردی از حالت‌ها، اندازه‌گیری ضعیف، اندازه‌گیری پیوسته، کنترل پس‌خوراند کوانتومی

۳- شبیه‌سازی کوانتومی و شبیه‌سازهای کوانتومی

۴- تصویربرداری و میکروسکوپ‌های کوانتومی: توصیف و بررسی روش‌های تصویربرداری با استفاده از فوتون‌های درهم‌تنیده و هم‌بسته

۵- سامانه‌ها و تکنولوژی‌های آمیخته کوانتومی: برهم‌کنش اسپین هسته و فوتون، برهم‌کنش کاواک اپتیکی و کاواک اپتومکانیکی، مانسته‌های الکترودینامیک درون کاواک با مدارهای ابررسانا، پلاسمونیک و پلاسمونیک کوانتومی

۶- پدیده‌ها و اثرهای مکانیک کوانتومی در سامانه‌های ماکروسکوپی و بس‌ذره‌ای: اتم‌های خنثی به دام افتاده، شبکه‌های اپتیکی، رایانش کوانتومی در شبکه‌های اپتیکی، چگالیده بوز-اینشتین

۷- پدیده‌های کوانتومی در سامانه‌های زیستی

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	**آزمون‌های نوشتاری:** +	
		عملکردی:	

منابع:

- Waldemar Nawrocki, "Introduction to quantum metrology, quantum standards and instrumentation", Springer International publishing Switzerland (2015).
- S. Simon, G. Jaeger, and A. V. Sergienko, "Quantum metrology, Imaging and Comunication", Springer (2017).
- K. Jacobs, "Quantum Measurement Theory and its Applications", Cambridge University Press (2014).
- L. S. Schulman, "Time's arrows and quantum measurement", Cambridge University Press (2014).
- H. M. Wiseman and G. J. Milburn, "Quantum Measurement and Control", Cambridge University Press (2010).
- I. M. Georgescu, S. Ashhab, and F. Nori, Rev. Mod. Phys. **86**, 15۳ (2014).
- S. I. Bozhevolnyi, L. Martin-Moreno, and F. Garcia-Vidal, "Quantum Plasmonics", Springer international publishing Switzerland (2017).
- M. Ohtsu, "Dressed Photons: Concept pf Light-Matter Fusion Technology", Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2014).
- V. S. Letokhov, "Laser Control of Atoms and Molecules", Oxford University Press, 2007.
- C. S. Adams, M. Sigel and J. Mlynek, "Atom Optics", Physics Report **240**, 143-210, 1994.
- M. Mohseni, Y. Omar, G. S. Engle, and M. B. Plenio, "Quantum effects in biology", Cambridge University Press (2014).

عنوان درس به فارسی: **روش‌های تجربی در رایانش و اطلاعات کوانتومی** عنوان درس به انگلیسی: **Experimental Methods in Quantum Computing and Information**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	--------
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: آشنایی با اصول نظری و مقدمات پیاده‌سازی تجربی محاسبات کوانتومی است. در این درس هدف این است که اصول نظری به همراه روش‌های تجربی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های محاسبات کوانتومی آموزش داده شود.

سرفصل مطالب:

۱- مبانی نظری رایانش کوانتومی: مروری بر الگوریتم‌ها و رایانش کوانتومی

۲- رایانش و مخابرات کوانتومی با الکترودینامیک کوانتومی درون کاواک: مروری بر الکترودینامیک کوانتومی درون کاواک، سخت‌افزار مبتنی بر اتم‌های دو-ترازه، سخت‌افزار مبتنی بر کاواک، سخت‌افزار مبتنی بر اتم-کاواک، عملیات کوانتومی دوکیوبیتی، پردازش اطلاعات کوانتومی با اتم‌ها و فوتون‌ها

۳- رایانش کوانتومی با اتم‌ها و یون‌های سرد: سردسازی اتم‌ها، یون به دام افتاده، کیوبیت‌های یونی، همدوسی درگاه‌های کوانتومی، عملیات تک-کیوبیتی و اندازه‌گیری حالت، درگاه‌های بهینه مبتنی بر کنترل کوانتومی، اتم‌های خنثی به دام‌افتاده، شبکه‌های اپتیکی، رایانش کوانتومی در شبکه‌های اپتیکی، منطق کوانتومی با اتم‌ها و یون‌های سرد، آماده‌سازی و آشکارسازی، کیوبیت‌ها و درگاه‌ها، درگاه‌های کنترل دوکیوبیتی، همدوسی درگاه‌های اتمی

