
بسم الله الرحمن الرحیم

دعای مطالعه

اَللهُمَ اَخرِجنی مِن ظُلُماتِ الوَهمِ وَاَکرِمنی بِنُورِ الفَهمِ

اَللهُمَ افتِح عَلَینا اَبوابَ رَحمَتِکَ وَ انشُر عَلَینا خَزائِنِ عُلُومِکَ

بِرَحمَتِکَ یا اَرحَمَ الرّاحِمینَ

پروردگارا، خارج کن مرا از تاریکی‌های فکر و گرامی بدار به نور فهم

پروردگارا، بگشای بر ما درهای رحمتت را و بگستران گنج‌های دانشت را به امید رحمت

تو ای مهربان‌ترین مهربانان

بیایید به حقوق دیگران احترام بگذاریم

دوست عزیز، این کتاب حاصل دسترنج چندین ساله‌ی 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، نتیجه‌ی این عمل نادرست، موجب رواج بی‌اعتمادی در جامعه و بروز پی‌آمدهای ناگوار در زندگی و محیط ناسالم برای خود و فرزندانمان می‌گردد.

کتاب جامع دکتر خلیلی

شیمی عمومی و آلی

شامل تمامی مطالب و نکات مورد نیاز کنکور

براساس آخرین منابع همراه با سوالات تألیفی

مؤلفین:

دکتر رشید قنبری‌پور

مهندس آیدا خواجه

☑ کتاب جامع دکتر خلیلی ☐ ماهر ☐ IQB ☐ الگوریتم میانبر ☐ IQB

سرشناسنامه	: قنبری‌پور، رشید، ۱۳۶۲-
عنوان و نام پدیدآور	: شیمی عمومی و آلی دربرگیرنده‌ی تمامی مطالب و نکات مورد نیاز کنکور براساس آخرین منابع همراه با سوالات تألیفی / مولفین رشید قنبری‌پور، آیدا خواجه.
مشخصات نشر	: تهران: گروه تالیفی دکتر خلیلی، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۹ص. : مصور، جدول.
شابک	: 978-600-422-510-6
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: شیمی – راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: Chemistry – Study and teaching (Higher)
موضوع	: شیمی آلی – راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: Chemistry, Organic – Study and teaching (Higher)
موضوع	: شیمی – آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
موضوع	: Chemistry – Examinations, questions, etc (Higher)
موضوع	: شیمی آلی – آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
موضوع	: Chemistry, Organic – Examintions, questions, etc (Higher)
شناسه افزوده	: خواجه، آیدا، ۱۳۶۴-
رده‌بندی کنگره	: QD۴۰
رده‌بندی دیویی	: ۵۴۰/۷۶
شماره کتابشناسی	: ۶۰۴۶۹۲۱

نام کتاب: جامع شیمی عمومی و آلی

مؤلفین: دکتر رشید قنبری‌پور . مهندس آیدا خواجه

ناشر: گروه تألیفی دکتر خلیلی

نوبت و سال چاپ: چهارم . ۱۴۰۱

شمارگان: ۱۰۰۰

چاپ: پنگوئن . صحافی: افرا

مدیر تولید: اقبال شرقی

مدیر فنی و هنری: مریم آرده

بهاء: ۲۸۰۰۰۰ تومان

آموزشگاه دکتر خلیلی: ۰۲۱۶۶۵۶۸۶۲۱

فروشگاه: تهران . خیابان انقلاب . روبه‌روی درب اصلی دانشگاه تهران . پاساژ فروزنده . طبقه همکف . پلاک ۳۳۱

تلفن: ۰۲۱۶۶۴۸۹۳۷۵ . ۰۲۱۶۶۴۸۹۳۴۹

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

مرکز فروش: ۰۲۱۶۶۵۶۹۲۱۶ مدیر فروش: ۰۹۱۲۵۵۰۸۵۸۹

drkhaliligroupbook **www.DKG.ir** **@drkhaliligroupbook**

طلیعه سخن مؤلف:

بسم الله الرحمن الرحیم

عدم وجود یک منبع مناسب برای دانشجویان رشته های غیرشیمی یکی از کمبودهایی است که در زمینه ی درس شیمی عمومی و آلی در سالیان گذشته احساس می شد.س دانشجویان رشته‌های علوم پزشکی مانند دانشجویان رشته‌های زیست‌شناسی، بیوشیمی، ژنتیک، بیوتکنولوژی و نانوتکنولوژی پزشکی در طول تحصیل و هم چنین هنگام آزمون ورودی دانشگاه نیاز به مطالعه‌ی درس شیمی دارند اما منابع موجود شیمی عمومی و آلی حاوی مطالب بسیار زیاد و سنگینی می‌باشد که جزء نیازهای این دسته از دانشجویان نمی‌باشد. این کمبود نگارندگان کتاب را بر آن داشت که درس نامه‌ی جامع شیمی عمومی و آلی را برای این دسته از دانشجویان گرامی به رشته تحریر درآورد. کتابی که هم اکنون در دست دارید شامل دو بخش شیمی عمومی و آلی می‌باشد، در هر بخش و بعد از هر مطلب پرسش‌ها و مثال‌هایی در رابطه با آن مطالب شرح داده شده است. در این کتاب سعی شده پرسش‌های مطرح شده ازسوالات کنکور سال‌های گذشته‌ی درس شیمی برای رشته‌های مختلف علوم پزشکی آورده شود تا دانشجویان هم مطالب را بهتر درک کنند و هم زمان با سوالات کنکور نیز آشنا شوند .در بخش شیمی عمومی سعی بر آن داشته‌ایم که مثال‌ها و پرسش‌ها به صورت کاملاً تشریحی ذکر شود، در حالی که در بخش شیمی آلی پرسش‌ها بیش‌تر به صورت تست می‌باشند.

در پایان جا دارد که از جناب آقای دکتر خلیلی به پاس زحمات و حمایت‌های بی‌دریغ ایشان قدردانی نماییم.

دکتررشید قنبری‌پور

مهندس آیدا خواجه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: ساختار اتمی ۹

کشف پروتون و نوترون ۱۱

مدل اتمی بوهر ۱۴

طیف پیوسته و خطی ۱۶

مدل اوربیتالی و مکانیک موجی ۱۸

آرایش الکترونی ۲۱

قانون تناوبی موزلی ۲۴

فصل دوم: خواص اتم، پیوند و انواع آن ۲۷

انرژی یونش (یونیزاسیون) ۲۹

پیوند کوالانسی ۳۴

الکترونگاتیوی ۳۵

بار قراردادی ۳۶

رزونانس ۳۸

فصل سوم: شکل هندسی مولکول‌ها ۴۱

نظریه دافعه جفت الکترون‌های لایه ظرفیت (VSEPR) ۴۱

نظریه هیبریداسیون ۴۵

پیوند برگشتی ۴۸

فصل چهارم: استوکیومتری، فرمول و معادلات شیمیایی ۵۰

تعریف مول ۵۱

معادلات شیمیایی ۵۴

فصل پنجم: حالت ماده و نمودارهای فازی ۵۵

قانون بویل ۵۶

قانون شارل-گیلوساک ۵۶

قانون آمونتون ۵۶

قانون گاز ایده‌آل ۵۷

قانون ترکیب حجمی گیلوساک ۵۷

قانون فشارهای جزئی دالتون ۵۸

مایعات ۶۱

جامد ۶۲

فصل ششم: محلول‌ها، خواص و واکنش‌های شیمیایی ۶۴

غلظت ۶۵

قانون هنری (Henry) ۶۷

فشار بخار محلول‌ها و قانون رائول ۶۷

تقطیر محلول‌ها ۶۷

فصل هفتم: تعادل شیمیایی ۷۲

اصل لوشاتلیه ۷۴

اسید و باز آرنیوس ۷۴

شیمی آلی ۸۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل هشتم: آلکان‌ها ۸۶

