

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دعای پیش از مطالعه

اَللّٰهُمَّ اَخْرِجْنِيْ مِنْ ظُلُمَاتِ الْوَهْمِ وَاكْرِمْنِيْ بِنُورِ الْفَهْمِ
اَللّٰهُمَّ افْتَحْ عَلَيْنَا اَبْوَابَ رَحْمَتِكَ وَاَنْشُرْ عَلَيْنَا خَزَائِنَ عُلُوْمِكَ
بِرَحْمَتِكَ يَا اَرْحَمَ الرَّاحِمِيْنَ

پروردگارا، خارج کن مرا از تاریکی های فکر و گرامی بدار به نور فهم
پروردگارا، بگشای بر مادرهای رحمت را و بگستران کنج های دانشت را به امید رحمت
تو ای مهربان ترین مهربانان

بیایید به حقوق دیگران احترام بگذاریم

دوست عزیز، این کتاب حاصل دسترنج چندین ساله ی مؤلف، مترجم و ناشر آن است. تکثیر و فروش آن به هر شکلی بدون اجازه از پدیدآورنده کاری غیراخلاقی، غیرقانونی، غیرشرعی و کسب درآمد از دسترنج دیگران است، نتیجه ی این عمل نادرست، موجب رواج بی اعتمادی در جامعه و بروز پی آمدهای ناگوار در زندگی و محیط ناسالم برای خود و فرزندانمان می گردد.



درسنامه فیزیک (اتمی و هسته‌ای)

ویژه کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک پزشکی

تألیف و گردآوری:

حامد مهدی کیا

سرشناسه

: مهدی کیا، حامد، ۱۳۶۹ -

عنوان و نام پدیدآور

: AGK درسنامه فیزیک (اتمی و هسته‌ای) ویژه کارشناسی ارشد رشته فیزیک پزشکی / تألیف و گردآوری
حامد مهدی کیا.

مشخصات نشر

: تهران: آناهید گستر خلیلی، ۱۴۰۳.

مشخصات ظاهری

: ۱۵۹ ص.: مصور، جدول، نمودار؛ ۲۲×۲۹ س.م.

شابک

: 978-622-4907-60-8

موضوع

: فیزیک هسته‌ای -- راهنمای آموزشی (عالی)
Nuclear physics -- Study and teaching (Higher)

رده‌بندی کنگره

: QC۷۷۶

رده‌بندی دیویی

: ۵۳۹/۷

شماره کتابشناسی ملی

: ۹۸۵۸۲۵۱



انتشارات آناهید گستر خلیلی

نام: AGK درسنامه فیزیک (اتمی و هسته‌ای)

(ویژه کارشناسی ارشد رشته فیزیک پزشکی)

تألیف و گردآوری: حامد مهدی کیا

ناشر: آناهید گستر خلیلی

نوبت و سال چاپ: اول. ۱۴۰۳

شمارگان: ۱۰۰۰

چاپ و صحافی: گیلان

مدیر تولید: امیرحسین خلیلی

مدیر فنی و هنری: مریم آرده

تایپ و صفحه‌آرایی: بیتا اندوزفر

بهاء: ۲۴۰۰۰۰ تومان

آموزشگاه/فروشگاه: ۰۲۱۶۶۵۶۸۶۲۱

مرکز پخش: ضلع جنوب غربی میدان انقلاب . جنب بانک پارسیان . مجتمع تجاری پارس . طبقه اول

مدیر فروش: ۰۹۱۹۱۶۸۵۹۷۰ (ارتباط از طریق پیامک)

 agkpublisher@gmail.com

 www.agkins.com

طلیحه سخن مدیر تولید:

سپردن کار به اهلش نشانه‌ی خردمندی است.

برای تولید بسته‌های آموزشی تمام تلاش خود را به کار گرفته‌ایم تا محصولی شایسته را تقدیم شما عزیزان نماییم.

مجموعه‌ای که پیش روی شماست براساس معتبرترین و به‌روزترین منابع کنکور و به قلم مجرب‌ترین اساتید تألیف شده است و مطالعه آن موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه شما خواهد شد. ارائه بالاترین آمار قبولی در کنکور کارشناسی ارشد و دکتری در دهه اخیر بیان‌گر توانایی این مجموعه در راستای اهداف آموزشی خود می‌باشد. اینک با اتکا به تجربه‌ای ۱۷ ساله می‌توانیم ادعا کنیم که مجموعه حاضر، بی‌شک از جمله کامل‌ترین و به‌روزترین بسته‌های آموزشی موجود در عرصه کنکور می‌باشد.

❧ برخی از ویژگی‌های بسته‌های آموزشی:

- منطبق با معتبرترین و به‌روزترین منابع کنکور
- گردآوری و تألیف توسط مجرب‌ترین اساتید کنکور
- تدریس مطالب از سطح پایه تا پیشرفته به بیان ساده و روان
- انتقال بهتر مفاهیم با استفاده از شکل، جدول و نمودار
- تألیف مبتنی بر نحوه‌ی طراحی سوالات کنکور
- مطالعه یک منبع منسجم به جای مطالعه چندین منبع مختلف
- منبعی خودآموز و بدون نیاز به مدرس

اینک علاوه بر مطالعه بسته‌های آموزشی استفاده از خدمات و محصولات زیر را به عنوان ضمانتی برای قبولی به شما داوطلبان عزیز توصیه می‌کنم؛

❧ آزمون‌های آزمایشی: خوش بود گر محک تجربه آید به میان

داوطلب شجاع کیست؟ داوطلبی است که خود را مورد سنجش (خود را با خود) و ارزیابی (خود را با دیگران) قرار دهد تا پیش از کنکور به نقاط ضعف خود پی ببرد و آن‌ها را تقویت نماید. آزمون‌های آزمایشی دارای یک برنامه‌ریزی منسجم است و به شما اولتیماتوم می‌دهد. یعنی شما باید در یک زمان معین مطالب معینی را مطالعه نمایید.

آزمون‌های آزمایشی مجموعه دارای سوالات استاندارد، پاسخنامه تشریحی و کارنامه تحلیلی می‌باشد. صادقانه شرکت در آزمون‌های آزمایشی را به شما عزیزان توصیه می‌کنم.

❧ مشاوره تخصصی و برنامه‌ریزی: زیر نظر حرفه‌ای‌ها درس بخوانید ...

در صورتی که نمی‌توانید با توجه به زمان آزادتان برنامه‌ی مطالعاتی استاندارد را برای خود تدوین کنید حتماً از افراد متخصص کمک بخواهید. افرادی که تجربیات خود را صادقانه در اختیار شما قرار می‌دهند و برنامه‌ریزی مناسب با شرایط شما را انجام می‌دهند.