۴- رایانش کوانتومی با نقاط کوانتومی: مروری بر نقاط کوانتومی و ساخت آنها، نقاط کوانتومی مبتنی بر ابزارهای تک-الکترون، اسپین‌ترونیک، درگاه‌های کوانتومی مبتنی بر نقاط کوانتومی، واهمدوسی و اندازه‌گیری

۵- رایانش کوانتومی مبتنی بر اپتیک خطی: الکترودینامیک کلاسیکی و رایانه‌های کلاسیکی، مدارهای اپتیکی، الکترودینامیک کوانتومی و رایانه‌های کوانتومی، حالت‌های اپتیکی کوانتومی، عملیات کوانتومی و درگاه‌ها

۶- رایانش کوانتومی مبتنی بر ابر رساناها: مروری بر ابررسانندگی، مدارهای ابررسانندگی، درگاه‌های کوانتومی، کیوبیت بار، کیوبیت شار

۷- رایانش کوانتومی مبتنی بر تشدید مغناطیسی هسته: مروری بر تشدید مغناطیسی هسته، تحقق کیوبیت، ساخت درگاه‌های کوانتومی، تشدید مغناطیسی هسته در حالت جامد

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

- D. Brus, G. Leuchs, "Lectures on Quantum Information", WILEY-VCH, 2007.
- Joachim Stolze and Dieter Suter, "Quantum Computing: A Short Course from Theory to Experiment", Wiley-VCH, 2008.
- G. Chen, D. A. Church, B-G Englert, C. Henkel, B. Rohwedder, M. O. Scully, M. S. Zubairy, "Quantum Computing Devices: Principled, Designs and Analysis", CHAPMAN & HALL, 2007.
- W. P. Schleich, H. Walther, "Elements of Quantum Information", WILEY-VCH, 2007.
- I. S. Oliveira, T. J. Bonagamba, R. S. Sarthour, J. C. C. Freitas, E. R. deAzevedo, "NMR Quantum Information Proccesing", Elsevier, 2007.
- P. Lambropoulos, D. Petrosyan, "Fundamentals of Quantum Optics and Quantum Information", Springer-Verlag, 2007.
- M. Nakahara, T. Ohmi, Quantum Computing: From linear algebra to physical realizations, " CRC Press, 2008.
- M. A. Nielsen, I. L. Chuang, "Quantum Computation and Information", 1st Edition, Cambridge University Press, 2000.
- A. M. Zagoskin, "Quantum Engineering: Theory and Design of Quantum Coherent Structures", Cambridge University Press, 2011.
- D. Ahn, and S. H. Park, "Engineering Quantum Mechanics", John Wiley, 2011.

عنوان درس به فارسی: **اپتیک کوانتومی ۱**	تعداد واحد: **۳**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
	تعداد ساعت: **۴۸**		پایه	نظری	
				عملی	--------
عنوان درس به انگلیسی: **Quantum Optics I**			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: آشنایی با اصول اپتیک کوانتومی با تکیه بر جنبه‌های کوانتومی تابش الکترومغناطیسی و برهم کنش کوانتومی تابش با سامانه‌های اتمی

سرفصل مطالب:

۱- کوانتش میدان الکترومغناطیسی و اثرهای فیزیکی خلأ الکترومغناطیسی
۲- معرفی برخی روش‌های جبر عملگری: حالت‌های عددی، حالت‌های همدوس و حالت‌های چلانده‌ی میدان تابشی (ساختار ریاضی و ویژگی‌های فیزیکی)، صورت‌بندی کوانتومی فاز میدان تابشی
۳- نظریه‌ی توابع توزیع فضای فاز در اپتیک کوانتومی: تابع گلابر، تابع هوسیمی-کانو و تابع ویگنر
۴- تداخل‌سنجی اپتیکی و نظریه‌ی کوانتومی همدوسی: تداخل‌سنجی میدان- میدان (همدوسی مرتبه‌ی اول)، تداخل‌سنجی فوتون- فوتون (همدوسی مرتبه‌ی دوم)، آمار کوانتومی میدان تابشی (آمار کلاسیک و آمار غیر کلاسیک)، آشکارسازی حالت‌های چلانده‌ی میدان تابشی، تداخل‌سنجی دوفوتونی
۵- نظریه‌ی نیمه کلاسیک برهم‌کنش اتم با میدان: معادلات ماکسول- شرودینگر و نظریه‌ی نیمه کلاسیک لیزر
۶- نظریه‌ی کوانتومی برهم‌کنش اتم با میدان: تحلیل ویژگی‌های الگوی جینز-کامینگز، نابودی و بازآفرینش نوسانات رابی
۷- نظریه‌ی کوانتومی اتلاف: تحول مارکوفی، تحلیل پدیده‌ی گسیل خود به خود اتم در چارچوب نظریه‌ی ویگنر- وایسکوف، رهیافت عملگر چگالی و معادله‌ی فوکر-پلانک، رهیافت عملگر نوفه و معادلات لانژون-هایزنبرگ، نوفه‌های سفید و رنگی (تحول غیرمارکوفی)، قضیه‌ی افت‌وخیز-اتلاف و رابطه‌ی اینشتین، رویکرد مبتنی بر جهش کوانتومی و مسیرهای کوانتومی در سامانه‌های اتلافی

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

- M. O. Scully and M. S. Zubairy, "Quantum Optics", Cambridge University Press, 1997.
- P. Meystre and M. Sargent, "Elements of Quantum Optics", Springer-Verlag, 2007.
- M. Orszag, “Quantum Optics”, Springer-Verlag, 2016.
- J. C. Garrison and R. Y. Chiao, "Quantum Optics", Oxford University Press, 2008.
- A. B. Klimov and S. M. Chumakov, “ A Group-Theoretical Approach to Quantum Optics”,Wiley-VCH, 2009.

عنوان درس به فارسی: **اپتیک کوانتومی ۲** عنوان درس به انگلیسی: **Quantum Optics II**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: **اپتیک کوانتومی ۱**
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس: مطالعه‌ی کاربردهای اپتیک کوانتومی مدرن در تحلیل پدیده‌های الکترودینامیک کوانتومی درون کاواک، مطالعه‌ی سامانه‌های لیزری مبتنی بر همدوسی اتمی و بررسی جنبه‌های بنیادی مکانیک کوانتومی

سرفصل مطالب:

۱- بازآوایی فلورسانی: نظریه‌ی واکافنده بیناب، قضیه‌ی کوانتومی رگرسیون، بیناب بازآوایی فلورسانی (حد میدان ضعیف و حد میدان قوی) آمار کوانتومی تابش فلورسانی، بیناب فلورسانی اتم های سه‌ترازی، بیناب توان در رژیم ایستا

۲- نظریه‌ی الکترودینامیک کوانتومی درون کاواک و میزرهای تک‌اتمی: توصیف های میکروسکوپیک و ماکروسکوپیک میزرهای تک‌اتمی، میزرهای تک‌اتمی دوترازی (آمار کوانتومی تابش میزر، اثر عوامل اتلاف بر ویژگی‌های غیرکلاسیک تابش میزر، میزرهای تک‌اتمی بدون وارونی جمعیت)، میزرهای تک‌اتمی سه‌ترازی تک‌مدی و دومدی(آمار کوانتومی تابش میزر، اثر عوامل اتلاف، تحلیل اثر همبستگی بین مدی بر آمار کوانتومی تابش میزر، پهنای خط میزر ، رهیافت معادله‌ی فوکر-پلانک، رهیافت اصل توازن تفصیلی، رهیافت فاز کوانتومی) ، مهندسی حالت‌های کوانتومی تابش درون کاواک

۳- لیزرهای گسیلنده‌ی همبسته*: لیزرهای گسیل خودبه‌خود هم‌بسته، لیزرهای زنش کوانتومی و لیزرهای تمام نگار، لیزرهای گسیلی هم‌بسته‌ی دوفوتونی، تحلیل افت‌وخیزهای دامنه و فاز