نام‌گذاری آلکان‌ها ۸۸

ایزومر ۹۱

رسم ساختار فضایی آلکان‌ها ۹۲

روش‌های تهیه آلکان‌ها ۹۶

عوامل موثر بر پایداری رادیکال‌ها ۱۰۱

فصل نهم: شیمی فضایی (استرئو شیمی) ۱۰۴

مولکول کایرال ۱۰۴

پیکربندی (کانفیگوراسیون) ۱۰۹

حلال‌های آلی ۱۱۵

فصل دهم: آلکیل هالیدها ۱۱۷

قدرت بازی و هسته دوستی و اختلاف آن‌ها ۱۱۸

قدرت ترک شوندگی ۱۲۰

عوامل پایداری کربوکاتیون‌ها ۱۲۲

فصل یازدهم: آلکن‌ها ۱۲۶

روش‌های تهیه آلکن‌ها ۱۲۷

فصل دوازدهم: سیکلوآلکان‌ها ۱۳۹

فصل سیزدهم: آلکین‌ها ۱۴۴

روش‌های تهیه آلکین‌ها ۱۴۴

روش شناسایی آلکین‌های درونی و انتهایی ۱۵۰

سیکلوآلکن‌ها ۱۵۱

آلکادی ان‌ها ۱۵۲

فصل چهاردهم: ترکیبات آروماتیک ۱۵۹

پایداری غیرعادی بنزن ۱۶۱

قاعده هوکل ۱۶۱

انواع استخلاف ۱۷۲

آنولن‌ها ۱۷۹

آرن‌ها ۱۷۹

ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای ۱۸۰

فصل پانزدهم: الکل‌ها ۱۸۱

روش‌های تهیه الکل‌ها ۱۸۲

تست جونز ۱۸۹

عوامل موثر بر خصلت اسیدی الکل‌ها ۱۹۰

اترها ۱۹۱

اپوکسیدها ۱۹۳

تیول‌ها و سولفیدها ۱۹۵

فنول‌ها ۱۹۵

روش‌های شناسایی فنول‌ها ۱۹۶

بررسی خصلت اسیدی فنول‌ها ۱۹۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل شانزدهم: آلدهیدها و کتون‌ها ۱۹۹

نام گذاری آلدهیدها و کتون‌ها ۱۹۹

روش‌های تهیه آلدهیدها ۲۰۱

روش‌های تهیه کتون‌ها ۲۰۲

فصل هفدهم: اسیدهای کربوکسیلیک و مشتقات آن‌ها ۲۱۱

نامگذاری اسیدها ۲۱۲

بررسی خصلت اسیدی ۲۱۲

روش‌های تهیه اسیدها ۲۱۴

کربوکسیل‌زدایی هانس– دیکر ۲۱۷

مشتقات اسیدها ۲۱۸

آسیل کلریدها ۲۱۸

انیدریدها ۲۱۹

استرها ۲۲۱

تراکم کلایزن ۲۲۳

آمیدها ۲۲۳

آمینو اسیدها ۲۲۶

فصل هجدهم: آمین‌ها ۲۲۸

نام‌گذاری آمین‌ها ۲۲۹

قدرت بازی در آمین‌ها ۲۲۹

روش‌های تهیه آمین‌ها ۲۳۰

تست هینزبرگ ۲۳۲

ترکیبات هتروسیکل ۲۳۳

فصل نوزدهم: پلیمرها ۲۳۵

فصل بیستم: روش‌های طیف سنجی و دستگاهی در شیمی ۲۳۹

طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی (UV) ۲۳۹

طیف جرمی (Mass) ۲۴۱

طیف‌سنجی زیر قرمز (IR) ۲۴۳

طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته (NMR) ۲۴۴

تکنیک‌های جداسازی (کروماتوگرافی) ۲۴۶

کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) ۲۴۷

کروماتوگرافی گازی (GC) ۲۴۷

آشکارسازهای GC ۲۴۸

کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) ۲۴۸

فصل اول

ساختار اتمی

علم مطالعه ساختار مواد، خواص، تغییرات و تهیه آن را شیمی می‌نامند. تاریخچه علم شیمی را می‌توان به قرن سوم قبل از میلاد و ظهور کیمیاگری در مصر باستان نسبت داد. کیمیاگران بر این باور بودند که می‌توان فلزاتی نظیر سرب و مس را به طلا تبدیل نمود. ثمره تلاش‌های پی درپی کیمیاگران که به شکست منتهی می‌شد، ابداع عملیات های آزمایشگاهی و کشف‌های مهمی نظیر کشف الکل توسط محمدبن زکریای رازی بود.

در قرن ۱۲ میلادی با دستیابی اروپائیان به این حجم وسیع اطلاعات، کیمیاگری در اروپا شکوفا گردید و تا قرن ۱۷ ادامه یافت. در این دوره نظریات کیمیاگران توسط دانشمندانی نظیر بویل مورد تردید قرار گرفت و در نهایت در اواخر قرن ۱۸ آنتوان لاوازیه شیمی جدید را بر پایه آزمایش‌های کمی برای بیان پدیده‌های شیمیایی بنیان نهاد.

فصل اول: ساختار اتمی

تاریخچه تئوری اتمی به یونان باستان و نظریه لیوکیپوس و دموکریتوس برمی‌گردد. براساس این نظریه تقسیم مستمر ماده منتهی به ذراتی می‌شود که غیرقابل تجزیه می‌باشند و اتم نامیده می‌شوند. در واقع نام اتم برگرفته از واژه یونانی آتوموس به معنی تقسیم‌ناپذیر می‌باشد. در اوایل قرن نوزدهم میلادی جان دالتون دانشمند بریتانیایی نظریه اتمی خود را که سنگ بنای شیمی جدید می‌باشد براساس اصول زیر بنیان نهاد.

۱. عناصر از ذرات بسیار ریزی به نام اتم تشکیل شده‌اند تمام اتم‌های یک عنصر یکسانند و اتم‌های عناصر مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشند.

۲. گسست و پیوند اتم‌ها درحین واکنش‌های شیمیایی رخ می‌دهد. در این واکنش ها هیچ اتمی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود و اتم‌های عناصر مختلف به یکدیگر تبدیل نمی‌شوند.