📖 کتاب تست:

کوچک‌ترین واحد یادگیری در کنکور، تست است.

شما می‌توانید برای این‌که سطح یادگیری خود را پس از مطالعه بسنجید از کتاب‌های تست مجموعه (تست کنکور) و ماطراحان (تست‌های تألیفی) استفاده کنید. این کتاب‌ها به‌صورت موضوعی طبقه‌بندی شده‌اند و می‌توانند نحوه‌ی طرح سوالات کنکور و سطح آن‌ها را به‌صورت واضح به شما نشان دهند.

📖 درسنامه‌های نکات داغ و کتاب‌های الگوریتم مناسب‌ترین منابع برای دوران مرور و جمع‌بندی:

بیش‌تر داوطلبان حین مطالعه نگران خلاصه‌نویسی و مرور آموخته‌های خود هستند و برای خلاصه‌نویسی زمان زیادی را صرف می‌کنند. اینک به شما مژده می‌دهیم که این‌بار زمان به نفع شما در حال گذر است و دیگر با استفاده از درسنامه‌های نکات داغ و کتاب‌های الگوریتم نیاز به خلاصه‌نویسی ندارید.

شما می‌توانید نظرات، انتقادات و پیشنهادهای سازنده خود را در مورد بسته‌های آموزشی به شماره‌تلفن همراه ۰۹۱۹۱۶۸۵۹۷۰ فقط و فقط پیامک نمایید.

مشاور و مدیر تولید

امیرحسین خلیلی

طلیحه سخن مؤلف:

شکر و سپاس خداوند منان را که توفیق خدمتی دیگر به ما ارزانی داد. درس فیزیک اتمی و هسته‌ای به دلیل جذاب بودن مطالب، قدرت ریسک پایین در پاسخگویی به سوالات و داشتن ضریب بالا در کنکور کارشناسی ارشد رشته فیزیک پزشکی در بین داوطلبان ورود به این رشته حائز اهمیت به سزایی است.

کمبود منابع مطمئن و کامل و گستردگی و پراکندگی مطالب ارائه شده در این درس بزرگ‌ترین چالش دانشجویان در برنامه‌ریزی زمانی در این درس به شمار می‌آید. همین امر ما را بر آن داشت تا مجموعه حاضر را گردآوری کنیم. کتاب حاضر شامل دو بخش کلی با عناوین فیزیک اتمی (مدرن) و فیزیک هسته‌ای می‌باشد که جزو مهم‌ترین دروس در حوزه فیزیک به شمار می‌روند. بخش اول شامل ۶ فصل می‌باشد که از جنبه‌های پیدایش فیزیک مدرن تا فیزیک اتمی و کوانتومی را شامل می‌شود.

بخش دوم نیز در ۷ فصل به طور کامل مباحث مطرح شده در فیزیک هسته‌ای را پوشش می‌دهد. نکته‌ای که حائز اهمیت است آن است که در تدوین این مجموعه سعی بر آن شده حجم و گستردگی مطالب بیان شده در هر مبحث متناسب با تعداد سوالات مطرح شده از آن مبحث در کنکورهای سال‌های قبل تعیین شود به این صورت که مطالبی که در سال‌های اخیر بیش‌تر مورد توجه طراحان سوال بوده با جزئیات بیش‌تری ارائه شده است. علاوه بر ۱۳ فصل فوق، ۳ پیوست نیز به مطالب کتاب اضافه شده که سطح مطالب آن‌ها اندکی از سطح کتاب بالاتر می‌باشد اما مطالعه آن‌ها هم‌زمان با مطالعه مطالب مرتبط در کتاب جهت تکمیل مطالعات به داوطلبان و دانشجویان گرامی توصیه می‌شود. در پایان ضمن آرزوی توفیق روز افزون برای همگی داوطلبان گروه مؤلفین از ارائه هر گونه پیشنهاد و انتقادی در راستای افزایش کیفیت مطالب کتاب از چاپ‌ها بعدی استقبال می‌کند. هم‌چنین از انتشارات آناهید گستر خلیلی بابت همکاری و حمایت در چاپ این مجموعه نهایت تشکر و قدردانی را به عمل می‌آوریم.

با احترام

حامد مهدی‌کیا

فصل اول: پیدایش فیزیک جدید.....	۹
فصل دوم: جنبه‌های ذره‌ای امواج.....	۱۸
فصل سوم: جنبه‌های موجی ذرات.....	۲۹
فصل چهارم: معادله شرودینگر و احتمال.....	۳۵
فصل پنجم: الگوهای اتمی.....	۴۳
فصل ششم: اتم هیدروژن گونه.....	۵۸
فصل هفتم: خواص اساسی هسته‌ها.....	۷۰
فصل هشتم: نیروی هسته‌ای و خواص آن.....	۸۸
فصل نهم: مدل‌های هسته‌ای.....	۹۲
فصل دهم: رادیواکتیویته.....	۱۰۲
فصل یازدهم: اندرکنش تابش با ماده.....	۱۲۱
فصل دوازدهم: واکنش‌های هسته‌ای.....	۱۲۹
فصل سیزدهم: آشکارسازها و شمارشگرهای هسته‌ای.....	۱۳۵
منابع.....	۱۴۶
پیوست.....	۱۴۷

پیدایش فیزیک جدید

۱. آزمایش مایکلسون - مورلی

در این آزمایش می‌خواهیم سرعت نور را در چند دستگاه لخت مختلف اندازه بگیریم و ببینیم آیا این سرعت در دستگاه‌های مختلف متفاوت است یا نه؟ و اگر چنین باشد، آیا دلیلی برای وجود یک دستگاه یگانه یعنی (چارچوب اتر) وجود دارد که سرعت نور در آن برابر با C پیش‌بینی شده به وسیله نظریه الکترومغناطیس باشد؟ برای پاسخ به این سوال بهتر است ابتدا با مفهوم اتر بیش‌تر آشنا شویم:

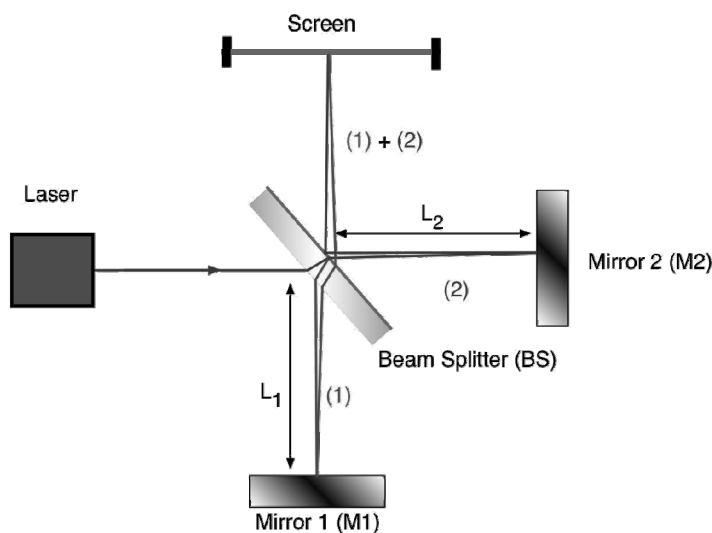
از نظر تاریخی به محیط انتشار نور اتر می‌گفتند زیرا در آن زمان، غیرقابل تصور بود که یک آشفتگی الکترومغناطیسی بتواند در فضای خالی انتشار یابد، از این‌رو مفهوم اتر اختراع شد. تنها خاصیت برجسته منسوب به اتر آن بود که آشفتگی‌های الکترومغناطیس را با خود حمل می‌کرد و این‌که سرعت نور در دستگاه لختی که اتر در آن مجال سکون دارد، برابر C بود. وقتی می‌گوییم سرعت صوت در هوای خشک و در صفر درجه سانتی‌گراد 331 m/s است، در ذهنمان یک ناظر و یک دستگاه مرجع مجسم می‌کنیم که نسبت به توده هوایی که صوت در آن حرکت می‌کند، ساکن‌اند. سرعت صوت برای ناظرهایی که نسبت به این توده هوا حرکت می‌کنند، دقیقاً به وسیله تبدیلات گالیله‌ای سرعت داده می‌شود. اما وقتی می‌گوییم سرعت نور در خلاء $C = 299792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ است، به هیچ‌وجه معلوم نیست که به چه دستگاه مرجعی اشاره شده است. دستگاه مرجعی که نسبت به محیط انتشار نور ساکن باشد، اشکالاتی ایجاد می‌کند زیرا در این مورد برخلاف صوت، به نظر نمی‌رسد که محیطی وجود داشته باشد. با وجود این؛ همان‌طور که گفته شد، برای فیزیک‌دانان قرن نوزدهم غیرقابل تصور بود که نور و دیگر امواج الکترومغناطیسی برخلاف تمام انواع دیگر امواج بتوانند بدون هیچ‌گونه محیطی منتشر شوند. به نظر می‌رسید که فرض محیطی به نام اتر یک قدم منطقی باشد، هرچند برای توجیه آشکارناپذیری آن لازم بود که برایش خواصی غیرعادی مثل چگالی صفر و شفافیت کامل و کشمندی کامل در نظر گرفت. فرض شده بود که اتر تمام فضا را پر می‌کند و محیطی است که سرعت نور نسبت به آن C است. لذا نتیجه می‌شد که ناظری که در اتر با سرعت $\vec{V}$ حرکت می‌کند، سرعت یک باریکه نور را برابر $\vec{C}'$ به دست می‌آورد. به طوری که $\vec{C}' = \vec{C} + \vec{V}$. برای امتحان این نتیجه بود که آزمایش مایکلسون - مورلی طرح‌ریزی شد. اگر اتری وجود داشته باشد، زمین دوران‌کننده و چرخان می‌باید در آن حرکت کند و ناظری که در روی زمین ایستاده، می‌باید یک باد اتری احساس کند که با سرعت V نسبت به زمین حرکت می‌کند.

اگر فرض کنیم V برابر با سرعت حرکت انتقالی زمین به دور خورشید در حدود 30 km/s باشد، داریم $\frac{V}{C} = 10^{-4}$ آزمایش‌های نوری که دقت آن‌ها تا مرتبه اول $\frac{V}{C}$ بود، قادر نبودند حرکت مطلق زمین در اتر را آشکار کنند اما فرنل و بعداً لورنتس نشان دادند که چگونه این نتیجه می‌تواند به وسیله نظریه اتر توجیه شود ولی توجیه آن‌ها اشکالاتی داشت به طوری که مسأله به وسیله آزمایش‌هایی که دقت آن‌ها تا مرتبه اول $\frac{V}{C}$ بود حقیقاً به طور رضایت‌بخشی حل نشد.

عقیده عموم بر این بود که برای اثبات غیرمبهم فرضیه اتر می‌باید آزمایشی ترتیب داد که بتواند اثرات مرتبه دوم را اندازه بگیرد. اثر مرتبه اول بزرگ نیست $\frac{V}{C} = 10^{-4}$ ولی اثر مرتبه دوم آن حقیقاً خیلی کوچک است $\frac{V^2}{C^2} = 10^{-8}$ مایکلسون تداخل‌سنجی اختراع کرد که حساسیت قابل ملاحظه آن انجام چنین آزمایشی را ممکن ساخت. مایکلسون نخست در سال ۱۸۸۱ آزمایش را انجام داد و سپس با همکاری مورلی در سال ۱۸۸۷ آزمایش دقیق‌تری را که پایه تجربی نظریه نسبیت قرار گرفت، ارائه کرد. به خاطر اختراع تداخل‌سنج و همچنین انجام آزمایش‌های نوری متعدد جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۰۷ به مایکلسون اعطا شد.

شرح آزمایش مایکلسون-مورلی

اکنون به توضیح آزمایش می‌پردازیم؛ تداخل‌سنج مایکلسون در روی زمین ثابت است. اگر تصور کنیم که اتر نسبت به خورشید ساکن است، زمین و تداخل‌سنج‌ها با سرعت 30 km/s در آن حرکت می‌کنند. این حرکت در فصول مختلف در جهات مختلف انجام می‌گیرد و در این آزمایش از حرکت چرخشی زمین صرف نظر می‌کنیم. باریکه نور ایجاد شده توسط چشمه آزمایشگاهی S که نسبت به تداخل‌سنج ساکن است به وسیله آینه نیمه نقره‌اندود P به دو باریکه هم‌دوس تقسیم می‌شود. باریکه ۱ از P عبور می‌کند و باریکه ۲ به وسیله آن بازتابیده می‌شود. باریکه‌های ۱ و ۲ پس از بازتاب توسط آینه‌های S_1 و S_2 به طرف P برمی‌گردند.



❖ آینه نقره‌اندود از یک لایه نقره‌ای نازک پوشیده شده و نیمی از نور فرودی را بازتاب و نیمی دیگر را از خود عبور می‌دهد. سپس قسمتی از باریکه برگشتی ۱ توسط P بازتابیده می‌شود و همراه با قسمتی از باریکه بازگشتی ۲ که از P عبور کرده است، وارد دوربین چشمی F می‌شوند و در آن جا با هم تداخل می‌کنند. این تداخل بسته به اختلاف فاز باریکه‌های نور سازنده یا ویرانگر خواهد بود. سطح آینه نیمه نقره‌اندود P با راستای باریکه‌های نور زاویه 45° می‌سازد. اگر آینه‌های S_1 و S_2 با تقریب بسیار خوبی عمود بر یکدیگر باشند. در دوربین یک دسته فریز با خطوط تقریباً موازی روشن و تاریک مشاهده می‌کنیم.