۴- نظریه‌ی اندازه‌گیری‌های غیرمخرب کوانتومی: مفهوم اندازه‌گیری غیرمخرب کوانتومی، تحلیل برخی طرح‌واره‌های فیزیکی تحقق اندازه‌گیری غیرمخرب کوانتومی در اپتیک کوانتومی (طرح‌واره‌ی مبتنی بر اثر غیرخطی کر، طرح‌واره‌ی مبتنی بر برهم‌کنش اتم-تابش در رژیم پاشنده، طرح‌واره‌ی مبتنی بر فرایند تقویت پارامتریک اپتیکی)

۵- نظریه‌ی کوانتومی تداخل‌سنجی دوفوتونی: هم‌بستگی میدان—میدان برای نور پراکنده شده از سامانه‌های دواتمی، هم‌بستگی شدت-شدت برای نور پراکنده-شده از اتم‌های چندترازی ، تداخل‌سنجی دوفوتونی آبشاری، تداخل‌سنجی دوفوتونی بر اساس تفکیک پارامتریک بسامد

۶- مقدمه‌ای بر نظریه‌ی واهمدوسی و کاربردهای آن در اپتیک کوانتومی

۷- درهم‌تنیدگی، نامساوی‌های بل و اطلاعات کوانتومی*: پارادکس EPR و نامساوی‌های بل، درهم‌تنیدگی دو جزیی، دوربری کوانتومی، رمزنگاری کوانتومی

*مباحث ستاره‌دار با توجه به وقت و علاقه‌ی استاد ارائه می‌شود.

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	**آزمون‌های نوشتاری:** +	
		عملکردی:	

منابع:

- M. O. Scully and M. S. Zubairy, "Quantum Optics", Cambridge University Press, 1997.
- W. Schleich, “Quantum Optics in Phase Space”, Wiley-VCH, 2001.
- M. Orszag, “Quantum Optics”, Springer-Verlag, 2016.
- P. Meystre and M. Sargent, "Elements of Quantum Optics", Springer-Verlag, 2007.
- J. C. Garrison and R. Y. Chiao, "Quantum Optics", Oxford University Press, 2008.

عنوان درس به فارسی: **روش‌های تجربی در اپتیک کوانتومی** عنوان درس به انگلیسی: **Experimental Methods in Quantum Optics**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: **اپتیک کوانتومی ۱**
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: آشنایی با روش‌های تجربی در اپتیک کوانتومی مدرن با تأکید بر موضوعاتی همچون تولید و آشکارسازی تک‌فوتون، تداخل‌سنجی، اندازه‌گیری کوانتومی، کنترل نوفه‌های کوانتومی، هم‌بستگی‌های کوانتومی، آزمون‌های تجربی نظریه‌ی کوانتومی و شیوه‌های تحقق تجربی طرح‌واره‌های نظریه‌ی اطلاعات کوانتومی

سرفصل مطالب:

۱- مؤلفه‌های اپتیکی اصلی: شکافنده‌های باریکه (توصیف کلاسیک شکافنده‌ی باریکه-توصیف عملگری شکافنده‌ی باریکه، شکافنده‌ی باریکه‌ی تک‌فوتون- شکافنده‌ی باریکه با ورودی حالت همدوس- توصیف شکافنده‌ی باریکه به کمک الگوی نوفه‌ی نوار جانبی- مقایسه‌ی شکافنده‌ی باریکه با پیوندگاه جریان الکتریکی)، تداخل‌سنج‌ها (توصیف کلاسیک یک تداخل سنج- الگوی کوانتومی یک تداخل‌سنج- تداخل‌سنج تک فوتون- انتقال نوفه‌ی شدت توسط تداخل‌سنج- حد حساسیت یک تداخل‌سنج) کاواک‌ها (توصیف کلاسیک یک کاواک خطی- پاسخ فازی کاواک- خواص فضایی کاواک‌ها- معادلات کوانتومی تحول مدهای کاواک –انتشار نوفه در کاواک- گذر تک‌فوتون از درون کاواک)، سایر مؤلفه‌های اپتیکی (عدسی‌ها- بلورها و قطبنده‌ها- مدوله‌کننده‌ها- تارهای نوری)