۳. یک ترکیب شیمیایی، نتیجه ترکیب اتم‌های دو یا چند عنصر است. نوع اتم‌ها و نسبت آن‌ها در یک ترکیب همواره ثابت است. اصول کمی نظریه دالتون برگرفته از قوانین بقای جرم و نسبت‌های معین می‌باشد.

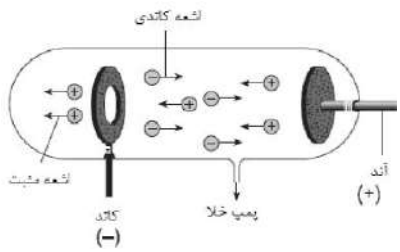
قانون بقای جرم

در یک واکنش شیمیایی تغییری در جرم کل سیستم رخ نمی‌دهد (اصل دوم دالتون)

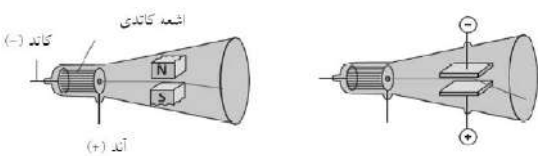
قانون نسبت‌های معین

یک ترکیب خالص همواره دارای عناصر معین و با نسبت جرمی معین می‌باشد (اصل سوم دالتون).

اصول کلی نظریه دالتون هم اکنون نیز معتبر می‌باشند اما یکی از اشکالات عمده آن اصل اول می‌باشد زیرا تعدادی از عناصر دارای چندین نوع اتم می‌باشند که از لحاظ جرمی متفاوت‌اند (ایزوتوپ‌ها) در نظریه دالتون، اتم کوچک ترین واحد سازنده ماده در نظر گرفته می‌شد اما کشف اشعه کاتدی توسط یولیوس پلوکر در سال ۱۸۵۹ و نتایج بررسی‌های فراوان بر روی آن در نهایت منجر به کشف الکترون شد. پلوکر توسط آزمایش انجام شده در یک لامپ خلا که تصویر آن در شکل زیر نمایش داده شده است توانست اشعه کاتدی را کشف کند.



در سال ۱۸۹۷ جوزف تامسون با مطالعه میزان انحراف اشعه کاتدی در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی موفق به تعیین نسبت بار به جرم الکترون گردید. $\frac{q}{m} = ۱/۷۵۸۸ \times ۱۰^{۸}\ \frac{c}{g}$ تامسون در نهایت پس از بررسی‌های خود بر روی ساختار اتم مدل اتمی تامسون (کیک کشمشی) را مطرح ساخت



انحراف اشعه کاتدی در میدان الکتریکی و مغناطیسی

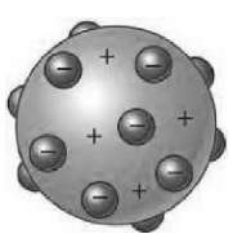
اصول مدل اتمی تامسون به شرح زیر می‌باشد:

۱. ذرات منفی (الکترون) درون فضای ابرگونه با بار مثبت پراکنده شده‌اند (مشابه یک کیک کشمشی).

۲. اتم در مجموع خنثی است.

۳. ابر کروی مثبت فاقد جرم بوده و جرم اتم به تعداد الکترون آن بستگی دارد.

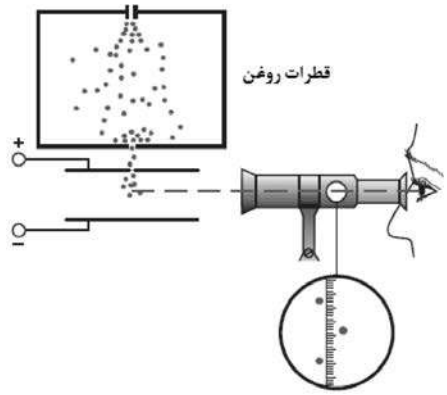
۴. جرم زیاد اتم از وجود تعداد بسیار زیاد الکترون در آن ناشی می‌شود.



تصویر فرضی از اتم بر پایه مدل تامسون

گروه تألیف دکتر خلیلی

پس از تحقیقات تامسون، در سال ۱۹۰۹ رابرت میلیکان با اندازه‌گیری بار ذرات روغن باردار در یک میدان الکتریکی موفق به اندازه‌گیری دقیق بار الکترون شد و مقدار آن را برابر $-۱/۶۰۲۲\times۱۰^{-۱۹}C$ به‌دست آورد.

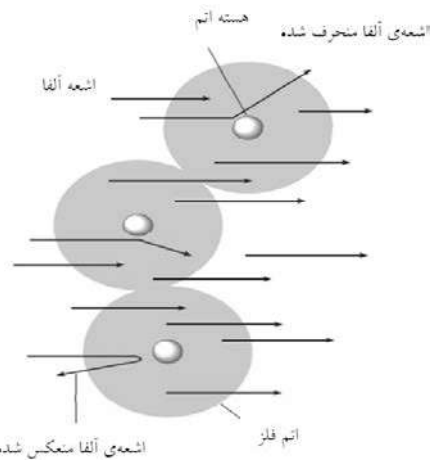


آزمایش اندازه‌گیری بار الکترون توسط میلیکان با استفاده از قطرات روغن باردار

کشف پروتون و نوترون

در اثر برخورد اشعه کاتدی با اتم‌ها یا مولکول‌های گازی موجود در محفظه تولید اشعه کاتدی، تعدادی الکترون از اتم‌ها و مولکول‌ها جدا شده و سبب تولید ذرات با بار مثبت می‌شود. این ذرات مثبت به سمت الکترود منفی می‌روند. این جریان یون‌های مثبت که به اشعه مثبت مشهور است، در سال ۱۸۸۶ توسط گلدشتاین کشف شد. نسبت بار به جرم برای اشعه مثبت با روش مشابه با اشعه کاتدی توسط ویهلم وین و تامسون تعیین شد.

در سال ۱۹۱۱ رادرفورد برای مطالعه ساختار اتم از تابش آلفا استفاده کرد و باریک‌های از ذرات آلفا را به ورقه نازکی از طلا تابانید و مشاهده کرد که بخش اعظم ذرات آلفا مستقیماً از ورقه گذشتند ولی برخی نیز از مسیر خود منحرف شدند و یا به سوی منبع تابش آلفا بازگشتند. رادرفورد با توجه به نتایج آزمایش فوق پیشنهاد کرد که بار مثبت اتم در فضای کوچکی به نام هسته اتم متمرکز شده است و الکترون‌های اتم به سرعت به دور هسته می‌چرخند به دلیل اینکه بارمثبت در فضای کوچکی متمرکز شده است. بنابراین بخش اعظم ذرات آلفا که بار مثبت دارند بدون هیچ‌گونه مزاحمتی از ورقه طلا عبور می‌کنند. نزدیک شدن ذرات آلفا به هسته منجر به دفع ذره آلفا می‌شود و هنگامی که ذرات آلفا به هسته برخورد کنند به سوی منبع تابش آلفا باز می‌گردند. توسط آزمایش رادرفورد وجود بخش کوچک و متمرکزی به نام هسته که شامل پروتون‌ها و نوترون‌ها می‌باشد، در اتم ثابت گردید. اندازه هسته نسبت به اتم حدود $\frac{۱}{۱۰,۰۰۰}$ می‌باشد و الکترون‌ها پیرامون آن به سرعت درحال چرخش‌اند. این نتایج به مدل اتمی رادرفورد مشهور است و منجر به رد فرضیه کیک کشمشی جوزف تامسون گردید.