جنبه‌های ذره‌ای امواج

نظریه فوتون

فرض اساسی نظریه کوانتوم بر این است که تابش الکترومغناطیس از ذرات یا بسته‌های موجی با انرژی‌های مجزا به نام فوتون تشکیل شده است. انرژی هر کدام از این بسته‌های موج از رابطه $E = h\nu$ به دست می‌آید که در آن ν فرکانس موج الکترومغناطیس و h ثابت بنیادی نظریه کوانتومی یا ثابت پلانک می‌باشد و مقدار $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ می‌باشد. این کمیت را نخستین بار پلانک در سال ۱۹۰۰ در تعبیر تابش جسم سیاه به کار برد و اهمیت آن را درک کرد. همان‌طور که از رابطه فوق پیداست انرژی هر فوتون تنها به فرکانس آن بستگی دارد. از آنجایی که فوتون‌ها با سرعت نور حرکت می‌کنند طبق نظریه نسبیت باید جرم سکون صفر داشته باشند از این‌رو انرژی آن‌ها از نوع جنبشی می‌باشد. در نتیجه اگر فوتونی با سرعت C حرکت کند و برهم‌کنش انجام دهد که تمام انرژی خود را از دست دهد، ساکن شده و از بین می‌رود.

رابطه تکانه- انرژی برای یک فوتون از رابطه $E = PC$ به دست می‌آید.

$$P = \frac{E}{C} = \frac{h\nu}{C} = \frac{h}{\lambda}$$

شدت پرتو الکترومغناطیس: برای یک باریکه تک بسامد (تک رنگ) شدت پرتو با تعداد فوتون‌های گذرنده از واحد سطح در واحد زمان متناسب است.

$$I = \frac{n(h\nu)}{s.t}$$

در رابطه فوق s مساحت سطح و t زمان تابش است.

اثر فتوالکتریک

اثر فتوالکتریک توسط هایزبریش هرتز در سال ۱۸۸۷/۱۲۶۶ در جریان آزمایش‌هایی کشف شد که هدف عمده آن‌ها تأیید پیشگویی‌های نظری ماکسول (۱۸۶۴/۱۲۴۳) در مورد وجود امواج الکترومغناطیسی حاصل از جریان‌های الکتریکی نوسانی بود.

جنبه‌های موجی ذرات

امواج دوبروی

در فصل قبل در بررسی آزمایش‌هایی مانند اثر کامپتون، اثر فوتوالکتریک، دو شکاف و ... به این واقعیت پی بردیم که موج یا فوتون خواص ذره‌گونه دارند- در واقع این آزمایش‌ها به نحوی سرشت یا طبیعت دوگانه موج- ذره را بیان می‌کنند. دوبروی دانشمند فرانسوی فرض کرد اجسام مادی نیز دارای این سرشت دوگانه هستند وی پیشنهاد کرد به هر ذره مادی که با تکانه P حرکت می‌کند موجی با طول موج λ وابسته کنیم که بعدها به طول موج دوبروی معروف شد.

$$\lambda = \frac{h}{P} \text{ و } v = \frac{E}{h}$$

دو کمیت سمت چپ معادلات فوق تنها زمانی معنی دارند که یک موج را توصیف کنند.

و کمیت‌های سمت راست مربوط به ذره (انرژی و تکانه) می‌باشند.

مهم‌ترین تفاوت بین موج و ذره این است که ذره می‌تواند جایگزیده شود در حالی که یک موج معمولاً منتشر می‌شود و بخش نسبتاً بزرگی از فضا را اشغال می‌کند.

باتوجه به این که ثابت پلانک عدد بسیار کوچکی است برای اجسام بزرگ که جرم زیادی دارند طول موج دوبروی قابل بررسی نخواهد بود اما برای اجسام کوچک با جرم کم قابل محاسبه خواهد بود به عنوان مثال برای الکترونی که در ولتاژ V شتاب گرفته باشد، می‌توان طول موج دوبروی را از رابطه‌ی زیر به دست آورد.

$$K = \frac{P^2}{2m} \quad K = eV \longrightarrow P^2 = 2meV$$

$$P = \sqrt{2meV} \longrightarrow \lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

معادله شرودینگر و احتمال

اروین شرودینگر در سال ۱۹۲۶ معادله‌ای برای رفتار ذرات ریز پیشنهاد کرد که براساس اصل پایداری انرژی بود:

$$K + U = E \quad (۴-۱)$$

که در آن K انرژی جنبشی، U انرژی پتانسیل، E انرژی کل است که می‌بایست با فرض دوبروی سازگار باشد. یعنی به‌عنوان مثال اگر محاسبه ریاضی برای ذره آزادی به تکانه p انجام شود، باید موجی با طول موج $\lambda = \frac{h}{p}$ به‌دست آید.

اگر رابطه فوق را در تابع موج منسوب به ذره ضرب کرده و به‌جای انرژی جنبشی ذره معادل آن یعنی $\frac{p^2}{2m}$ را قرار دهیم. با توجه به این‌که در مکانیک کوانتومی کمیت‌هایی مانند تکانه و انرژی به‌صورت عملگر تعریف می‌شوند. به‌جای p معادل آن یعنی $\left(\hat{p} = i\hbar \frac{\partial}{\partial x}\right)$ را قرار دهیم به رابطه زیر برای موج-ذره در فضای یک بعدی x خواهیم رسید.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + U\psi = E\psi \quad (۴-۲)$$

معادله بالا یک معادله دیفرانسیل مرتبه دومی است که با پایداری انرژی سازگار است و درضمن خطی و تک مقدار است. همچنین این معادله به‌لحاظ ریاضی "خوش‌رفتار" می‌باشد.

توجه داریم که ψ تابع موج متناسب به ذره‌ای به‌جرم m است.