۲- لیزرها و تقویت‌کننده‌ها: معادلات آهنگ، الگوی کوانتومی لیزر، انواع لیزر، نوفه‌ی فاز لیزر، تقویت سیگنال اپتیکی، تقویت کننده و نوسانگر پارامتریک، تولید جفت‌فوتون

۳- روش‌های آشکارسازی فوتون: مشخصه‌های آشکارسازی فوتون، آشکارسازی تک‌فوتون، چشمه‌های فوتونی، آشکارسازی و تحلیل طیفی جریان فوتوالکترون‌ها

۴- روش‌های آشکارسازی نوفه‌های کوانتومی: آشکارسازی و زینه‌بندی نوفه‌های کوانتومی (آشکارسازی و زینه بندی مستقیم، آشکارسازی متوازن، آشکارسازی مدولاسیون شدت و نسبت سیگنال به نوفه، آشکارسازی به روش بسامدآمیزی)، نوفه‌ی شدت، کنترل نوفه‌های کوانتومی، پایدارسازی بسامد

۵- نور چلانده (روش‌های تولید، آشکارسازی و کاربردها): مفهوم و ویژگی‌های چلاندگی، حالت‌های چلانده، روش‌های تولید حالت چلانده (آمیزش چهار موج، فرایندهای تقویت پارامتریک اپتیکی، تولید هماهنگ دوم، اثر کر، جفت شدگی اتم-میدان)، چلاندگی پالسی (نوفه‌ی کوانتومی تپ‌های اپتیکی، تولید چلاندگی تپی به کمک اثر کر، تولید هماهنگ دوم و

تقویت پارامتریک تپی)، چلاندگی سالیتونی، پالایش طیفی، تداخل‌سنج‌های غیرخطی، باریکه‌های دو فوتونی، چلاندگی قطبش، توموگرافی حالت کوانتومی، کاربردهای نور چلانده در تصویربرداری کوانتومی، حس‌گرهای اپتیکی، آشکارسازی امواج گرانشی

۶- اندازه‌گیری‌های غیرمخرب کوانتومی: مفهوم اندازه‌گیری غیرمخرب کوانتومی، دسته‌بندی اندازه‌گیری‌های غیرمخرب کوانتومی، روش‌های تجربی برپایی اندازه‌گیری غیرمخرب، اندازه‌گیری غیرمخرب تک‌فوتون

۷- آزمون‌های بنیادی مکانیک کوانتومی: دوگانگی موج-ذره، تمییزناپذیری، ناموضعییت (ناسازنمای اینشتین-پودولسکی-رزن، تولید باریکه‌ی فوتونی درهم‌تنیده، نامساوی‌های بل)

۸- اطلاعات کوانتومی: شمارش تطابقی فوتون‌ها، چشمه‌های واقعی تک‌فوتون، مشخصه‌یابی کیوبیت‌های فوتونی، توزیع کلید کوانتومی به کمک تک‌فوتون، توزیع کلید کوانتومی به کمک متغیرهای پیوسته، دوربری اطلاعات کوانتومی (دوربری کیوبیت‌های فوتونی- دوربری متغیرهای پیوسته)، محاسبات کوانتومی به کمک کیوبیت‌های فوتونی، رمزنگاری کوانتومی

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
-	+	**آزمون‌های نوشتاری:** +	
		عملکردی:	

منابع:

- H-A. Bachor and T. C. Ralph, "A Guide to Experiments in Quantum Optics", Wiley-VCH, 2004.

- Z. J. Ou, "Quantum Optics for Experimentalists", World Scientific Publishing Company, 2017.

- F. J. Duarte, "Quantum Optics for Engineers", CRC Press, Taylor&Francis Group, 2014.