مدل اتمی رادرفورد نحوه رفتار ذرات α در اثر عبور از ورقه فلزی

پس از آشنایی مقدماتی با اتم و ساختار آن، معرفی برخی مفاهیم مرتبط با اتم لازم به نظر می‌رسد.

گروه فیزیک دکتر خیاطی

۱. نماد شیمیایی

اتم هر عنصر با نماد شیمیایی منحصر به آن عنصر نمایش داده می شود. این نماد از یک، دو و یا سه حرف از نام آن عنصر گرفته شده است. به عنوان مثال نماد اتم کربن، C برگرفته از نام انگلیسی Carbon و نماد اتم تنگستن، W برگرفته از نام آلمانی Wolfram می‌باشد.

۲. عدد اتمی (Z)

نمایانگر تعداد پروتون‌های هسته اتم می‌باشد و در قسمت پایین سمت چپ نماد شیمیایی نوشته می‌شود مانند ${}_{6}C$ باتوجه به خنثی بودن اتم‌ها عدد اتمی نمایانگر تعداد الکترون‌های یک اتم نیز می‌باشد.

۳. عدد جرمی (A)

نمایانگر تعداد نوکلئون ها (پروتون ها و نوترون‌ها) در هسته اتم می‌باشد. عدد جرمی در قسمت بالا سمت چپ نماد شیمیایی نمایش داده می‌شود مانند ${}^{12}C$.

* از تفریق عدد اتمی از عدد جرمی یک عنصر تعداد نوترون‌های آن اتم به دست می‌آید.

A-Z= تعداد نوترون

پرسش: تعداد پروتون، نوترون و الکترون را برای اتم ${}^{23}_{11}Na$ مشخص نمایید.

$Z=11 \Rightarrow$ تعداد پروتون =۱۱

$A=23 \Rightarrow$ تعداد نوترون =۱۱-۲۳ =۱۲

به دلیل خنثی بودن اتم تعداد الکترون‌ها نیز برابر با ۱۱ می‌باشد.

یون

ذرات بارداری است که حاوی یک یا چند اتم می باشد. میزان بار یون و علامت آن در قسمت بالای سمت راست نماد شیمیایی نمایش داده می‌شود. بار یون برابر با مجموع بارهای مثبت و منفی آن می‌باشد و به دلیل آنکه بار الکترون برابر ۱- و بار پروتون برابر با ۱+ می‌باشد بنابراین باریون برابر است با:

باریون $= Z -$ تعداد الکترون $\Rightarrow$ تعداد الکترون- تعداد پروتون = باریون

* باید به این نکته توجه کرد که تعداد پروتون‌ها در اتم‌ها تغییر نمی‌کند و همواره برابر عدد اتمی می‌باشد.

پرسش: تعداد الکترون، پروتون و نوترون را برای یون‌های زیر به‌دست آورید.

الف) ${}^{24}_{12}Mg^{2+}$ ب) ${}^{14}_{7}N^{3-}$ ج) ${}^{19}_{9}F^{-}$

الف) ${}^{24}_{12}Mg^{2+}$

$Z=12 \Rightarrow$ تعداد پروتون =۱۲

$A-Z=24-12=12=$ تعداد نوترون

$Z-$ باریون $=12-(+2)=10=$ تعداد الکترون

ب) ${}^{14}_{7}N^{3-}$

$Z=7 \Rightarrow$ تعداد پروتون $=7$

$A-Z=14-7=7=$ تعداد نوترون

$Z-$ بار $=7-(-3)=7+3=10=$ تعداد الکترون

ج) ${}^{19}_{9}F^{-}$

$Z=9 \Rightarrow$ تعداد پروتون $=9$

$A-Z=19-9=10=$ تعداد نوترون

$Z-$ بار $=9-(-1)=9+1=10=$ تعداد الکترون

گروه تألیف وکتر خلیلی

ایزوتوپ

اتم هایی که دارای عدد اتمی (تعداد پروتون) یکسان می‌باشند اما عدد جرمی (تعداد نوترون) متفاوتی دارند ایزوتوپ نامیده می‌شوند.

تعدادی از عناصر نظیر سدیم و فلوئور تنها یک نوع ایزوتوپ دارند اما اکثر عناصر دارای حداقل دو ایزوتوپ متفاوت می‌باشند.

عدد اتمی یک اتم تعیین کننده خواص آن اتم می‌باشد و در واقع با تغییر تعداد پروتون‌ها در هسته اتم، اتم‌های عناصر به یکدیگر تبدیل می‌شوند اما تعداد نوترون ها در اغلب موارد تنها منجر به تغییر وزن اتم گردیده و تغییری در خواص شیمیایی اتم‌های عناصر ایجاد نمی‌کند.

* خواص شیمیایی یک اتم وابسته به تعداد پروتون‌های آن اتم می‌باشد.

* به منظور تعیین مقدار نسبی ایزوتوپ‌های یک عنصر و نیز اندازه‌گیری دقیق جرم هر ایزوتوپ از دستگاه طیف سنج (طیف‌نگار) جرمی استفاده می‌شود که در فصل آخر با آن آشنا خواهید شد.

جدول ۱. تعدادی از ایزوتوپ‌های مشهور چند عنصر

ایزوتوپ‌ها	عنصر
${}_{1}^{1}H, {}_{1}^{2}H(D), {}_{1}^{3}H(T)$	هیدروژن
${}_{6}^{12}C, {}_{6}^{13}C, {}_{6}^{14}C$	کربن
${}_{11}^{23}Na$	سدیم
${}_{12}^{24}Mg, {}_{12}^{25}Mg, {}_{12}^{26}Mg$	منیزیم
${}_{35}^{79}Br, {}_{35}^{81}Br$	برم

* ایزوتوپ‌های هیدروژن ${}_{1}^{1}H, {}_{1}^{2}H, {}_{1}^{3}H$ به ترتیب دوتریوم (D) و تریتیوم (T) نامیده می‌شوند.

وزن اتمی

میانگین جرم اتم‌های یک عنصر (با احتساب ایزوتوپ‌ها) را اصطلاحاً وزن اتمی می‌گویند. میانگین جرم اتم‌ها را نسبت به واحد جرم اتمی (amu) اندازه‌گیری می‌کنند. این واحد به‌طور قراردادی برابر $\frac{1}{12}$ جرم اتم ${}_{6}^{12}C$ انتخاب گردیده است. قبل از این واحد، دالتون اتم ${}_{1}^{1}H$ را واحد جرم قرارداده بود.

* برای تعیین وزن اتمی یک عنصر باید جرم اتمی هر ایزوتوپ را در فراوانی جزئی آن ایزوتوپ ضرب کرده و مقادیر حاصل از هرایزوتوپ را با یکدیگر جمع کرد.