اکنون اگر $P(x)$ را چگالی احتمال یعنی احتمال بر واحد طول در یک بعد، تعریف کنیم، داریم:

$$P(x)dx = |\psi(x)|^2 dx \quad (۴-۳)$$

در معادله بالا $|\psi(x)|^2 dx$ احتمال یافتن ذره در فاصله dx بین x و $(x + dx)$ را به‌دست می‌دهد. بنابراین احتمال یافتن این ذره در فاصله بین x_1 و x_2 برابر است با:

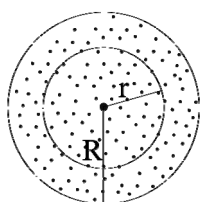
$$P = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 dx \quad (۴-۴)$$

۱. الگوی تامسون (مدل کیک کشمش)

تا سال ۱۹۱۰ شواهد تجربی زیادی نظیر پراکندگی پرتوهای x توسط اتم‌ها، اثر فتوالکتریک و ... به دست آمده بودند که جملگی از وجود الکترون‌ها در اتم حکایت می‌کردند. این گونه آزمایش‌ها برای Z یعنی تعداد الکترون‌های یک اتم برآورد تقریبی $\frac{A}{4}$ یعنی نصف وزن اتمی شیمیایی اتم مورد نظر را به دست دادند. از آن جایی که اتم‌ها معمولاً خنثی‌اند باید بار مثبتی به بزرگی بار منفی حمل شده توسط مکملشان یعنی الکترون‌ها داشته باشند. بدین ترتیب اتم خنثی بار منفی $(-Ze)$ به‌ازای الکترون‌ها و نیز بار مثبتی هم‌اندازه با آن $(+Ze)$ برای هسته دارد که e بار الکترون است. این که جرم الکترون حتی در مقایسه با جرم سبک‌ترین اتم بسیار کوچک است نشان می‌دهد که بخش اعظم جرم اتم باید به بار مثبت آن مربوط باشد.

این ملاحظات به‌طور طبیعی مسأله‌ی توزیع بارهای مثبت و منفی در درون اتم را مطرح ساختند. جوزف تامسون یک تصویر آزمایشی یا الگو برای اتم پیشنهاد کرد که بنابر آن الکترون‌های با بار منفی در درون توزیع پیوسته‌ای از بار مثبت قرار می‌گرفتند. در این الگو فرض می‌شد که توزیع بار مثبت شکل کروی دارد و شعاع آن در حدود شعاع شناخته شده‌ی اتم یعنی 10^{-10} m است. الکترون‌ها به‌علت رانش متقابلشان در سرتاسر کره با بار مثبت به‌طور یکنواخت توزیع می‌شوند. در شکل زیر الگوی کیک کشمش اتم نشان داده شده است.

در اتمی که به پایین‌ترین سطح خود از نظر انرژی قرار دارد الکترون‌ها در مکان‌های تعادلشان ثابت می‌مانند. در اتم‌های برانگیخته مانند اتم‌های جسمی در دمای زیاد الکترون‌ها حول مکان‌های تعادلشان ارتعاش می‌کنند، چون نظریه‌ی الکترومغناطیس کلاسیک پیشگویی می‌کند که یک جسم باردار دارای شتاب، مانند یک الکترون مرتعش تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌دارد. درک کیفی تابش گسیل‌یافته توسط اتم‌های برانگیخته بر پایه‌ی الگوی تامسون امکان‌پذیر بود ولی توافق کمی با طیف‌هایی که از راه تجربه مشاهده شده بودند وجود نداشت.



الگوی اتمی تامسون
کره‌ای با بار مثبت
که الکترون‌ها درون آن
نشانه شده‌اند.

اتم هیدروژن گونه

در این فصل جواب‌های معادله شرودینگر را برای اتم هیدروژن بررسی می‌کنیم. خواهیم دید این جواب‌ها همان ترازهای انرژی در مدل اتمی بور هستند اما به لحاظ در نظر گرفتن عدم قطعیت در مکان الکترون با مدل بور فرق دارند. دیگر نارسایی‌های مدل بور با حل معادله شرودینگر به آسانی قابل توجیه نیستند به عنوان مثال شکافتگی ساختار ریز خط‌های طیفی را نمی‌توان با این معادله توجیه کرد توضیح این اثر نیاز به شناخت یک ویژگی ذاتی الکترون به نام اسپین دارد.

معادله شرودینگر در مختصات کروی

همان‌طور که گفته شد شکل معادله شرودینگر در مختصات دکارتی در سه بعد به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial z^2} \right) + U(x, y, z) \psi = E \psi$$

از طرفی انرژی پتانسیل برای نیروی بین هسته و الکترون عبارت است از:

$$U = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \Rightarrow U(x, y, z) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

با این تغییر متغیر شکل معادله شرودینگر در دستگاه کروی به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \left[\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} \right] + U(r, \theta, \phi) \psi = E \psi$$

معادله‌ی اخیر را معادله‌ی لاگر می‌نامند. در معادله‌ی فوق تنها جواب‌هایی را در نظر می‌گیریم که قابل جدا شدن هستند و می‌توان آن‌ها را به صورت حاصل ضرب عوامل درآورد:

$$\psi = \psi(r, \theta, \phi) = R(r)\Theta(\theta)\Phi(\phi)$$

$\Phi(\phi)$ تابع سمتی، $\Theta(\theta)$ تابع قطبی و $R(r)$ تابع شعاعی می‌باشند.

خواص اساسی هسته‌ها

تعاریف اولیه

پس از کشف هسته‌ای اتم توسط رادرفورد و پس از آن کشف نوترون توسط چادویک زمینه تلاش‌های بیش‌تر برای شناخت هسته اتم به‌وجود آمد. اگر یکای بنیادی بار را e برای الکترون بگیریم مقدار این بار برای پروتون $+e$ و برای هسته‌ی سایر اتم‌ها برابر با Ze خواهد بود که در آن Z تعداد پروتون‌های موجود در هسته اتم است که شناسه هر اتم محسوب می‌شود و به آن عدد اتمی می‌گویند. در ساختار اتم خنثی تعداد Z پروتون و Z الکترون وجود دارد.

عدد جرمی: نزدیک‌ترین عدد صحیح به نسبت جرم هر هسته به یکای بنیادی جرم را عدد جرمی می‌گویند.

(جرم پروتون) یکای بنیادی جرم $\times$ عدد صحیح = جرم هسته

$$M = A \times m_p \Rightarrow A \approx \frac{M}{m_p}$$

این عدد مجموع نوکلئون‌های موجود در هسته را نشان می‌دهد. زیرا در هسته علاوه بر پروتون ذره دیگری به‌نام نوترون نیز وجود دارد که جرم آن تقریباً برابر با جرم پروتون است. پس: $A = Z + N$ تعداد نوترون‌های موجود در هسته بزرگ‌تر یا مساوی با تعداد پروتون‌های آن است.

$$N \geq Z \longrightarrow \frac{N}{Z} \geq 1$$

این نسبت با افزایش عدد جرمی (تعداد نوکلئون‌ها) افزایش می‌یابد. بنابراین نسبت عدد جرمی به عدد اتمی یک عنصر همواره بزرگ‌تر یا مساوی با ۲ خواهد بود.

$$\frac{A}{Z} \geq 2$$

برای هسته‌های سبک تا $Z=20$ عدد نوترونی و عدد اتمی با هم برابر می‌باشد و در نتیجه طبق نمودار شکل زیر با افزایش تعداد نوکلئون‌ها، پراکندگی هسته‌ها از خط $N=Z$ دور می‌شود. خط $N=Z$ را خط پایداری می‌گویند و هسته‌هایی که از این خط دور می‌شوند، اصطلاحاً به‌سمت ناپایداری می‌روند.