عنوان درس به فارسی: **اپتیک کوانتومی نانوساختارهای نیم‌رسانا** عنوان درس به انگلیسی: **Quantum Optics of Semiconductor Nanostructures**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری
				عملی
			پایه	نظری
				عملی
			الزامی	نظری
				عملی
			اختیاری	**نظری**
				عملی
			دروس پیشنیاز: **مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱ و الکترودینامیک پیشرفته ۱**	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس: مطالعه‌ی شیوه‌های تحلیل ویژگی‌های اپتیکی نانوساختارهای نیم‌رسانا در چارچوب اپتیک کلاسیک و اپتیک کوانتومی و فیزیک سامانه‌های بس‌ذره‌ای

سرفصل مطالب:

۱- مروری بر مفاهیم اولیه: الگوی نوسانگر در الکترودینامیک کلاسیک، پذیرفتاری اپتیکی، تابع گرین تأخیری، برهم‌کنش اتم با میدان نوری کلاسیک، قدرت نوسانگر، شبکه‌ی تناوبی اتم‌ها، قضیه‌ی بلاخ، تقریب بستگی قوی، نظریه‌ی k.p، کوانتش میدان‌های بوزونی و فرمیونی

۲- ساختارهای نیم‌رسانای مزوسکوپیک (چاه کوانتومی، سیم کوانتومی و نقطه‌ی کوانتومی): تقریب تابع پوش، بررسی الکترون های نوار رسانش و نوار ظرفیت در ساختارهای مزوسکوپیک

۳- گذارهای حامل‌های بار آزاد در ساختارهای نیم‌رسانا: گذارهای دوقطبی اپتیکی، گذارهای بین‌نواری در نیم‌رساناهای مزوسکوپیک، ساختار زیرنواری، رژیم‌های برانگیزش همدوس و ناهمدوس نیم‌رساناها، تعیین بیناب جذب حامل‌های بار آزاد

۴- نظریه‌ی گازهای کوانتومی آرمانی و برهم‌کنشی: گاز فرمیونی و گاز بوزونی سه بعدی ، دو بعدی و یک بعدی

۵- پلاسمون‌ها و اثر استتار پلاسمایی در گاز الکترونی برهم‌کنشی: پلاسمون‌ها و برانگیزش‌های جفت الکترون، تحلیل فرمول لیندهارد برای گاز الکترونی برهم‌کنشی در فضای D بعدی، تقریب قطب مؤثر پلاسمون، تابع گرین تأخیری برای گاز الکترونی برهم‌کنشی، تقریب هارتری-فوک استتاری

۶- نظریه‌ی اکسیتون‌ها در ساختارهای نیم‌رسانا: معادله‌ی ونیر، اکسیتون‌ها در ساختارهای نیم‌رسانای سه بعدی ، دو بعدی و یک بعدی، پیوستار یونش، تحلیل بیناب جذب اپتیکی در ساختارهای نیم‌رسانای سه بعدی ، دو بعدی و یک بعدی

۷- نظریه‌ی پلاریتون‌ها: نظریه‌ی دی‌الکتریک پلاریتون‌ها ، نظریه‌ی هامیلتونی پلاریتون‌ها، مقدمه‌ای بر پلاریتون‌های میکروکاواک های نیم‌رسانا

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	آزمون‌های نوشتاری: +	
		عملکردی:	

منابع:

- H. Haug and S. Koch, "Quantum Theory of the Optical and Electronic Properties of Semiconductors", 4th Edition, World Scientific, 2004.
- T. Meier, P. Thomas and S. Koch, " Coherent Semiconductor Optics", Springer, 2007.

عنوان درس به فارسی: **نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی سامانه‌های بس ذره‌ای** عنوان درس به انگلیسی: **Many-Body Quantum Field Theory**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: --------
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس: مطالعه‌ی شیوه‌های تحلیل ویژگی‌های فیزیکی سامانه‌های بس‌ذره‌ای در چارچوب نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی

سرفصل مطالب:

۱- مروری بر اصول اولیه‌ی نظریه‌ی میدان کوانتومی: میدان‌های کوانتومی جمعی، فونون‌ها، حد ترمودینامیکی، حد پیوستاری، جبرهای جابجایی و پادجابجایی، نمایش عملگرهای میدان در پایه‌های مختلف، تابع موج بس‌ذره‌ای، برهم‌کنش‌های بس ذره‌ای، تعادل گرمایی سامانه‌های بس‌ذره‌ای ، ویژگی‌های ترمودینامیکی، مباحثی در انتگرال مسیر فاینمن