پرسش: وزن اتمی عنصر بور را به‌دست آورید.

	جرم	فراوانی
${}_{5}^{10}B$	۱۰/۰۱	٪۱۹/۹
${}_{5}^{11}B$	۱۱/۰۰	٪۸۰/۱

وزن اتمی $= (۱۰/۰۱ \times ۰/۱۹۹) + (۱۱/۰۰ \times ۰/۸۰۱) = ۱/۹۹ + ۸/۸۱ = ۱۰/۸$

* با تقسیم مقدار درصد فراوانی بر ۱۰۰ مقدار فراوانی جزئی به‌دست می‌آید. مجموع فراوانی‌های جزئی همواره برابر یک می‌باشد.

گروه فیزیک دکتر خیاطی

پرسش: وزن اتمی عنصر گوگرد را به‌دست آورید.

	جرم	فراوانی
$^{۳۲}_{۱۶}S$	۳۱/۹۷	٪۹۴/۹۳
$^{۳۴}_{۱۶}S$	۳۳/۹۶	٪۴/۲۹

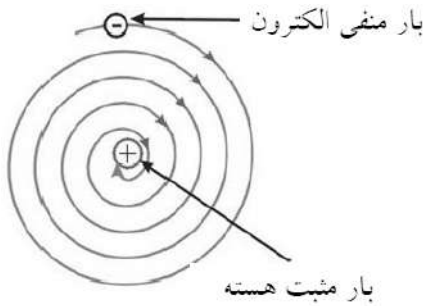
وزن اتمی $= (۳۱/۹۷ \times ۰/۹۴۹۳) + (۳۳/۹۶ \times ۰/۰۴۲۹) = ۳۰/۳۴۹۱ + ۱/۴۵۶۸ = ۳۱/۸۰$

* باید توجه داشت که جرم اتم‌ها را نمی‌توان برابر با مجموع جرم الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌ها در نظر گرفت زیرا مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های یک اتم همواره از جرم هسته آن اتم اندکی بیش‌تر می‌باشد. مقدار این اختلاف جرم بیانگر انرژی بستگی هسته می‌باشد که سبب کنار هم قرار گرفتن پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته اتم می‌باشد. مقدار عددی این انرژی را می‌توان توسط رابطه هم ارزی ماده و انرژی آلبرت انیشتین $(E = mc^۲)$ به‌دست آورد.

مدل اتمی بوهر

ارائه مدل اتمی رادرفورد در جای خود بسیار پراهمیت بود اما این مدل دو نارسایی عمده داشت:

۱. در این مدل الکترون‌ها در حال چرخش به دور هسته می‌باشند و براساس قوانین فیزیک حرکت شتاب‌دار ذرات باردار سبب انتشار امواج الکترومغناطیس گردیده و در نتیجه الکترون‌ها هنگام چرخش به دور هسته باید به‌طور مرتب انرژی خود را به صورت امواج الکترومغناطیسی از دست داده و طی یک حرکت مارپیچ به دورهسته نهایتاً جذب هسته گردد.



۲. این مدل قادر به توضیح طیف خطی عناصر نبود.

باتوجه به معایب فوق نیلس بوهر در سال ۱۹۱۳ مدل اتمی خود را در راستای رفع معایب مدل اتمی رادر فورد ارائه کرد. به منظور بحث دقیق‌تر این مدل ابتدا مقدمه‌ای کوتاه در رابطه با امواج الکترومغناطیسی و طیف‌های پیوسته و خطی ذکر گردیده و پس از آن به معرفی مدل بوهر می‌پردازیم.

امواج الکترومغناطیس

صورتی از انرژی می‌باشند که به صورت موجی در فضا انتشار می‌یابند و از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی عمود برهم تشکیل شده‌اند.

* قسمت کوچکی از امواج الکترومغناطیس شامل نور مرئی می باشد. امواج رادیویی، اشعه X، امواج مادون قرمز نیز بخش‌های دیگری از گستره امواج الکترومغناطیس می‌باشند.

* تمام امواج الکترومغناطیس در خلأ با سرعت تقریبی $۳ \times ۱۰^۸ \, m/s$ که همان سرعت نور می‌باشد حرکت می‌کنند. این سرعت را با نماد C نمایش می‌دهند.

گروه فیزیک دکتر خلیلی

از پارامترهای زیر برای تشریح خواص امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود.

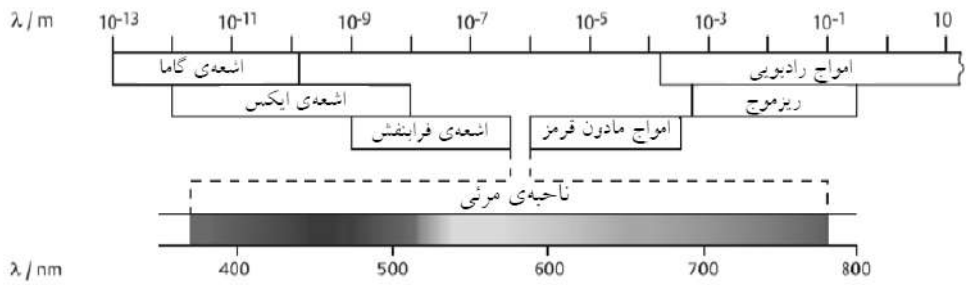
۱. فرکانس (بسامد): به تعداد موجی که در هر ثانیه از یک نقطه معین عبور می‌کند فرکانس گفته می‌شود و با نماد υ نمایش داده می‌شود. هر چه فرکانس بیش‌تر شود میزان انرژی تابش الکترومغناطیس افزایش می‌یابد.

۲. طول موج: فاصله بین دو نقطه مشابه متوالی در یک موج الکترومغناطیس را طول موجب می‌گویند و با نماد λ نمایش می‌دهند. میزان انرژی یک موج با طول موج آن نسبت عکس دارد. رابطه بین فرکانس، طول موج و سرعت موج به شکل زیر می‌باشد:

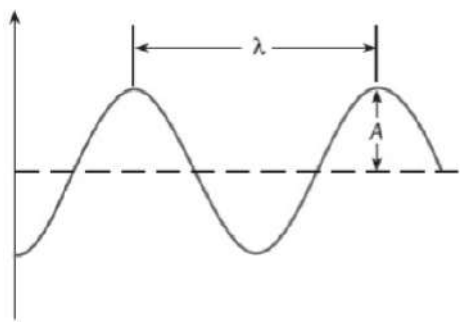
$$C = \lambda\upsilon \Rightarrow \upsilon = \frac{C}{\lambda}$$

* اگر سرعت نور بر حسب m/s و طول موج بر حسب m باشد واحد فرکانس $\frac{1}{S}$ می‌باشد که به آن هرتز می‌گویند.

۳. دامنه (Amplitude): به بلندی قله یا عمق دره یک موج دامنه می‌گویند. شدت تابش امواج الکترومغناطیس متناسب با مربع دامنه (A^2) می‌باشد.



الف) گستره امواج الکترومغناطیس



ب) طول موج (λ) و دامنه (Amplitude)

خصلت ذره‌ای یک موج

در سال ۱۹۰۰ ماکس پلانک نظریه کوانتومی را بیان کرد. براساس این نظریه انرژی تابشی به صورت کمیت های مجزا به نام کوانتا جذب یا منتشر می‌شود پس از آن در سال ۱۹۰۵ انیشتین پیشنهاد کرد که این کمیت‌های مجزا، بسته‌های انرژی می‌باشند و آن‌ها را فوتون نامید.

انرژی هرفوتون از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$E = h\upsilon \quad h = ۶/۶۲۶۲\times۱۰^{-۳۴} \quad J.S$

* h ثابت پلانک نامیده می‌شود.

* علت ارائه نظریه کوانتومی عدم امکان تفسیر برخی از خواص تابش الکترومغناطیس بر پایه مدل موجی بود.

پرسش: فرکانس و انرژی یک کوانتوم نور سبز با طول موج ۵۵۰nm را به‌دست آورید.

$$C = \lambda\upsilon \Rightarrow \upsilon = \frac{۳\times۱۰^{۸}\,m/s}{۵۵۰\times۱۰^{-۹}\,m} = ۵/۴۵\times۱۰^{۱۴}\,HZ$$

$$E = h\upsilon = ۶/۶۲۶۲\times۱۰^{-۳۴}\times۵/۴۵۱۰^{۱۴} = ۳/۶\times۱۰^{-۱۹}\,J$$

طیف پیوسته و خطی

هنگامی که نور سفید از درون یک منشور عبور کند به طول موج های تشکیل دهنده اش تجزیه می‌شود و نواری از رنگ ها تشکیل می شود که به طیف پیوسته مشهور می‌باشد. نور خورشید و نور فیلامان لامپ، با عبور از درون منشور یک طیف پیوسته تشکیل می‌دهند.

با تحریک بخار یک ماده شیمیایی توسط شعله و یا قوس الکتریکی، ذرات تشکیل دهنده آن بخار نور منتشر می‌کند که این نور با عبور از منشور، تعداد محدودی خط با طول موج‌های معین تشکیل می‌شود. طیف خطی برای هر عنصر متفاوت از دیگر عناصر بوده و به ساختار اتمی عناصر مربوط می‌باشد.

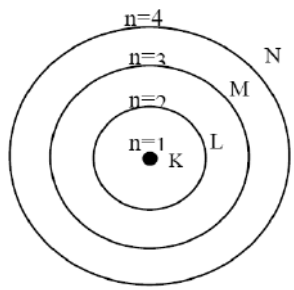
درسال ۱۸۸۵ بالمر بر پایه مشاهدات تجربی، معادل های جهت محاسبه فرکانس های خطوط طیفی هیدروژن در ناحیه مرئی ارائه کرد.

$$\gamma = (۳/۲۸۹\times۱۰^{۵}/S)\left(\frac{۱}{۲^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}\right) \quad n = ۳,۴,۵,\ldots$$

* رابطه بالمر بر پایه نظریه ساختار اتمی نمی‌باشد و یک رابطه صرفاً تجربی می‌باشد. فرکانس‌های طیف خطی اتمی هیدروژن که از رابطه بالمر به دست می‌آیند به سری بالمر مشهورند.

نیلز بوهر دانشمند دانمارکی با توجه به طیف اتم هیدروژن مدل اتمی خود را ارائه داد که شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. الکترون اتم هیدروژن تنها در مدارهای کروی معین حول هسته می‌چرخد. به این مدارها لایه یا تراز انرژی گفته می‌شود و با حروف m,l,k، ..... و یا ..... ۳ و ۲ ۱ =n نمایش داده می‌شوند.



۲. الکترون در هر تراز دارای انرژی معینی می‌باشد.

* هر چه تراز به هسته نزدیک‌تر باشد انرژی آن کم‌تر می‌باشد، تراز K یا n=۱ پایین‌ترین انرژی را دارد زیرا الکترون در این تراز کم‌ترین فاصله را با هسته دارد.

گروه فیزیک دکتر خلیلی

۳. قرار گرفتن الکترون‌ها در پایین‌ترین تراز ممکن را حالت پایه می‌گویند. حالت پایه پایین‌ترین انرژی ممکن را دارد. با دادن مقدار معینی انرژی به الکترون می‌توان سبب جهش آن از حالت پایه (تراز با انرژی کم‌تر) به حالت برانگیخته (تراز با انرژی بالاتر) شد.

۴. الکترون در حالت برانگیخته ناپایدار است و به تراز پایین‌تر باز می‌گردد، این بازگشت به تراز پایین تر سبب نشر یک کوانتوم نور می‌شود که انرژی این کوانتوم برابر با اختلاف انرژی بین دو تراز می‌باشد.

* در طیف خطی، هر خط مربوط به انتقالات الکترونی مشخصی می‌باشد.

* انرژی هر تراز از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$E_n = -\frac{(۲/۱۷۹\times۱۰^{-۱۸}J)}{n^۲} \qquad n = ۱,۲,۳,.....$$

با استفاده از رابطه فوق می‌توان فرکانس نور متناسب با اختلاف انرژی دو تراز از به صورت زیر به‌دست آورد.

$$\gamma = (۳/۲۸۹\times۱۰^{۱۵}/s)\times(\frac{۱}{n_۲^۲}-\frac{۱}{n_۱^۲})$$

* $n_۱$، $n_۲$ شماره ترازهای حالت اولیه و نهایی اتم می‌باشند. اگر $n_۲ = ۲$ قرار دهیم رابطه بالمر به‌دست می‌آید.

باید به این نکته توجه داشت که روابط فوق برای تفسیر طیف هیدروژن مناسب می‌باشند اما نمی‌توانند طیف اتم‌های دارای بیش‌تر از یک الکترون را توضیح دهند. این روابط با تقریب خوبی می‌توانند برای یون‌های تک الکترونی مثل He^+ و یا $Li^{۲+}$ نیز به کار برده شوند.

خطوط طیفی هیدروژن با توجه به شماره $n_۲$ نام‌های گوناگونی دارند.

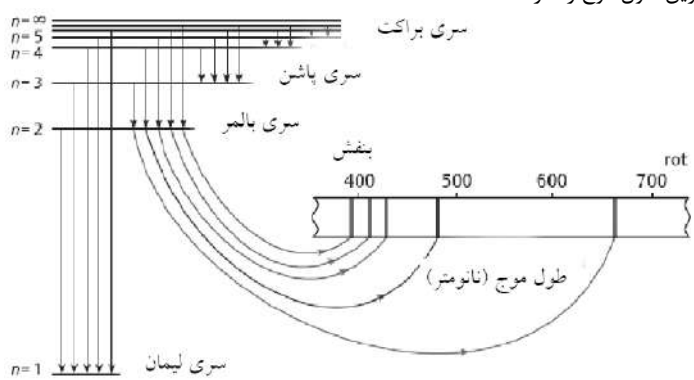
۱. سری لیمان: در آن $n_۲ = ۱$ می‌باشد و مربوط به انتقالاتی است که الکترون‌ها از ترازهای بالاتر به تراز اول انتقال می‌یابند.

۲. سری بالمر: در آن $n_۲ = ۲$ می‌باشد و مربوط به انتقال الکترون از ترازهای بالاتر از n=۲ به تراز n=۲ می‌باشد.

۳. سری پاشن: در آن $n_۲ = ۳$ می‌باشد و مربوط به انتقال الکترون از ترازهای بالاتر از n=۳ به تراز n=۳ می‌باشد.

۴. سری براکت: در آن $n_۲ = ۴$ می‌باشد و مربوط به انتقال الکترون از ترازهای بالاتر از n=۴ به تراز n=۴ می‌باشد.

* سری لیمان انرژی بیش‌تری نسبت به سری‌های دیگر دارد و لذا فرکانس مربوط به این سری بیش‌تر از سری‌های دیگر می‌باشد. هرچه به سمت ترازهای بیرونی برویم اختلاف انرژی بین تراز کم‌تر می‌شود و در نتیجه سری براکت کم‌ترین انرژی و فرکانس و نیز بیش‌ترین طول موج را دارد.



خطوط طیفی هیدروژن

گروه فیزیک دکتر خیلی

پرسش: اختلاف انرژی بین تراز n=۲ و n=۴ در اتم هیدروژن چه میزان بوده و فرکانس نور متناسب با این انرژی چقدر می‌باشد.

$$\upsilon = (۳/۲۸۹\times۱۰^{۱۵}/s)\times(\frac{۱}{n_{۲}^{۲}}-\frac{۱}{n_{۱}^{۲}})$$

$$\upsilon = (۳/۲۸۹\times۱۰^{۱۵}/s)\times(\frac{۱}{۲^{۲}}-\frac{۱}{۲^{۴}}) = ۳/۲۸۹\times۱۰^{۱۵}\times(\frac{۱}{۴}-\frac{۱}{۱۶}) \Rightarrow \upsilon = ۶/۱۶۶\times۱۰^{۱۴}Hz$$

$$E = h\upsilon \Rightarrow E = ۶/۶۲۶۲\times۱۰^{-۳۴}J.S\times۶/۱۶۶\times۱۰^{۱۴}Hz = ۴/۰۸۵\times۱۰^{-۱۹}J$$

در نهایت بور با کوانتومی در نظر گرفتن ترازهای انرژی توانست با موفقیت طیف نشری هیدروژن را توجیه کند. کوانتومی بودن به این معناست که ترازهای انرژی هر مقداری را نمی‌توانند داشته باشند و الکترون تنها بین ترازها جابه‌جا شده و مقادیر دیگر انرژی برای الکترون امکان‌پذیر نمی‌باشد. در واقع می‌توان ترازها را مانند طبقات یک کتابخانه و الکترون را مانند یک کتاب در نظر گرفت. روشن است که کتاب تنها روی طبقات می‌تواند باشد و بین طبقات امکان استقرار کتاب وجود ندارد.

مدل اوربیتالی و مکانیک موجی

پس از نظریات انیشتین و ماکس پلانک درباره ماهیت دوگانه موجی- ذره‌ای نور در حد فاصل سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۰۵ که انقلابی در فیزیک برپا کرد، در سال ۱۹۲۴ لویی دوبروی پا را فراتر گذاشته و پیشنهاد داد که الکترون و سایر ذرات نیز دارای خصلت دوگانه موجی- ذره‌ای می‌باشند و معادله زیر را به منظور محاسبه طول موج ذرات ارائه داد.

$\lambda = \frac{h}{mv}$ که در آن m(kg) جرم ذره و V(m/s) سرعت آن و h ثابت پلانک می‌باشد.

* اجرام دارای جرم زیاد طول موج‌های بسیارکوتاهی دارند که قابل تشخیص و اندازه‌گیری نیستند.
* حاصل ضرب mv اندازه حرکت (تکانه) نامیده می‌شود.

اصل عدم قطعیت هایزنبرگ

ورنر هایزنبرگ در سال ۱۹۲۶ اصل عدم قطعیت خود را ارائه داد. براساس این اصل غیرممکن است که بتوان سرعت (تکانه) و مکان الکترون یا هر ذره دیگری را به‌طور هم‌زمان با دقت تعیین کرد. بر این اساس هرگونه کوشش به منظور تعیین دقیق هر کدام منجر به افزایش عدم قطعیت در اندازه‌گیری دیگری خواهد شد.

$$\Delta x \times \Delta mv \geq \frac{h}{۴\pi}$$

* در رابطه فوق Δx عدم قطعیت در اندازه‌گیری مکان و Δmv عدم قطعیت در اندازه‌گیری تکانه (سرعت) می‌باشد.
* عدم قطعیت در اندازه‌گیری برای اجسام با جرم کوچک مانند الکترون اهمیت دارد اما برای اشیاء با جرم معمولی اثر بسیار کوچکی دارد.

پرسش: برای ذره‌ای با جرم $۹\times۱۰^{-۳۱}kg$ که سرعت آن با دقت $۲/۰۰\times۱۰^{+۵}m/s$ اندازه‌گیری شده است. عدم قطعیت مکان برای آن کدام گزینه می‌باشد؟

الف) ۳×۱۰^{-۱۰} ب) ۲×۱۰^{-۱۰} ج) ۳×۱۰^{-۸} د) ۲×۱۰^{-۸}

پاسخ: گزینه «الف»

$$\Delta x \times \Delta mv \geq \frac{h}{۴\pi} \Rightarrow \Delta x \geq \frac{h}{۴\pi m\Delta v}$$

$$\Rightarrow \Delta x \geq \frac{۶/۶۲\times۱۰^{-۳۴}}{۴\times۳/۱۴\times۹\times۱۰^{-۳۱}\times۲\times۱۰^{+۵}} = ۰/۰۲۹\times۱۰^{-۸} = ۲/۹\times۱۰^{-۱۰}m$$

گروه تالیف دکتر خلیلی

پرسش: طول موج متناظر با ذره‌ای به جرم $۹\times۱۰^{-۳۱}kg$ و سرعت $۷\times۱۰^{۴}m/s$ کدام است؟

الف) ۱×۱۰^{-۷} ب) ۱×۱۰^{-۸} ج) ۲×۱۰^{-۷} د) ۲×۱۰^{-۸}

پاسخ: گزینه «ب»

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{۶/۶۲۱۰^{-۳۴}}{۹\times۱۰^{-۳۱}\times۷۱۰^{+۴}} = ۰/۱\times۱۰^{-۷} = ۱\times۱۰^{-۸}$$

* باتوجه به اصل ارائه شده توسط هایزنبرگ، پیش بینی مسیر دقیق الکترون در اتم غیرممکن است و بنابراین امکان گسترش مدل بوهر برای تمامی اتم‌ها به هیچ وجه وجود ندارد.

مدل اوربیتالی

اروین شرودینگر باتوجه به اصل هایزنبرگ و بر مبنای رفتار دوگانه الکترون در سال ۱۹۲۶ مدل اتمی خود را ارائه نمود. این معادله اساس مکانیک موجی بوده و به صورت یک تابع موجی ψ (سای) برای الکترون فرمول‌بندی می‌شود. شرودینگر برای مشخص کردن هر یک از الکترون‌های یک اتم سه متغیردر نظر گرفت که اعداد کوانتومی نامیده می‌شوند. البته برای توصیف کامل الکترون وجود یک عدد کوانتومی دیگر نیز لازم می‌باشد.

* در هر موقعیت مکانی مقدار $\psi^{۲}$ برای یک حجم بسیار کوچک، متناسب با چگالی بار الکترون در آن ناحیه (اوربیتال) می‌باشد. در واقع در مکانیک موجی تنها به پیش بینی احتمال حضور الکترون در یک مکان پرداخته می‌شود و کوششی برای توصیف مسیر الکترون نمی‌شود.

اوربیتال

ناحیه‌ای در اطراف اتم می‌باشد که احتمال حضور الکترون در آن زیاد (حدود ۹۰٪) می‌باشد.

* در هر اوربیتال حداکثر دو الکترون می‌تواند جای گیرد.

اعداد کوانتومی

۱. **عدد کوانتومی اصلی (n):** مشخص کننده ترازی (لایه) است که الکترون به آن تعلق دارد. در واقع این عدد بسیار شبیه به همان شماره ترازهای مدل اتمی بوهر می‌باشد. مقادیر n عبارت‌اند از:

n= ۱ و ۲ و ۳.....

۲. **عدد کوانتومی فرعی (L):** هر تراز اصلی خود شامل یک یا چند تراز فرعی می‌باشد. عدد کوانتومی فرعی مشخص کننده ترازهای فرعی یک تراز اصلی می‌باشد مقادیر L عبارت‌اند از:

L= ۰ و ۱ و ۲ ..... (n-۱)

* تعداد لایه‌های فرعی در هر لایه برابر با مقدار n آن لایه می‌باشد

* سایز اتم عمدتاً به n بستگی دارد و ترازهای فرعی نقش پررنگی را برای عناصر با nهای متفاوت بازی نمی‌کنند.

هنگامی که به عنوان مثال n=۴ باشد مقادیر L برابر است با:

L= ۰ و ۱ و ۲ و ۳

مطلب فوق دلالت بر همین نکته دارد که تعداد ترازهای فرعی برابر با مقدار n می‌باشد.

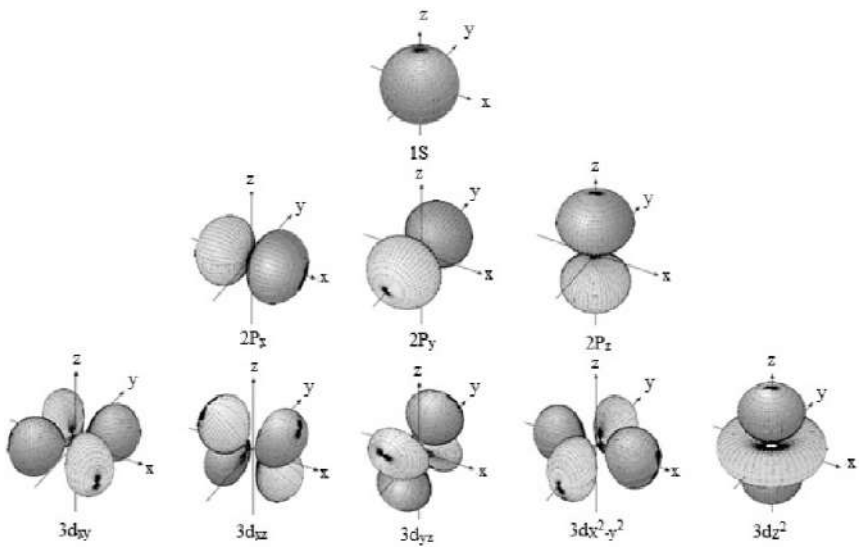
* هر مقدار L معرف یک نوع لایه فرعی (اوربیتال) می‌باشد که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود.

الف) اوربیتال s: شامل یک اوربیتال کروی بوده و متناظر با L=۰ می‌باشد.

ب) اوربیتال p: شامل سه مجموعه اوربیتال دمبلی شکل بوده و متناظر با L=۱ می‌باشد.

ج) اوربیتال d: شامل پنج مجموعه اوربیتال بوده و متناظر با L=۲ می‌باشد.

د) اوربیتال f: شامل هفت مجموعه اوربیتال بوده و متناظر با L=۳ می‌باشد.



تصویر اوربیتال d,p,s

* لایه اول تنها شامل اوربیتال S، لایه دوم اوربیتال S و P، لایه سوم اوربیتال d,p,s و در لایه های بعدی بـه همـین ترتیـب اوربیتال‌های بعدی قرار دارند.

$n = ۱ \rightarrow s$

$n = ۲ \rightarrow s, p$

$n = ۳ \rightarrow s, p, d$

$n = ۴ \rightarrow s, p, d, f$

* تعداد اوربیتال‌های هر تراز فرعی از معادله زیر به‌دست می‌آید: تعداد اوربیتال $= ۲L + ۱$

* برای مقادیر L بیش‌تر از ۳ نمادهای اوربیتالی را به ترتیب حروف الفبای لاتین g و h و ..... انتخاب می‌کنند.

* با مطالعه دقیق طیف نشری می‌توان مشاهده نمود که هر خط خود از یک یا چند خط نزدیک به هـم تشـکیل شـده کـه معرف ترازهای فرعی می‌باشند و بوهر به آن توجه نکرده بود.

* ترکیب اعداد کوانتومی اصلی و فرعی راهی برای نمایش بهتر اوربیتال ها می‌باشد. به عنوان مثال لایه فرعی n=۳ و L=۲ را ۳d می‌نامند. که ۳ مقدار n و d نماد تراز فرعی L=۲ است.

۳. عدد کوانتومی مغناطیسی (m_L): هر یک از اوربیتال‌های لایه فرعی را با عدد کوانتـومی مغناطیسـی اوربیتـال (m_L) مشخص می‌نمایند. مقادیر (m_L) به شرح زیر می‌باشد.

$m_L = +L, +(L-۱), \ldots\ldots\ldots ۰, \ldots\ldots\ldots -(L-۱), -L$

به‌عنوان مثال برای L=۱ یعنی اوربیتال P مقادیر زیر برای m_L به‌دست می‌آید:

$m_L = +۱, ۰, -۱$

در صورتی که مطالعات طیفی در یک میدان مغناطیسی انجـام گـردد برخـی از خطـوط نشـری بـه چنـدین خـط شـکافته می‌گردند. این مشاهده اثر زیمان نامیده می‌شود و به دلیل جهت‌گیری متفاوت اوربیتال های مربوط به آن خط نشری با جهـت میدان مغناطیسی مشاهده می‌گردد. در واقع مقدار m_L مشخص کننده جهت‌گیری اوربیتال در میدان مغناطیسی می‌باشد.