نیروی هسته‌ای و خواص آن

بدون انجام هرگونه آزمایشی می‌توان گفت نیروی بین دو نوکلئون می‌تواند دارای خواص زیر باشد:

- (۱) این نیرو در فواصل کوتاه قوی‌تر از نیروی کولونی است زیرا نیروی هسته‌ای می‌تواند بر نیروی دافعه کولونی بین پروتون‌ها غلبه کند و آن‌ها را کنار هم نگه دارد.
- (۲) نیروی هسته‌ای در بردهای بلند در حدود ابعاد اتم به قدری ضعیف می‌شود که قابل صرف‌نظر کردن است.
- (۳) نیروی هسته‌ای روی بعضی از ذرات مثل الکترون‌ها اثر ندارد.
- (۴) نیروی بین نوکلئون‌ها مستقل از نوع آن‌هاست (خاصیت استقلال از بار)
- (۵) نیروی بین نوکلئون‌ها علاوه بر قسمت جاذبه یک قسمت دافعه نیز دارد که نوکلئون‌ها را در فاصله معینی از هم نگه می‌دارد.
- (۶) این نیرو به موازی یا پادموازی بودن اسپین نوکلئون‌ها بستگی دارد.
- (۷) این نیرو دارای یک مولفه غیرمرکزی است که باعث ناپایستگی در تکانه زاویه‌ای می‌شود.

انواع نیروها یا میدان‌ها در طبیعت

در حال حاضر ۴ نیرو یا میدان در طبیعت شناخت شده است که عبارتند از: گرانش، الکترومغناطیس، نیروی هسته‌ای ضعیف و نیروی هسته‌ای قوی

نیروی گرانشی

این نیرو زائیده جرم ماده است و نقش مهمی در پایداری سیستم منظومه شمسی برعهده دارد ولی بین اتم‌ها و هسته‌ها تقریباً قابل اغماض است. ذره بنیادی حامل این نیرو گراویتون نام دارد.

نیروی الکترومغناطیس

این نیرو اتم‌ها و مولکول‌ها را کنار هم نگه داشته و مسئول برهم‌کنش بین آن‌هاست. واحد بنیادی حامل این نیرو فوتون نام دارد.

مدل‌های هسته‌ای

در فیزیک اتمی، قوانین نیرو به خوبی ثابت شده است؛ لذا تمام مدل‌های اتمی بر مبنای این قوانین ساخته شده‌اند. اما برای هسته، شکل قطعی قوانین نیرو معلوم نیست؛ بنابراین برای توضیح رضایت‌آمیز تمامی مشخصات هسته‌های پایدار و ناپایدار یک مدل تنها موجود نیست. مدل‌های مختلفی برای ساختار هسته‌ای اتم وجود دارند؛ اما تاکنون مدلی که بتواند تمامی خواص و آثار را در هسته توجیه کند وجود نداشته و هر مدلی قادر است تنها بخشی از این خواص را توجیه کند.

برخی از این مدل‌ها عبارتند از:

- مدل لایه‌ای (پوسته‌ای)
- مدل قطره مایع
- مدل هسته مرکب
- مدل اپتیکی
- مدل اندرکنش مستقیم
- مدل تجمعی
- مدل گاز فرمی

در زیر به برخی از مهم‌ترین مدل‌های هسته‌ای اشاره خواهیم کرد:

(۱) مدل کلی ذرات مستقل

فرض این مدل بر آن است که ذرات داخل هسته در پایین‌ترین مرتبه انرژی خود به‌طور مستقل تحت تاثیر پتانسیل هسته قرار می‌گیرند و هیچ‌گونه جفت‌شدگی و برهمکنشی بین آن‌ها نیست.

از جمله مدل‌های هسته‌ای که در این مدل قرار می‌گیرند مدل گاز فرمی و مدل لایه‌ای یا پوسته‌ای می‌باشند.

رادیواکتیویته طبیعی

برخی از عناصر طبیعی با گسیل تابش ذره‌ای و یا الکترومغناطیسی، به گونه‌ای خود به خود به عنصر دیگری تبدیل می‌شوند. این عناصر را رادیواکتیو طبیعی و این ویژگی را رادیواکتیویته طبیعی می‌نامند. در طبیعت تاکنون حدود ۴۰ عنصر طبیعی شناخته شده است که عدد اتمی فعال‌ترین آن‌ها بیش از ۸۰ است. نخستین بار در سال ۱۸۹۶ بکرل با مطالعه ویژگی فلورسانس و فسفرسانس ترکیبات گوناگون، آزمایش قاطعی انجام داد که به فهم بیش‌تر هسته منجر شد وی نور را به چند قطعه سولفات اورانیوم و پتاسیم تابانیده و سپس آن‌ها را در کاغذ سیاهی پیچیده و بسته را همراه با یک تیغه نقره‌ای در کنار صفحه حساس عکاسی قرار داد. به‌طوری که تیغه نقره‌ای بین بسته و صفحه حساس قرار داشت. بعد از چند ساعت صفحه عکاسی را ظاهر نمود و مشاهده کرد که صفحه عکاسی سیاه شده است. از این‌جا نتیجه گرفت که پرتوی از این ترکیبات گسیل شده است که از کاغذ سیاه و نقره عبور کرده و روی صفحه حساس اثر گذاشته است. بعدها رادفورد نشان داد که تابشی که از سولفات اورانیوم گسیل می‌شود می‌تواند هوای میان دو صفحه فلزی را که بارهای مخالفی دارند، یونیزه کرده و به این ترتیب آن را رسانا نماید.

مطالعات سازمان‌یافته ماری کوری بر روی ترکیبات و عناصر گوناگون نشان داد که این اثر یک پدیده اتمی می‌باشد، ولی با بررسی‌های شیمیایی که به کمک همسرش انجام داد دریافت که این فعالیت یا توانائی یونش تنها به اورانیوم محدود نمی‌شود بلکه دو عنصر طبیعی دیگر یعنی رادیوم و پولونیوم نیز این توانائی را دارا می‌باشند. می‌توان نشان داد که فعالیت عناصر رادیواکتیو در نتیجه گسیل سه نوع پرتو گوناگون می‌باشد برای این منظور مطابق شکل ۱ یک تکه رادیوم را ته شکاف عمیقی که در یک تکه سرب درست شده است، قرار می‌دهیم. پرتوهایی از میان صفحات m و m' یک خازن که یک اختلاف پتانسیل مستقیم بین آن‌ها برقرار است عبور می‌کنند و به صفحه عکاسی P می‌رسند بعد از ظاهر نمودن صفحه عکاسی سه لکه روی آن دیده می‌شود. یک لکه مربوط به پرتوهای خنثی است که منحرف نمی‌شوند (پرتوهای گاما) و درست روبروی شکاف قرار دارد. دو طرف این لکه دو لکه دیگر وجود دارد، یکی از این لکه‌ها کمی از لکه مرکزی فاصله دارد و مربوط به ذرات مثبت (و سنگین‌تر) است. (پرتوهای الفا) و دیگری که بیش‌تر از لکه مرکزی فاصله گرفته مربوط به ذره منفی است (پرتوهای بتا). وقتی اختلاف پتانسیل میان صفحات خازن را کم کرده و آزمایش را تکرار

اندر کنش تابش با ماده

در این فصل، سازوکار برهم کنش پرتوی پرنرژی با ماده، مورد بحث قرار می گیرد. به طور کلی دو نوع تابش وجود دارد: تابش های یونیزان و تابش غیر یونیزان.

تابش یونیزان: هنگام عبور از ماده باعث برانگیختگی اتم های موجود در ماده می شود. از جمله پرتوهایی که در رده تابش یونیزان قرار می گیرند می توان به تابش بتا (الکترون و پوزیترون)، تابش آلفا، نوترون و پرتوهای الکترومغناطیس ایکس و گاما اشاره کرد. تابش یونیزان عموماً شامل برخوردهای غیرالاستیک می باشد.

نکته ای که وجود دارد آن است که در این بین نوترون ها برخلاف سایر تابش ها به طور غیرمستقیم باعث یونیزاسیون و برانگیزش می شوند. تابش غیر یونیزان: این تابش باعث تغییر در انرژی اتم ها نمی شود و تنها برخورد الاستیک با اتم های ماده انجام می دهد. این تابش بخشی از طیف الکترومغناطیس شامل اشعه فرابنفش، نور مرئی، مادون قرمز، میکروموج و امواج رادیویی، پرتوهای لیزر (نور با شدت بالا و تکفام) و امواج اولتراسوند (فراصوت) را شامل می شود.

این فصل به سه بخش تقسیم می شود:

(۱) برهم کنش ذرات باردار نظیر e^- ، e^+ ، p ، α ، 2D (با انرژی 10 keV تا 10 MeV).

(۲) برهم کنش پرتوهای الکترومغناطیس (فوتون ها پرنرژی نظیر پرتوی X و γ)

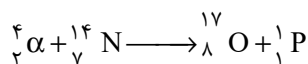
(۳) برهم کنش نوترون

سازوکار برهم کنش ذرات باردار

ذرات آلفا پرتوهایی تک انرژی و ذرات بتا و پوزیترون تابش های چند انرژی محسوب می شوند. این ذرات هنگام عبور از میان ماده (هدف)، با الکترون های منفی و هسته های مثبت اتم یا مولکول های هدف برهم کنش می کند و با تولید جفت یون، انرژی خود را از دست می دهند. این انرژی توسط الکترون اتم های نزدیک مسیر جذب و به برانگیختگی یا یونیزاسیون اتم ها می انجامد. سازوکار غالب در کاهش انرژی ذرات باردار پراکندگی کولونی می باشد اما در این محدوده انرژی (10 keV تا 10 MeV)، یونیزاسیون بیش از برانگیختگی اتفاق می افتد. به همین دلیل، پرتوهای پرنرژی را پرتوهای یونساز نیز می نامند. به طور کلی، احتمال برخورد غیرالاستیک چنان زیاد است که برای توقف کامل ذرات باردار به ماده ی بسیار ضخیم نمی باشد.

واکنش‌های هسته‌ای

نخستین واکنش هسته‌ای در سال ۱۹۱۹ توسط رادرفورد انجام شد. او هنگامی که باریکه آلفا را از هدفی از جنس نیتروژن (ازت) عبور داد متوجه تولید گونه ^{17}O شد.



از آن زمان به بعد طی مدت کوتاهی تقریباً تمام واکنش‌های هسته‌ای شناخته شده که می‌توانست توسط انرژی‌های بمبارانی ($\leq 10\text{Mev}$) انجام گیرد کشف شد.

تقسیم‌بندی واکنش‌های هسته‌ای به لحاظ انرژی

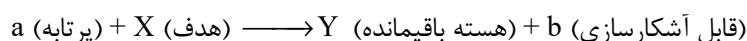
(۱) انرژی‌های پایین ($\leq 10\text{Mev}$)

(۲) انرژی‌های متوسط ($10\text{Mev} - 1\text{Gev}$) واکنش‌های تولید مزون و تبدیل $n-p$

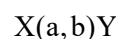
(۳) انرژی‌های بالا $\geq 1\text{Gev}$ به هم خوردن آرایش کوارک‌ها در داخل هسته

نمادگذاری واکنش‌های هسته‌ای

یک واکنش هسته‌ای به شکل ساده زیر انجام می‌شود:



این واکنش را به شکل خلاصه شده زیر نیز می‌توان نوشت:



که نشان می‌دهد در طی برهم‌کنش هسته X به Y تبدیل شده و ذرات a و b نقش مهمی در ایجاد این واکنش و برقراری پایداری انرژی و تکانه ایفا می‌کنند. یک واکنش هسته‌ای زمانی به‌وقوع می‌پیوندد که ذرات a و X در برد نیروی هسته‌ای یکدیگر قرار بگیرند تا بتوان از سد کولونی بین آن‌ها چشم‌پوشی کرد.

معمولاً به‌علت انرژی بستگی هسته‌های درگیر یکی از فراورده‌های واکنش سبک b و دیگری سنگین Y است در برخی موارد هم مانند واکنش‌های شکافت هم ممکن است b و Y جرم‌هایشان در حدود یکدیگر باشد.

آشکارسازها و شمارشگرهای هسته‌ای

یونسازی

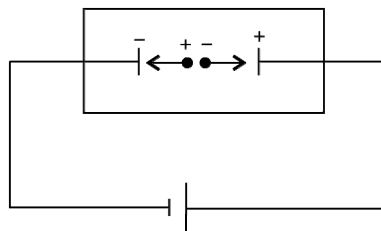
وقتی یک ذره با انرژی Q به یک الکترون با انرژی پیوندی W منتقل می‌شود چند حالت پیش می‌آید.

(۱) اگر $Q > W$ باشد، الکترون هدف از مدارش خارج می‌شود و اتم یا مولکول که الکترون خودش را از دست داده تبدیل به یون مثبت می‌گردد و اختلاف انرژی $Q - W$ به صورت انرژی جنبشی به وسیله الکترون پرتاب شده، حمل می‌گردد.

(۲) اگر $Q < W$ باشد انرژی آن برای ایجاد یون کافی نیست و فقط می‌تواند تراز انرژی الکترون را بالاتر برد که در این صورت اتم یا مولکول تحریک شده است.

(۳) اگر $Q \ll W$ باشد در این صورت این انرژی نمی‌تواند عمل تحریک انجام دهد و به صورت انرژی حرارتی مصرف می‌شود و باعث بالا رفتن سرعت‌های انتقال یا گردش یا نوسان اتم یا مولکول می‌گردد.

در نتیجه اولین پدیده فیزیکی که برای آشکارسازی به کار برود یونسازی در یک گاز است اگر ذره‌ای با محیط اثر متقابل داشته باشد تعدادی جفت یون در محل تولید می‌شود. در داخل یک گاز یون‌های به وجود آمده بین خود، ترکیب می‌شوند بنابراین هیچ اثر قابل تفکیک وجود نخواهد داشت. اما چون ما نیاز به تفکیک یونی داریم، گاز را در داخل یک میدان الکتریکی متشکل از دو الکتروود کاتد و آنده قرار می‌دهیم. در این صورت یون‌های مثبت و منفی با هم ترکیب نشده و روی الکتروودها جمع می‌شوند و ما می‌توانیم یک پالس الکتریکی از دو سر الکتروودها برداشت کنیم. (شکل ۱)



شکل ۱. یون‌ها و الکترون‌ها در میدان الکتریکی

جامع

حاوی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع

بانک سوالات

جمع آوری سوالات کنکور کاردانی به کارشناسی
کارشناسی ارشد و دکتری به صورت فصل بندی شده

الگوریتم

چکیده‌ی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع

سوالات تألیفی

تألیف سوالات مشابه کنکور



دریافت نمونه‌ی کتاب به صورت رایگان



www.agkins.com

جامع

حاوی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع

بانک سوالات

جمع آوری سوالات کنکور کاردانی به کارشناسی
کارشناسی ارشد و دکتری به صورت فصل بندی شده

الگوریتم

چکیده‌ی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع

سوالات تألیفی

تألیف سوالات مشابه کنکور



دریافت نمونه‌ی کتاب به صورت رایگان



www.agkins.com

شماره تماس با نمایندگی‌های فعال و رسمی آناهید گستر خلیلی

شماره تماس	نمایندگی	شماره تماس	نمایندگی
۰۹۱۰۱۷۱۱۸۷۲	سبزوار (آقای شریفان)	۰۹۹۱۳۷۱۳۷۵۰	اراک (آقای حسینی)
۰۹۹۱۳۷۱۳۷۴۱	شاهرود (آقای سلمانی)	۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۸	اردبیل (خانم عاصمی‌زاده)
۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۹	شهرکرد (خانم تقی‌پور)	۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۱	ارومیه (آقای آرمیون)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۲	شیراز (آقای فروردین / خانم هوشمندی)	۰۹۱۹۶۳۲۱۸۵۲	اسفراین (خانم اسماعیل‌زاده)
۰۹۱۹۳۷۱۳۷۴۲	فسا (خانم شعبانی)	۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۰	اصفهان (آقای کیانی)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۴۹	قزوین (خانم چگینی)	۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۴	اهواز (آقای دکتر رضازاده)
۰۹۱۹۷۷۸۱۹۴۷۱	کرج (آقای دکتر علیرضاپور)	۰۹۱۹۰۹۸۰۳۱۸	ایلام (آقای دکتر بوچانی)
۰۹۱۳۱۹۸۱۲۷۰	کرمان (خانم ضمانتی‌یار)	۰۹۱۹۶۸۵۳۱۱۶	بروجرد (آقای احمدی‌صدر)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۴۸	کرمانشاه (آقای ابراهیمی)	۰۹۹۱۳۷۱۳۷۴۹	بم (خانم سرحدی‌نژاد)
۰۹۱۹۵۳۷۱۸۹۰	کوهدشت (خانم یاریان)	۰۹۱۹۵۹۰۷۲۰۳	بیرجند (آقای دکتر بهروان)
۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۷	گرگان (آقای شاه‌علی)	۰۹۱۹۵۷۳۰۱۴۷	تبریز (خانم عاصمی‌زاده)
۰۹۱۹۵۷۳۳۱۷۹	مراغه (آقای صمدی)	۰۹۰۱۳۷۳۷۸۹۶	جهرم (آقای یاعلی جهرمی)
۰۹۹۱۳۷۱۳۷۴۴	مشهد (خانم دکتر شجاعی)	۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۰	جیرفت (خانم دکتر محمدی)
۰۹۱۹۵۷۳۳۱۷۹	میاندوآب (آقای صمدی)	۰۹۱۹۲۷۰۵۸۷۸	خرم‌آباد (خانم میر)
۰۹۱۹۶۳۵۰۷۶۸	نیشابور (آقای موسوی)	۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۳	رشت (خانم تنها)
۰۹۱۹۵۷۳۳۲۸۴	هرمزگان (آقای زارعی)	۰۹۱۹۶۸۲۹۲۸۰	رفسنجان (آقای یوسفی)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۵	همدان (آقای سوری)	۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۵	زاهدان (آقای مهمان‌دوست)
۰۹۱۹۵۹۰۷۲۰۴	یاسوج (آقای مرتضوی)	۰۹۱۹۲۷۰۵۸۷۱	زنجان (خانم دکتر هوشیار)
۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۳	یزد (خانم آزاد)	۰۹۱۹۷۷۸۱۹۴۴	ساری (آقای دکتر اکبری)

بانک کتاب ناهید



«هر کتابی، از هر انتشاراتی را از ما بخواهید»

✓ جامع‌ترین بانک کتاب

✓ تحویل روزانه

✓ ارسال به تمامی نقاط کشور

✓ سفارش کتاب به صورت تلفنی و آنلاین

www.NIBS.ir



کتاب دانشگاهی، فنی و مهندسی، علوم پزشکی، علوم انسانی، عمومی،
ادبی، مذهبی، کمک آموزشی، کودک و نوجوان و کتاب نفیس

فروشگاه: تهران - خیابان انقلاب - روبه روی درب اصلی دانشگاه تهران

پاساژ فروزنده - طبقه همکف - پلاک ۳۳۱

تلفن: ۶۶۴۸۹۳۷۵ - ۰۲۱ - ۶۶۴۸۹۳۴۹ - ۰۲۱