۲- مثال‌هایی از کاربرد کوانتش دوم در سامانه‌های بس‌ذره‌ای: تبدیلات جردن-ویگنر، الگوی هایزنبرگ ناهمسانگرد، گاز فرمیونی، نظریه‌ی مایع فرمی لانداؤ، مقدمه‌ای بر چگالش بوز- اینشتین در گاز بوزونی

۳- توابع گرین سامانه‌های بس‌ذره‌ای: توابع گرین فرمیونی و بوزونی آزاد، تحول بی‌دررو، قضیه‌ی جلمان-لاؤ، نمایش طیفی توابع گرین بس‌ذره‌ای و قضیه‌ی ویک، تابعک مولد برای سامانه‌های بس‌ذره‌ای فرمیونی و بوزونی آزاد

۴- سامانه‌های بس‌ذره‌ای در دمای صفر: نمودارهای فاینمن، قضیه‌ی خوشه‌پیوندی، پراکندگی تک‌ذره‌ای و برهم‌کنش‌های دو ذره‌ای، قواعد فاینمن در فضای تکانه، تابع پاسخ سامانه‌های بس‌ذره‌ای، تراوایی مغناطیسی گاز الکترون آزاد، پراکندگی الکترون توسط پتانسیل تصادفی، خود انرژی هارتری-فوک

۵- سامانه‌های بس‌ذره‌ای در دمای متناهی: رهیافت زمان موهومی، انتشارگرهای بوزونی و فرمیونی ماتسوبارا، تابعک مولد، نمودارهای فاینمن در دمای متناهی، قضیه‌ی خوشه‌پیوندی در دمای متناهی، برخی کاربردهای روش ماتسوبارا در سامانه های بس‌ذره‌ای (پراکندگی الکترون در پتانسیل بی‌نظمی، برهم‌کنش الکترون-فونون)، قضیه‌ی میگدال

۶- قضیه‌ی افت‌وخیز-اتلاف و نظریه‌ی پاسخ خطی در سامانه‌های بس ذره‌ای*: رهیافت کلاسیک و رهیافت کوانتومی، بیناب نمایی الکترونی و اسپینی

۷- مقدمه‌ای بر نظریه‌ی ترابرد الکترون*: روابط کوبو، پخش‌شدگی الکترون، جایگزیدگی ضعیف، رسانش اپتیکی، قاعده‌ی جمع **f**

۸- رهیافت انتگرال مسیر و حالت‌های همدوس*: محاسبه‌ی انتگرال مسیر برای سامانه‌های فرمیونی آزاد، تبدیلات هابارد-استراتونوویچ

*مباحث ستاره‌دار با توجه به وقت و علایق استاد ارائه می‌شود.

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
-	+	**آزمون‌های نوشتاری:** +	
		عملکردی:	

منابع:

- P. Coleman, “Introduction to Many-Body Physics”, Cambridge University Press, 2015.
- H. Bruss and K. Flensberg, “Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter Physics”, Oxford University Press, 2016.
- W. Nolting, "Fundamentals of Many-Body Physics", Springer, 2009.
- A. Tsvelik, "Quantum Field Theory in Condensed Matter Physics", Cambridge University Press, 200۳.
- D. Lehmann, "Mathematical Methods of Many-Body Quantum Field Theory ", Chapman and Hall, 2005.

عنوان درس به فارسی: **موضوعات ویژه ۱** عنوان درس به انگلیسی: **Special Topics I**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	--------
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

سرفصل مطالب:

- این درس متناسب با موضوع پایان‌نامه یا رساله دانشجویان ارائه خواهد شد.

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
-	+	+	-

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
-	+	**آزمون‌های نوشتاری:** +	
		عملکردی:	

منابع:

عنوان درس به فارسی: **موضوعات ویژه ۲** عنوان درس به انگلیسی: **Special Topics II**	تعداد واحد: **۳** تعداد ساعت: **۴۸**	نوع واحد: **تخصصی-اختیاری**	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز: --------
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	**نظری**	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس:

سرفصل مطالب:

- این درس متناسب با موضوع پایان‌نامه یا رساله دانشجویان ارائه خواهد شد.

بخش عملی:

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
–	+	**آزمون‌های نوشتاری:** +	
		عملکردی:	

منابع: