

شیمی عمومی

دکتر علی افضل صمدی



شیمی عمومی

دکتر علی افضل صمدی

نشر نی

بخش نخست

مقدمه چاپ اول و چاپ دوم

و فهرست کامل کتاب

اصول مقدماتی علم شیمی

چاپ دوم به صورت اینترنتی و رایگان

۱۳۸۸ بهمن ماه

مقدمه چاپ دوم به صورت اینترنتی و رایگان

مقدمه چاپ اول

فهرست مطالب تمام کتاب

فهرست مطالب این فصل

اصول مقدماتی علم شیمی

۳	۱-۱ نقش جهانی شیمی
۴	الف) اصول حاکم بر فعل و انفعالات طبیعی
۶	ب) نیروهای چهارگانه حاکم بر طبیعت
۸	پ) مقدمه ای بر نظریه اتمی
۸	ت) اتم، هسته اتم و عناصر چه می باشند؟
۱۲	معلومات عمومی
۱۶	۱-۲ مبدأ نظریه اتمی
۱۷	الف) کیمیاگران
۱۹	ب) قانون نسبتهای مشخص وزنی یا قانون پروست
۱۹	پ) قانون نسبتهای چند تایی دالتون
۲۰	ت) تعیین جرم اتمی و فرمول مولوکولی
	ث) روش تعیین جرم اتمی یا ملکولی به کمک طیف سنجی جرمی
۲۳	معلومات عمومی
۲۶	ج) اتم و ملکول اتم گرم، ملکول گرم و مول
۲۸	ج) روابط و معادلات شیمیایی و محاسبات مربوطه
۳۰	

شیمی عمومی

دکتر علی افضل صمدی



نشری

صمدی، علی‌افضل ۱۳۱۷ -

شیمی عمومی / علی‌افضل صمدی. - تهران: نشر نی، ۱۳۷۷.

شانزده، ۷۹۲ ص. - مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.

ISBN 964-312-389-8

کتابنامه: ص. ۷۹۲-۷۹۱

۱. شیمی - راهنمای آموزشی. الف، عنوان.

QD ۱۱ / ۹ شن ۷ الف /

۱۳۷۷



نشرنی

نشانی: تهران، خیابان انقلاب، خیابان دانشگاه، کوی آشتیانی، شماره ۲۴
صندوق پستی ۵۵۶ - ۱۳۱۴۵ - ۰۶۴۱۳۴۴۳ تلفن ۵ و ۰۶۴۱۳۴۴۳

علی‌افضل صمدی

شیمی عمومی

• چاپ اول ۱۳۷۷ تهران • تعداد ۲۳۰۰ نسخه • لیتوگرافی غزال • چاپ اسلامیه

شابک ۹۶۴-۳۱۲-۳۸۹-۸

همه حقوق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است

Printed in Iran

پیشگفتار چاپ دوم

در اینترنت و به صورت رایگان

در سالهای ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۱ در دانشگاه فردوسی مشهد علاوه بر تدریس شیمی اتمی، تدریس شیمی عمومی را نیز به عهده داشتم. در آن سالها گروه شیمی دانشگاه فردوسی از بهترین و کامل‌ترین گروه‌های علمی ایران بود. اغلب دانشجویان ما پس از کسب درجه لیسانس شیمی، برای ادامه تحصیل و اخذ درجه دکترا به خارج از کشور می‌رفتند و سپس به کشور برگشته و مشغول تدریس در دانشگاه‌های مختلف می‌شدند. در آن زمان من و همکارانم باور داشتیم که دروس عمومی در رشته‌های فیزیک، شیمی و ریاضی بسیار بالهمیت است و تدریس مطالب پیشرفته‌تر را در سالهای بالا آسان‌تر می‌کند. همین دیدگاه در دانشگاه‌های غرب (اروپا و امریکا) نیز وجود دارد و معمولاً برجسته‌ترین اساتید آنها مسئول تدریس این درسها می‌شوند. به همین دلیل در آن سالها بیشترین تلاش خود را معطوف به نگارش یک کتاب درسی شیمی عمومی نمودم و نام آن را اصول شیمی نوین نهادم. این کتاب در سال ۱۳۵۰ به چاپ رسید و در کمتر از یک سال سه هزار نسخه از آن به فروش رسید. چاپ دوم کتاب را با سرمایه شخصی خود در پنج هزار نسخه منتشر کردم. از سال ۱۳۵۲ انتشارات خوارزمی چهار بار دیگر این کتاب را - بعد از تجدید نظری که نگارنده در آن انجام داد و بهویژه فصلی جدید به نام «شیمی هسته‌ای» بر آن افزود - در ده‌ها هزار نسخه و با عنوان شیمی نو چاپ کرد. این کتاب تا سال ۱۳۶۸ همواره کتاب درسی شیمی عمومی ۱ و ۲ در اغلب دانشگاه‌های کشور بود.

در سال ۱۳۶۹ پس از اقامتی ده‌ساله و ناخواسته، از فرانسه به ایران برگشتم و متوجه شدم که این کتاب با وجود کهنگی مطالب، هنوز در برخی از دانشگاه‌ها تدریس می‌شود. با توجه به ده سال سابقه پژوهش و تدریس در فرانسه و موفقیت کتاب قبلی‌ام، خود را ملزم به نوشتن کتاب جدیدی برای برنامه دروس شیمی عمومی ۱ و ۲ - همتراز با برنامه این درس در دانشکده‌های علوم اروپا و آمریکا - دانستم. بعد از چهار سال

تلاش، کتاب حاضر آماده شد و نشر نی چاپ آن را تقبل کرد. چاپ این کتاب که حدود ۹۰۰ صفحه در قطع رحلی است، دو سال طول کشید و در سال ۱۳۷۷ این کتاب منتشر شد. متأسفانه با توجه به تغییرات مهمی که در اوایل انقلاب در ساختار دانشگاه‌های کشور داده شده بود، بخت تدریس کتابی این‌چنین در سطح شیمی عمومی دانشگاه‌های کشور بسیار پایین بود. در نتیجه، ناشر بعد از فروش دوهزار نسخه، مابقی شمارگان کتاب را برای خمیر کردن به صورت کیلویی فروخت! کتابفروش فهیمی این کتاب را از چنگ خمیرکنندگان کتاب نجات داد و گویا هنوز چند نسخه‌ای از آن برایش باقی مانده است.

با توجه به این عمل غیرفرهنگی نشر نی، تصمیم گرفتم چاپ دوم کتاب را به صورت اینترنتی و رایگان در اختیار دانشجویان کشورم قرار دهم. اگرچه این کار وقت زیادی بُرد، ولی متأسفانه مقدور نشد آنرا به صورت یک جلدی در وب سایتم و یا سایت گروههای شیمی و یا فیزیک قرار دهم. با توجه به صفات زیاد و سرعت کم اینترنت در ایران، ناچار شدم آن را در چهارده بخش جداگانه و به صورت pdf تنظیم کنم و در اختیار علاقه مندان به علم شیمی بگذارم. خوشبختانه هر بخش از این کتاب به طور مستقل می‌تواند مقدمه‌ای بر درس سالهای بالاتر لیسانس شیمی مانند شیمی کوانتمی، شیمی معدنی، شیمی تجزیه، شیمی فیزیک، شیمی آلی و شیمی هسته‌ای باشد. امیدوارم این کار من سبب پیشرفت دانش و سطح علمی دانشجویان هموطنم شود.

دانش‌پژوهان عزیز برای آشنایی با این‌جانب و دانلود کتاب‌هایم می‌توانند به سایت من در نشانی زیر مراجعه کنند. همچنین خوشحال خواهمن شد که برای طرح پرسش‌ها و یا تذکرات خود در مورد خطاهایی که ممکن است به کتاب راه یافته باشد، به نشانی ای‌میل زیر با من مکاتبه کنند.

aliafzalsamadi@yahoo.fr
<http://ali.afzal.samadi.free.fr/>

پاریس - بهمن ماه ۱۳۸۸

علی افضل صمدی

تقدیم به خاطره

پدر و مادرم

پیشگفتار

علم شیمی به مطالعه و پژوهش درباره ساختار، خواص، کنشها، واکنشها و ترکیبات عناصر طبیعی که بر روی سیاره زمین و یا در سنگهای آسمانی یافت می‌شوند می‌پردازد. تعداد این عناصر کمتر از ۹۲ است و همه آنها در درون کوره بسیار داغ ستارگان غول پیکر ساخته شده‌اند. دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم مشکل از مجموعه عناصر و ترکیبات آنهاست. برخی از این ترکیبات، فراورده‌های بسیار پیچیده و متنوعی را پدید آورده‌اند که انسان نیز یکی از پیچیده‌ترین آنهاست. انسان به مدد مغز تحول و تکامل یافته‌اش، تشکیلات منظومه شمسی را تا حدی شناخته و مختصراً اطلاعاتی از کهکشانها و تشکیلات درونی آنها به دست آورده است. براساس قابل قبول ترین نظریه‌ها، کیهان و مواد موجود در آن، از حالتی که آنرا مهبانگ (بیگ بنگ) نامیده‌اند پدید آمده است. بعد از لحظه‌ای بینهایت کوچک، مهبانگ یا انفجار بزرگ اتفاق افتاده و چندی بعد، از تراکم توده‌های بسیار وسیع گازهای هیدروژن و هلیم، ۵۰۰ میلیارد کهکشان پدید آمده است. در درون هر یک از این کهکشانها و بعد از میلیاردها سال تحول و دگرگونی، صدھا میلیارد ستاره برابر - و یا حتی به مراتب عظیم‌تر از - خورشید پدید آمده است. ستارگان کوره‌های اتمی بسیار عظیمی هستند و در درون آنها واکنشهای پیوست اتمها (نظیر بمب هیدروژنی در مقیاسی کیهانی) انجام می‌گیرد. از اتحاد اتمهای ساده با یکدیگر، اتمهایی بیش از پیش سنگیتر به وجود می‌آیند.

دانشمندان افسانه جهان را در نمایشنامه‌ای که بسیار نزدیک به حقیقت است گنجانده و از آن نتیجه گرفته و معتقد شده‌اند که گرایش به سوی پیچیدگی و تنوع از روز نخست در درون ذرات نوری که به ماده تبدیل شده‌اند وجود داشته است. از همین‌روست که از اتحاد سه اتم بی‌حس و کم اثر هلیم، در درون ستارگانی به مراتب بزرگتر از خورشید، اتم کربن به وجود می‌آید و اتم اخیر با تمایل شکرگی که برای ترکیب با عناصر دیگر دارد، بیش از ۶ میلیون ترکیب متفاوت در فضای بین کهکشانها و بر روی کره زمین می‌سازد. به دلیل گرایش و تمایل به تنوع و پیچیدگی است که در کوره بینهایت داغ ستارگان غول پیکر، از پیوست یک اتم هلیم با اتم کربن و یا از پیوست چهار اتم هلیم با هم، اتم اکسیژن تولید می‌گردد و از ترکیب عنصر اخیر با هیدروژن، مولکول معجزه‌آسای آب حاصل آمده که سراسر پستیهای زمین را پر کرده است. از ترکیب اتمهای کربن، اکسیژن، ازت و هیدروژن در سنگهای آسمانی و یا بر روی کره زمین، بیش از ۸۰ نوع اسید آمینه به وجود آمده است. این مولکول‌ها آجرهای اولیه موجود زنده بوده‌اند که در درون لجذارها و اقیانوسهای اولیه زمین، ضمن ترکیب با چند عنصر دیگر، زندگی - یعنی مولکول معجزه‌آسای دی. ان. ای (DNA) را به وجود آورده‌اند. تمایل به تنوع و پیچیدگی، میلیونها میلیون موجود متفاوت و متنوع تولید کرده که تکامل یافته‌ترین آنها انسان است. انسان خود نیروی محركة گرایش به سوی

پیچیدگی شده و مخلوقات فراوانی می‌سازد که تکامل یافته‌ترین آنها اینترنت است که بزودی مغز همگانی کرهٔ زمین خواهد شد.

نقشی که در نمایشنامه جهانی برای انسان در نظر گرفته شده، بالا بردن درک و فهم عمومی در جهان است. در این کتاب، براساس همین وظیفه جهانی، سعی در بالا بردن درک دانشجویان از مقاومت علم کنونی شده است. کتاب حاضر که حاصل ۳۰ سال تجربه و تدریس علم شیمی است، گام به گام دانش پژوهان را برای رسیدن به درکی عمیق از ماده و چگونگی تحول آن همراهی خواهد کرد.

نگارنده در سال ۱۳۵۰ کتابی با عنوان اصول شیمی نو نوشت که دو بار در دانشگاه مشهد چاپ شد. استقبال آن زمان همکاران دانشگاهی و دانشجویان از این کتاب، انتشارات خوارزمی را بر آن داشت تا پیشنهاد چاپ سوم آن را مطرح سازد. نگارنده که در آن زمان در مأموریت مطالعاتی در پاریس بود، تصمیم به تجدید نظر در متن کتاب بر اساس داده‌های زمان گرفت. لذا چاپ سوم کتاب در سال ۱۳۵۴ با تغییرات بسیار از سوی انتشارات خوارزمی منتشر شد و تا سال ۱۳۶۸ به چاپ ششم رسید. در سال ۱۳۶۹ نگارنده بعد از ده سال اقامت ناخواسته در فرانسه، به کشور بازگشت و دریافت که این کتاب بعد از ۱۸ سال، هنوز در برخی از دانشگاه‌ها تدریس می‌شود. از این‌رو وظیفه خود دانست تا نگارشی تازه و مطابق با روش‌های جدید آموزشی و منطبق با مطالب علمی جدیدی که در دانشگاه‌های امریکا و اروپا تدریس می‌شود بعرشته تحریر در آورد. اگر چه این نوآوریها و تغییرات، حجم کتاب را سه برابر کرده است، ولی به مدد نمودارها، تمرینهای متعدد حل شده و اطلاعات عمومی، درک و فهم مطالب به مراتب ساده‌تر شده است.

استخوان‌بندی این کتاب براساس سه کتاب شیمی عمومی از دانشگاه‌های امریکا و دو کتاب شیمی عمومی فرانسوی (که در آن کشور برای آماده‌سازی کنکور «اگرکاسیون» تدریس می‌شوند) بنا نهاده شده است. مطالب عمومی و بسیاری از اشکال و نمودارها نیز از ۳۰ جلد کتاب شیمی و فیزیک سالهای اول تا چهارم نظری دیبرستانهای فرانسه اقتباس شده است که اسامی و مشخصات آنها در فهرست منابع پایان کتاب آمده است.

نگارنده امیدوار است که کتاب حاضر نیز مورد قبول همکاران محترم دانشگاهی و بخصوص دیبران محترم شیمی در دوره‌های نظری قرار گیرد. در واقع مطالب این کتاب در عین حال که مواد تدریس دروس شیمی عمومی را تأمین می‌کند، کتاب راهنمای معلمان دوره‌های نظری دیبرستانها نیز هست. مثال‌ها و مطالب عمومی آن به نحوی انتخاب شده است تا کار معلم را در تدریس دروس شیمی - و حتی تا اندازه‌ای دروس فیزیک - آسان سازد.

این کتاب براساس تفہیم گام به گام مقاومت تحریر شده و در ۱۴ بخش تنظیم گردیده است. در بخش نخست، نقش جهانی شیمی و اصول و قوانین شناخته شده حاکم بر جهان بررسی شده و از نظر تاریخی به مبدأ نظریه اتمی می‌پردازیم. در بخش دوم، نظریه اتمی ماده را از آغاز پیدایش تا تدوین نظریه‌ای جامع که بتواند ساختار واقعی عناصر، اتمها، مولکولها و دلیل پیوست آنها را با یکدیگر توجیه کند، مورد مطالعه قرار داده‌ایم. در بخش سوم با توجه به تعامل طبیعی عناصر برای نیل به انرژی پایین‌تر، دلیل پیوست آنها را برای تشکیل ترکیباتی بیش از پیش پیچیده‌تر بررسی کرده، با ارائه ساختار الکترونی برخی از مولکولهای پیچیده در این بخش و نیز تعدادی دیگر در بخش دوازدهم، سعی در تفہیم مقدمات شیمی -

فیزیک و شیمی معدنی نموده‌ایم. در بخش چهارم و پنجم و ششم، حالتهای سه گانه ماده مورد بررسی قرار گرفته و خواهیم دید که این سه حالت به چه دلیل متفاوت از یکدیگرند و چگونه تمايل جهانی دیگر، یعنی گرایش به بی‌نظمی مطلق در رقابت با رسیدن به انرژی پایین‌تر، حاکم بر سرنوشت ماده شده است. در بخش مربوط به گازها، صفات ظاهری ماده به وضعیت انفرادی مولکولهای گاز ربط داده شده است. در بخش مربوط به جامدات، وضع قرار گرفتن اتمها و الکترونها را در شبکه‌های بلوری مطالعه کرده و درباره ساختار فضایی جامدات و انواع محلولهای جامد در جامد بحث شده است. در بخش ششم، تحولات ماده به حالت مایع مورد بررسی قرار گرفته و همین بحث در بخش هفتم درمورد محلولها و نقش بی‌نظمی و رقابت آن با نیروهای درونی که مولکولها را کنار یکدیگر قرار می‌دهند، ادامه یافته است. در بخش هشتم، تعادلهای شیمیایی در پنج قسمت مورد مطالعه قرار گرفته است و ارتباط بین ثابت تعادل و وضعیت تعادلی ماده در محلولها، در کمپلکس‌ها، در محیط‌های اسید و بازی و سرانجام در محلولهای هموارکننده (بافر) را به کمک روابط ریاضی تشریح کرده‌ایم. در بخش نهم، واکنشهای اکسایش و کاهش و قواعد نوشتن فرمولهای مربوط به آنها و ساختار پلها و الکترولیز در محلولها و یا در جامدات به حالت مذاب بررسی شده و در این بخش نیز مانند بخش‌های قبل، به کمک نیروی الکتروموتوری استاندارد و ثابت تعادل، وضعیت تعادلی واکنشها را بررسی کرده‌ایم. دو بخش اخیر، مقدمه‌ای بسیار لازم برای درک مطالب شیمی تجزیه و شیمی دارویی است. در بخش دهم، دلیل وجود ثابت تعادل و رابطه آن با تمايل عناصر شرکت‌کننده در کنش و واکنش مورد مطالعه قرار گرفته و از آنجا اصول کلی ترمودینامیک را که توجیه کننده رفتار کلی جهان هستند خواهیم شناخت و خواهیم دید که هدف نهایی جهان، رسیدن به پایین‌ترین تراز از انرژی و بالاترین تراز از بی‌نظمی یا هرج و مرج است.

در بخش هشتم، نهم و دهم، حالتهای آغازی و انتهایی گشها و واکنشها بدون درنظر گرفتن سرعت یا نظریه جنبشی مورد مطالعه قرار گرفته است؛ حال آنکه در بخش یازدهم، نحوه ارتباط بین این دو حالت را به کمک نظریه جنبشی واکنشهای شیمیایی، بخصوص در ارتباط با مکانیسم آنها، مطرح کرده‌ایم. مطلب این دو بخش، مقدمه‌ای بسیار ضروری برای درک دروس شیمی - فیزیک است. بخش دوازدهم، شیمی توصیفی عناصر را در رابطه با تناوبی بودن خواص در جدول تناوبی مطرح کرده و بخصوص در این بخش با تکیه بر نوع پیوند عناصر و نمایش ساختار مولکولها، سعی شده تا خواندن براساس فهم - و نه با تکیه بر حافظه - با بسیاری از اختصاصات عناصر آشنا شود. بخش سیزدهم نیز سعی بر آن دارد تا با روشنی متقى بر فهم و نه حافظه، شما را با شیمی آلی که بخش عظیمی از علم شیمی را در بر می‌گیرد، آشنا سازد. سرانجام در بخش چهاردهم درباره شیمی و فیزیک هسته‌ای بحث خواهیم کرد و دلیل پرتوزا بودن برخی از ایزوتوپهای عناصر و علت شکست اتمهای سنگین و یا پیوست اتمهای سبک را با یکدیگر مورد مطالعه قرار خواهیم داد.

در سراسر این کتاب، وظیفه اصلی بشر در مقابل محیط زیست یادآوری شده است و بخصوص به علم متقى بر بهره‌دهی و اقتصاد سرمایه‌داری که در حال از بین بردن محیط زیست است اشاره کرده‌ایم. سعی بر آن بوده تا وجدان علمی‌ای بیدار و مسئول نسبت به دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم در دانشجویان بوجود آید.

نگارنده از آقای دکتر مسعود حسن‌پور، متخصص شیمی - فیزیک دانشگاه بابلسر که ویراستاری علمی این کتاب را پذیرفته و در این راه رنج فراوان برده‌اند سپاسگزار است. همچنین از همکاران محترم دفتر ویرایش که در حروفچینی و صفحه‌آرایی کتاب ذوق و سلیقه بسیار از خود نشان دادند و در این راه زحمت بیش از معمول متحمل شدند تشکر می‌کند.

علی‌افضل صمدی

پاریس - بهار ۱۳۷۷

فهرست

۱ اصول مقدماتی علم شیمی	۱
۱-۱ نقش جهانی شیمی	۲
الف) اصول حاکم بر فعل و انفعالات طبیعی	۳
ب) نیروهای چهارگانه حاکم بر طبیعت	۶
پ) مقدمه‌ای بر نظریه اتمی	۸
ت) اتم، هسته اتم و عناصر چه می‌باشند؟	۸
معلومات عمومی	۱۲
۱-۲ مبدأ نظریه اتمی	۱۶
الف) کیمیاگران	۱۷
ب) قانون نسبتهاي مشخص وزني يا قانون پروست	۱۹
پ) قانون نسبتهاي چندتايی دالتون	۱۹
ت) تعیین جرم اتمی و فرمول مولکولی	۲۰
ث) روش تعیین جرم اتمی يا مولکولی به کمک طیف سنجی جرمی	۲۳
معلومات عمومی	۲۶
ج) اتم و مولکول - اتم گرم، مولکول گرم و مول	۲۸
چ) روابط و معادلات شیمیایی	۲۹
ح) معادلات شیمیایی و محاسبات مربوطه	۳۰
۲ ساختار الکترونی اتم	۳۵
۲-۱ نخستین تلاشها و مدلها	۳۷
الف) آزمایش راترفورد	۳۸
معلومات عمومی	۴۲
ب) فرضیه کوانتاوی پلانک	۴۳
پ) اثر فوتو الکتریک	۴۴
ت) اتم بوهر	۴۷
ث) ساختار اتم بر طبق مدل اتمی بوهر	۴۹
چ) طیف پرتو X و عدد اتمی	۵۳
۲-۲ مکانیک کوانتومی	۵۵

الف) دوگانگی موج و ذره.....	۵۵
ب) اثبات تجربی فرضیه لوبی دوبروی - آزمایش داویسون و ژرمر	۵۶
پ) اصل عدم قطعیت.....	۵۹
ت) مثالی برای تعیین وضعیت یک ذره.....	۶۰
ث) معادله شروودینگر	۶۱
ج) مکانیک موجی و احتمال وجود الکترون	۶۶
ج) شکل اوریتالها	۶۸
ح) اتمهای چند الکترونی	۷۱
۲-۳ مشخصات درونی اتمها.....	۷۲
الف) آرایش اوریتالها و جدول تناوبی	۷۲
ب) برانگیختگی و یونیدگی	۷۸
پ) تعیین ترازهای انرژی در اتمهای سنگین تر از هیدروژن	۸۵
۳ پیوندهای شیمیایی	۹۵
۱-۱ مشخصات پیوندها.....	۹۷
الف) انرژی پیوند	۹۸
ب) کاربرد انرژی پیوند	۱۰۰
پ) طول پیوند	۱۰۱
ت) زاویه پیوند	۱۰۴
ث) مولکولهای قطبی و غیرقطبی و مولکولهای یونی	۱۰۶
ج) گشتاور دوقطبی	۱۰۸
ج) خواص فیزیکی پیوند	۱۱۰
۱-۲ انواع پیوندها.....	۱۱۳
الف) پیوند یونی	۱۱۳
ب) پیوند اتمی یا کروالانسی مطلق	۱۲۲
پ) مولکول هیدروژن	۱۲۸
ت) اوریتالهای اتمی و مولکولی	۱۳۰
ث) نمایش ساختار پیوند به کمک نقطه	۱۳۱
ج) قاعده هشت تایی	۱۳۱
ج) آرایش هندسی مولکولها	۱۳۲
۱-۳ هیبرید شدن	۱۳۶
الف) پیوندهای چندتاپی یا	۱۴۱
ب) پیوندهای چند مرکزی	۱۴۷
پ) پیوند هیدروژن	۱۵۰
ت) اکسید اسیدی - اکسید بازی	۱۵۲
۴ گازها.....	۱۵۷
۴-۱ صفات گازها	۱۵۹

الف) قوانین گازها	۱۰۹
ب) معادلات گازهای کامل	۱۶۶
۴-۲ نظریه جنبشی گازها	۱۷۲
الف) سرعت متوسط مولکولها	۱۷۲
ب) نفوذ گازها	۱۷۹
پ) توزیع سرعت مولکولی	۱۸۱
ت) بررسی تجربی توزیع سرعت مولکولها	۱۸۲
ث) گاز حقیقی یا غیرکامل	۱۸۶
چ) تعیین اوزان مولکولی دقیق به کمک رابطه گازها	۱۸۸
معلومات عمومی	۱۹۲
۵ جامدات	۱۹۰
۱-۱ خواص جامدات	۱۹۷
الف) ابعاد و شکل بلورها	۱۹۸
ب) نوع جامد	۲۰۰
پ) رسانایی الکتریکی بلورها	۲۰۶
ت) پرتو X و ساختار بلورها	۲۱۳
ث) خواص گرمایی جامدات	۲۱۸
چ) تقاضی یک بلور	۲۱۹
۵-۲ شیمی فضایی	۲۲۲
الف) ترکیبات شیمیایی شبکه ها و سیستم های بلوری	۲۲۲
ب) شیمی فضایی فلزات خالص	۲۲۵
پ) آلیاژها	۲۳۰
۶ مایعات	۲۳۹
۱-۱ تحولات ماده	۲۴۱
الف) مطالعه تحول مایع \leftrightarrow گاز	۲۴۱
ب) مطالعه تحول مایع \leftrightarrow جامد	۲۴۳
پ) تغییرات انرژی جنبشی مایعات	۲۴۵
۱-۲ تعادل فازها	۲۴۸
الف) وضعیت انرژی تعویض فازها	۲۴۹
ب) تعادل مایع - بخار	۲۵۱
پ) بستگی فشار بخار به دما	۲۵۳
ت) نمودار فازها	۲۵۵
ث) قاعده فازها	۲۶۰
معلومات عمومی	۲۶۲

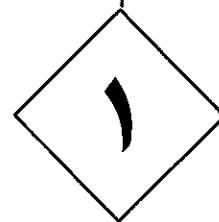
۲۶۵.....	۷ محلولها
۲۶۷.....	۱- انواع محلولها
الف) نقش بینظمن در تشکیل محلولها.....	۲۶۷
ب) محلول یک جامد در مایع.....	۲۷۰
پ) محلول مایع در مایع.....	۲۷۳
ت) محلول گاز در مایع.....	۲۷۳
ث) نقش یونها در فاز مایع.....	۲۷۵
ج) اتحال.....	۲۷۸
چ) گرمای اتحال.....	۲۸۱
ح) تأثیر عوامل خارجی در اتحال یک گاز در محلول.....	۲۸۳
خ) تبلور جزء به جزء.....	۲۸۵
۲۸۶.....	۲- اثر غلظت در محلولها
الف) واحدهای غلظت.....	۲۸۶
ب) محلولهای کامل.....	۲۸۷
پ) تقطیر جزء به جزء.....	۲۹۰
ت) فشار اسمزی.....	۲۹۴
ث) نقطه جوش و نقطه انجماد محلولها:.....	۲۹۷
۳۰۵.....	۸ تعادلات شیمیایی
۳۰۷.....	۱- برگشت پذیری
الف) ثابت تعادل.....	۳۱۰
ب) تفسیر ثابت تعادل.....	۳۱۳
پ) تأثیرات محیط خارج بر روی تعادل.....	۳۱۷
ت) تعادل در محلولهای غیر ایدهآل.....	۳۲۱
ث) محاسبه به کمک ثابت تعادل.....	۳۲۲
ج) ثابت تعادل و فشار جزیی.....	۳۲۵
۳۲۹.....	۲- تعادلات یونی در محلولها
الف) نمکهای کم محلول.....	۳۲۹
ب) رسوب دادن انتخابی.....	۳۳۴
پ) رسوب دادن انتخابی با کترول PH محلول.....	۳۳۶
۳۴۱.....	۳- تعادلات یونی کمپلکس ها
الف) یونهای کمپلکس و قابلیت اتحال:.....	۳۴۲
معلومات عمومی.....	۳۴۳
ب) محاسبه به کمک ثابت تشکیل کمپلکس Kform.....	۳۴۵
پ) نامگذاری کمپلکس ها.....	۳۴۶
ت) ایزومری در کمپلکس ها.....	۳۴۸
۳۵۶.....	۴- تعادلات اسید و بازی

الف) اسید و باز.....	۳۵۶
ب) تفکیک آب.....	۳۶۲
پ) نمکها.....	۳۶۵
ت) درجه تفکیک:.....	۳۶۸
ث) هیدرولیز	۳۶۹
ج) محاسبه PH یک محلول آبی.....	۳۷۴
چ) معرفهای رنگی.....	۳۸۲
۵- محلولهای تامپون و تیتراسیون اسیدها و بازها.....	۳۸۶
الف) محلول تامپون یا هموارکننده.....	۳۸۸
ب) تیتراسیون اسید و بازی.....	۳۹۲
پ) تعیین نقطه اکیوالان به کمک منحنی.....	۴۰۳
معلومات عمومی.....	۴۰۴
۹- الکتروشیمی.....	۴۰۹
۹-۱- اکسایش و کاهش.....	۴۱۱
الف) درجه اکسایش.....	۴۱۴
ب) واکنش الکترود یانیمه واکنش:.....	۴۱۶
پ) پتانسیل اکسایش و کاهش	۴۱۹
ت) الکترود هیدروژن.....	۴۲۰
ث) تعیین نیروی محركه الکتریکی واکنش اکسایشی - کاهشی یا پبل.....	۴۲۳
ج) کاربرد پتانسیل الکترود در مورد ترکیبات مختلف عناصر.....	۴۲۸
چ) ثابت اثر غلظت و نیروی محركه الکتریکی استاندارد.....	۴۳۲
ح) کاربرد معادله نرنست	۴۳۴
خ) سیستم اکسیژن.....	۴۴۱
۹-۲- الکترولیز.....	۴۴۴
الف) الکترولیز محلولهای آبی	۴۴۴
ب) الکترولیز محلولهایی که خودشان الکترولیز می شوند که ما آنها را الکتروفعال گوییم	۴۵۲
پ) قانون کمی الکترولیز یا قانون فاراده	۴۵۶
معلومات عمومی	۴۵۷
۱۰- ترموشیمی.....	۴۷۱
۱۰-۱- ترمودینامیک شیمیایی.....	۴۷۳
الف) سیستم، حالت و تابع حالت.....	۴۷۴
ب) تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی گرمایی	۴۷۹
پ) رسانایی و تبادل گرمایی.....	۴۸۲
۱۰-۲- اصل اول ترمودینامیک.....	۴۸۵
الف) اندازه گیری ΔU	۴۸۶

۴۸۷	ب) آنتالپی
۴۸۹	پ) قانون هس
۴۹۲	ت) ظرفیت گرمایی
۴۹۵	ث) بستگی ΔH به دما
۴۹۶	ج) دلیل تبدیلات خود بخود
۴۹۷	ج) برگشت پذیری و خود بخودی
۵۰۱	۱۰-۳ اصل دوم ترمودینامیک
۵۰۱	الف) آنتروپی و اصل دوم ترمودینامیک
۵۰۱	ب) محاسبه آنتروپی
۵۰۴	پ) تغییرات آنتروپی بر حسب دما
۵۰۵	ت) توجیه آنتروپی مولکولی
۵۰۷	ث) آنتروپی مطلق و اصل سوم ترمودینامیک
۵۱۱	ج) انرژی آزاد
۵۱۳	ج) پیش‌بینی خود بخودی واکنش‌ها
۵۱۵	ج) انرژی آزاد و ثابت تعادل
۵۲۳	۱۱ سینتیک واکنش‌های شیمیایی
۵۲۸	۱۱-۱ سرعت واکنشها
۵۲۸	الف) اثر غلظت مواد اولیه بر روی سرعت واکنش
۵۲۳	ب) تعیین تجربی سرعت واکنشها
۵۲۶	پ) شرایط عملی تعیین سرعت واکنش
۵۴۰	ت) تحول سیستم در طی زمان
۵۴۳	ث) قوانین سرعت مجموع یا انتگرال
۵۵۰	ج) تعیین تجربی قوانین سرعت یا تعیین درجه واکنش
۵۵۳	۱۱-۲ مکانیسم واکنشها
۵۵۴	الف) واکنش بین Cl_2 و H_2
۵۵۷	ب) ترکیب دی کلر با گاز متان
۵۵۹	معلومات عمومی
۵۶۰	پ) فرآیندهای مقدماتی
۵۶۲	ت) مکانیسم و قوانین سرعت
۵۶۵	ث) برخورددهای مؤثر
۵۶۸	ج) اثر دما بر روی سرعت
۵۷۱	ج) محاسبه انرژی فعالسازی
۵۷۴	۱۱-۳ کاتالیزورها
۵۷۴	الف) کاتالیزور همگن
۵۷۹	ب) کاتالیزور ناهمگن

۱۲ شیمی توصیفی عناصر.....	۱۲
۱۲-۱ ساختار nS	۵۸۷
الف) هیدروژن.....	۵۸۷
ب) عناصر گروه IA.....	۵۹۱
پ) عناصر گروه IIA (فلزات قلایی خاکی).....	۵۹۷
۱۲-۲ ساختار nP	۶۰۲
الف) عناصر گروه IIIA.....	۶۰۲
ب) عناصر گروه IV A.....	۶۱۰
پ) عناصر گروه VA.....	۶۱۷
ت) عناصر گروه VIA.....	۶۲۷
ث) عناصر گروه VIIA.....	۶۳۲
ج) عناصر گروه VIIIA.....	۶۳۷
۱۲-۳ ساختار nd	۶۴۱
عناصر گروه IIIB.....	۶۴۶
عناصر گروه IVB.....	۶۴۷
عناصر گروه VB.....	۶۴۸
عناصر گروه VIB.....	۶۴۹
عناصر گروه VIIIB.....	۶۵۰
عناصر گروه VIIIIB.....	۶۵۲
عناصر گروه VIIIB (کالت).....	۶۵۷
عناصر گروه VIIIB (نیکل).....	۶۵۷
عناصر گروه VIIIB خانواده پلاتین.....	۶۵۸
عناصر گروه IB مس، نقره و طلا.....	۶۵۹
عناصر گروه IIB: روی، کادمیم و جیوه	۶۶۲
۱۳ شیمی آلی.....	۶۶۵
۱۳-۱ تعیین فرمول و طبقه‌بندی ترکیبات آلی.....	۶۶۷
الف) تعیین فرمول خام یک ترکیب آلی.....	۶۶۷
تجزیه ترکیب آلی.....	۶۶۸
ب) طبقه‌بندی هیدروکربورها.....	۶۷۰
۱۳-۲ آلکان‌ها، آلکین‌ها، آلکین‌ها و ترکیبات آروماتیک.....	۶۷۱
الف) آلکان‌ها.....	۶۷۱
ب) ترکیبات اشباع نشده.....	۶۷۸
پ) آلکین‌ها:.....	۶۸۰
ت) افزایش هیدروژن بر آلکن‌ها و آلکین‌ها.....	۶۸۳
ث) پلی مرشدان آلکن‌ها.....	۶۸۴
ج) هیدروکربورهای آروماتیک.....	۶۸۵

۶۹۲.....	۱۳-۳ گروههای عاملی
۶۹۳.....	الف) گروه هیدروکسیل (-OH)
۶۹۹.....	ب) عامل کربونیل
۷۰۳.....	پ) قندها
۷۰۵.....	ت) عامل کربوکسیل
۷۰۸.....	ث) استرها
۷۱۲.....	۱۳-۴ آمینو اسیدها، پپتیدها و پروتئینها
۷۱۲.....	الف) گروههای عاملی ازت دار
۷۱۴.....	ب) آمیدها و پلی آمیدها
۷۱۶.....	پ) آمینو اسیدها
۷۱۸.....	ت) پلی پپتیدها و پروتئینها
۷۲۲.....	ث) پیوند دو آمینو اسید باهم
۷۲۳.....	ج) از پپتیدها به پروتئینها
۷۲۸.....	ج) RNA و DNA
۷۳۱.....	۱۴ شیمی هسته‌ای
۷۳۳.....	شیمی هسته‌ای
۷۳۵.....	الف) مشخصات هسته اتمها
۷۳۸.....	ب) پرتوزایی طبیعی
۷۴۰.....	پ) پرتوزایی
۷۴۴.....	ت) تحولات به وسیله تقسیم
۷۴۸.....	ث) سرعت تحولات مواد پرتوزا
۷۵۱.....	ج) تشخیص پرتوها
۷۵۵.....	ج) انرژی پیوند
۷۵۸.....	ح) پرتوزایی مصنوعی
۷۶۳.....	خ) نیروگاه اتمی
۷۶۷.....	د) اثر پرتوها بر روی موجودات زنده
۷۷۳.....	جدولهای ضمیمه
۷۹۱.....	منابع



اصول مقدماتی علم شیمی

۱-۱ نقش جهانی شیمی

۱-۲ مبدأ نظریہ اتمی

۱- نقش جهانی شیمی

علوم شیمی و فیزیک ما را با نیروهای طبیعی و قوانین مربوط به آن آشنا می‌سازد. شناخت نیروهای حاکم بر کیهان و تشخیص طبیعت ماده و انرژی و ارتباط این دو با یکدیگر اسرار نهفته جهان را برای ما آشکار می‌کند. در قرون گذشته افراد بشر و یا در قرن حاضر افراد عادی، قادر به درک اتفاقات روزمره زندگی نبوده و بی تفاوت از کنار پدیده‌ها می‌گذرند. چوب و زغال در هوای آزاد می‌سوزند، آهن در جای مرتبط زنگ می‌زند، جسد حیوانات و انسانها بعد از مرگ از بین می‌رود و جز استخوانها چیزی از آنها باقی نمی‌ماند. چه کشش و تمایلی مسبب این سوختن و زنگ زدن و بالاخره فاسد شدنها است؟ زمین به دور خورشید می‌گردد، منظومه شمسی نیز در کهکشان گردش دارند، کهکشانها نیز در حرکت هستند و از هم دور می‌شوند، برق به کمک الکترونها در داخل سیمها از کارخانه تولید کننده آن به منازل ما در سراسر کشور منتقل می‌شود و خانه‌ها و خیابانهای ما را روشن می‌نماید، آب مانده در ظرفی راکب بدون دخالت ما تبخیر می‌شود و بعد از مدتی چیزی در ظرف باقی نمی‌ماند، به مجرد باز کردن شیشه عطری مولکولهای عطر در فضای پراکنده می‌شوند و به مشام ما می‌رسند.

چه کشش و تمایلی سبب این حرکات می‌باشد؟

همه این فعل و افعالات و حرکات از یک رشتۀ اصول و قوانین طبیعی و نیروهای موجود در طبیعت پیروی می‌کنند. برای شناخت بهتر جهانی که در آن زندگی می‌کنیم لازم است این نیروها و قوانین مربوط به آنها را بشناسیم، کاری که دانشمندان در طی قرون متمادی با تحقیقی سرسرخانه و لجوچانه و با سرمایه گذاشتن عمر خود و چشمپوشی از لحظات دلپذیر زندگی انجام داده‌اند و به نتایجی رسیده‌اند که امروز شاهد آن هستیم. از سفر به اعماق فضا گرفته تا کامپیوترها و از ارتباط صوتی و تصویری بین قاره‌ای تا پیوند اعضاء و... از برکات زحمات آنهاست که ما اکنون قادر به تفسیر پدیده‌های شیمیایی و فیزیکی هستیم. لذا برای فهم چگونگی این پدیده‌ها لازم است قوانین و اصول و چگونگی تشکیل اتمها و مولکولها را بشناسیم.

الف) اصول حاکم بر فعل و افعالات طبیعی

کلیه فعل و افعالات و واکنشهای شیمیایی و جنبش در جهان از دو اصل گلی و با اهمیت ترمودینامیک پیروی می‌کنند که در اینجا به ذکر آن دو بدون وارد شدن در مبحث ریاضیات مربوط به آنها می‌پردازیم. سپس در فصول مختلف این کتاب (بخصوص فصل

هشتم) به تدریج با آنها آشنا شده و تا حدودی که برنامه شیمی عمومی اجازه می‌دهد، معادلات مربوط به آنها را بسط خواهیم داد.

اصل اول:

اصل اول مربوط به بقاء جرم و انرژی می‌باشد. این اصل به ما می‌فهماند که کلیه سیستمهای جهانی تمایل و گرایش به سوی حالتی با انرژی و یا جرم پایین‌تر دارند. وقتی چوب و یا زغال در هوای آزاد می‌سوزد به ما انرژی می‌دهد. مفهوم این واکنش چیست و چرا چوب و یا زغال ناپایدارند و میل به سوختن دارند؟ کربن موجود در زغال و یا چوب با اکسیژن هوا ترکیب می‌شود و گاز کربنیک می‌دهد. تمایل کربن به سوختن با اکسیژن و تولید گاز کربنیک یک تمایل جهانی یعنی گرایش به سوی جسم یا ماده‌ای با انرژی پایین‌تر و یا جرم پایین‌تر است و نتیجه آن تولید حرارت و تولید فراورده‌هایی پایدارتر از عناصر تشکیل دهندهٔ خود می‌باشد.

کیلوکالری حرارت $+94 \text{ kcal/mol}$ کمتر از $44 \text{ گرم گاز کربنیک} \Rightarrow (1 \text{ مول}) 32 \text{ گرم اکسیژن} + (1 \text{ مول}) 12 \text{ گرم کربن}$

$$\text{C} + \text{O}_2 \Rightarrow \text{CO}_2 \quad \text{kcal/mol}$$

۹۴ کیلوکالری حرارت از کجا آمده است؟

این مقدار حرارت از تبدیل مقدار بسیار کمی از جرم اکسیژن و کربن حاصل شده است. زیرا جرم گاز کربنیک از جرم (اکسیژن + کربن) کمتر می‌باشد و همین اختلاف جرم است که به حرارت تبدیل شده است.

در آن قرن پیش لاوازیه دانشمند مشهور فرانسوی ^۱ اظهار داشت که در یک واکنش شیمیایی نظری سوختن کربن در اکسیژن، جرم اجسام شرکت کننده در واکنش ثابت می‌ماند و از عبارت خود اصلی کلی به نام اصل بقاء جرم ساخت.

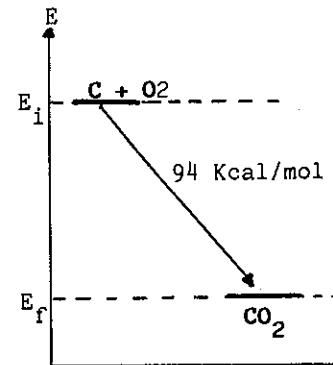
در اوایل قرن بیستم اینشتاین ^۲ اظهار داشت، انرژی حاصل از واکنش فوق به علت کم شدن جرم فراورده واکنش می‌باشد و به کمک رابطه مشهور خود $E = MC^2$ تبدیل جرم به انرژی را ثابت نمود و اصلی کلی تربه نام اصل بقاء جرم و انرژی بنیان گذاشت.

در حقیقت، در واکنش فوق مقدار جرم تبدیل شده به انرژی یعنی M آنقدر کوچک است که با دقیقترین ترازوها نیز نمی‌توان وزن آن را به دست آورد. از این رو است که قانون لاوازیه در فعل و افعالات شیمیایی باز هم تا حدی قابل قبول می‌باشد. ولی موقعی که اتم اورانیم در یک رآکتور اتمی شکسته می‌شود، اختلاف جرم فراورده‌های حاصل از شکست نسبت به اورانیم اولیه قابل ملاحظه و تقریباً 50 میلیون مرتبه بیشتر از سوختن کربن در اکسیژن می‌باشد. در این حال باید قانون اینشتاین یعنی بقاء جرم و انرژی را در نظر گرفت.

$200 \text{ میلیون الکترون ولت} + 3 \text{ نوترون} + \text{فراورده‌های شکست} \Rightarrow \text{یک نوترون} + \text{اورانیم}$

$$92 \text{ U}^{235} + n^1 \Rightarrow FF_1 + FF_2 + 2..n^1 + 200 \text{ Mev}$$

یک میلیون الکترون ولت که به Mev نشان داده می‌شود، واحدی از انرژی و معادل با $10^{-14} \times 10^3 / 8 \text{ کالری}$ است، FF_1 و FF_2 به ترتیب تکه‌های حاصل از شکست اورانیم است، مثلاً در واکنش زیر عبارتند از عنصر کربیتون (Kr) و باریم (Ba).

$$92 \text{ U}^{235} + n^1 \Rightarrow 56 \text{ Ba}^{121} + 36 \text{ Kr}^{92} + 2..n^1 + 200 \text{ Mev}$$


تغییرات انرژی سیستم در موقع سوختن یک مول کربن با یک مول اکسیژن، E_i حالت ابتدایی و E_f حالت پایانی سیستم است؛ اختلاف این دو حالت $94 \text{ کیلوکالری انرژی}$ است.



لاوازیه در سن ۲۵ سالگی وارد آکادمی علوم پاریس شد. پدیده اکسایش فلزات را مطالعه کرد و نتیجه کارهای او منجر به پیدایش اصلی به نام اصل بقاء جرم شد. ثابت نمود که هوا مشتمل از هیدروژن و اکسیژن است. فرانسوی‌ها او را پدر شیمی نو می‌دانند در انقلاب کبیر فرانسه سر او را با گیوتین زدند و روپسپر گفت. انقلاب به دانشمند احتیاج ندارد.

واکنش سوختن کربن و یا شکست اتم اورانیم را می‌توان به صورت تساوی زیر نوشت:

$$\Delta m_1 \text{ مقدار جرم تبدیل شده به انرژی} + \text{ جرم گاز کربنیک} = \text{ جرم اکسیژن} + \text{ جرم کربن}$$

$$\Delta m_2 \text{ جرم} + \text{ جرم نوترونها} + \text{ جرم فراورده‌های} = \text{ جرم پک نوترون} + \text{ جرم اتم اورانیم}$$

تبدیل شده به انرژی آزاد شده حاصل از شکست

تبدیل کربن و اکسیژن به گاز کربنیک و یا تبدیل اورانیم به فراورده‌های حاصل از شکست و نوترونها آزاد شده، ارضاء کننده تمایل جهانی کلیه سیستمهای موجود در طبیعت است: یعنی کشش به سوی جسمی پایدار با جرم و یا انرژی کمتر از مواد اولیه.

به عنوان مثال محاسبه Δm را در مورد دو واکنش فوق بیان می‌کنیم.

$$E_2 = 200 \times 3 / 8 \times 10^{-14} \times 4 / 18 \times 6 / 0.2 \times 10^{23}$$

$$E_2 = 1 / 91 \times 10^{20} \text{ ارجی}$$

$$\Delta m_2 = \frac{E_2}{C^2} = \frac{1 / 91 \times 10^{20}}{9 \times 10^{20}}$$

$$\Delta m_2 = 0.21 \text{ گرم}$$

نقصان جرم حاصل از شکست ۲۲۵ گرم (یک مول) اورانیم، نسبت دو جرم بهازه هر گرم از کربن و اورانیم

$$\frac{\Delta m_2 \times M_c}{\Delta m_1 \times M_u} = \frac{0.21 \times 12}{4 / 2 \times 10^{-9} \times 225} = 2 / 5 \times 10^6$$

یعنی انرژی آزاد شده در مورد هر گرم اورانیم $2 / 5$ میلیون مرتبه بیشتر از انرژی آزاد شده بهازه هر گرم کربن است.

یک مول کربن یعنی ۱۲ گرم کربن که بسوی ۹۴ کیلوکالری حرارت می‌دهد یک کیلوکالری معادل با $1 / 18 \times 4 \times 10^3$ ژول و یا معادل با:

$$10^3 \times 10^7 \times 4 / 18 \text{ ارجی است و نیز سرعت سیر سور معادل } C = 3 \times 10^{10} \text{ سانتیمتر در ثانیه است.}$$

$$E_1 = \Delta m_1 C^2$$

$$\Delta m_1 = \frac{E}{C^2} = \frac{94 \times 10^3 \times 4 / 18}{(3 \times 10^{10})^2}$$

$$\Delta m_1 = 4 / 3 \times 10^{-9} \text{ گرم}$$

نقصان جرم حاصل از سوختن ۱۲ گرم (یک مول) کربن که به وسیله دقیق ترین ترازوها قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد.

یک مول اتم اورانیم مشتمل از $6 / 0 \times 10^{23}$ (عدد آووگادرو) اتم اورانیم است و چون در هر شکست $200 \times 3 / 8 \times 10^{-14}$ کالری انرژی آزاد می‌شود بنابراین:



ایشتین بزرگترین فیزیک و ریاضی دان جهان است. اوچ و عظمت نظریه نسبیت خاص و عام او دید ما را نسبت به جهان عوض کرده و قسم اعظم پیشرفت بشر در قرن بیستم میلادی کارهای اوسن. نظریه‌های او نسخه‌های از نسبیت خارق العاده تحول و تکامل مغز انسان است.

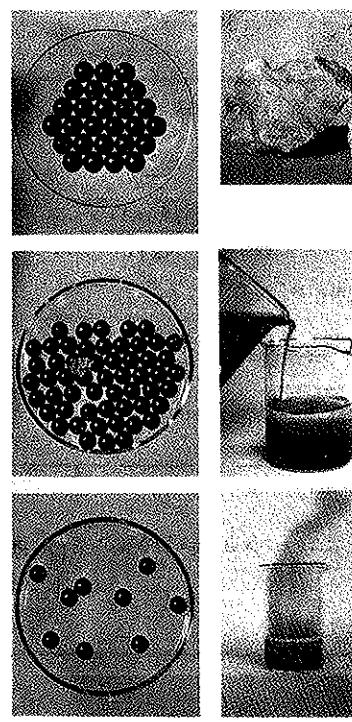
اصل دوم: کشش به سوی انرژی یا جرم پایین‌تر غالباً تأم و برخی اوقات در رقابت با تمایل جهانی دیگری است که آنرا اصل دوم ترمودینامیک گویند:

کلیه سیستمهای جهانی و طبیعی تمایل به بی‌نظمی و از هم پاشیدگی¹ دارند معیار این بی‌نظمی را تغییرات آنتروپی (Antropie)، درجه بی‌نظمی گویند و به ΔS نمایش می‌دهند. محصلین در کلاس درس منظم و مرتب بر روی صندلی‌های خود نشسته و به معلم گوش می‌دهند، در این کلاس درجه بی‌نظمی یا تغییرات آنتروپی صفر است، به مجرد آنکه زنگ پایان کلاس زده می‌شود، محصلین همه با هم به سوی درب خروجی پیش می‌روند و هرج و مرچ ایجاد می‌شود، تغییرات آنتروپی و یا درجه بی‌نظمی کلاس اضافه می‌گردد. شیشه عطری را در نظر بگیرید، تا زمانی که درب شیشه بسته است همه مولکولها مرتب و منظم بر اساس نیروی بین مولکولی در داخل شیشه کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، به محض اینکه درب عطردان باز می‌شود مولکولهایی که انرژی بیشتر دارند نیروی بین مولکولی را شکسته و به خارج فوار می‌کنند و به مُشم شما می‌رسند. اگر درب شیشه عطر مدتی طولانی باز بماند تمام عطر آن تغییر می‌شود و چیزی در شیشه باقی نمی‌ماند. آیا هرگز شنیده‌اید که گرما از جسم سرد به جسم گرم منتقل شود؟

تمایل و یا کشش به سوی بی نظمی است که مولکولها را به خارج از شبشه عطر هدایت می کند و مولکولها را وادار به شکست نیروی بین خود می نماید و به سوی هرج و مرچ و یا آنتروپی بالا سوق می دهد و یا گرما را از جسم گرم به جسم سرد منتقل می کند و درجه آنتروپی جسم سرد را بالا می برد. مولکولهای آب بصورت یخ و یا به صورت مایع پایدارتر از بخار آب می باشند، با وجود این به علت کشش و تمایل به سوی هرج و مرچ، بر اصل اول ترمودینامیک غالب آمده و با جذب حرارت از محیط، یخ به آب و آب به بخار تبدیل می شود. نظم و ترتیبی که در مولکولهای یخ وجود داشت از بین می رود و تبدیل به آب با نظمی کمتر ولی به مراتب منظم تر از بخار آب می شود. آب نیز به نوبه خود تبخیر می شود و مولکولها در هرج و مرچ کامل در فضا پراکنده می شوند.

در مورد کهکشانها و ستارگان نیز چنین کشش و گرایشی به سوی هرج و مرچ وجود دارد. کهکشانها از هم دور می شوند و جهان گسترش پیدا می کند. هسته اتهای هیدروژن و هلیم در داخل خورشید باهم ترکیب می شوند و عناصر سنگین تر بوجود می آورند، نتیجه این ترکیب تولید نور است. اصابت نور خورشید و ستارگان به ماده و زمین و یا بدن ما، منجر به تابش نورهایی در زیر قرمز با انرژی کمتر ولی با تعداد بیشتر است و این عمل بر بی نظمی جهان می افزاید. زمانی می رسد که خورشید دیگر ذخیره سوختی یعنی هیدروژن و هلیم ندارد، به ناچار منفجر شده، خود و منظومه شمسی را در فضا پراکنده می کند و بی نظمی جهان بیشتر می گردد. با وجود این، گرایش به بی نظمی در رقابت با نیروی جاذبه عمومی است. هنگامی می رسد که نیروی گرانشی بر تمایل به هرج و مرچ غلبه کرده و از بقایای خورشید و سیارات آن ستاره جدیدی یعنی خورشید دیگری می سازد و باز تولید نور و باز سبب افزایش بی نظمی می شود.

افزایش درجه بی نظمی اطلاعات ما را نسبت به سیستم مورد نظر کم می کند. زمانیکه دانشجویان در کلاس منظم در جاهای خود نشسته اند معلم قادر است به سهولت بگوید علی و یا حسن چه مختصاتی دارند و یا مولکولهای عطر در داخل عطردان دارای چه مقدار انرژی بوده و یا سرعت متوسط آنها چقدر است ولی همین که زنگ پایان کلاس زده شد و یا در بی شیشه عطر باز گردید دیگر اطلاع زیادی در مورد محصلین کلاس و یا مولکولهای عطر نخواهیم داشت. لذا گوییم بی نظمی یعنی کمبود اطلاعات. این کتاب اطلاعاتی به شما می دهد، اگر جملات و حروف کتاب در هم ریخته شود عملکار بی مصرف خواهد بود و درجه بی نظمی آن بالا می رود. در واقع عدم اطلاع یعنی افزایش انتروپی. بنابراین مطالب این کتاب را به نحوی منظم و منطقی بیان کرده ایم تا خواننده بتواند حداکثر استفاده از آن را بنماید. مطالب فصول مختلف این کتاب از اصولی منطقی پیروی می نماید لذا الزاماً باید فصول کتاب یکی بعد از دیگری مطالعه و فهمیده شود.



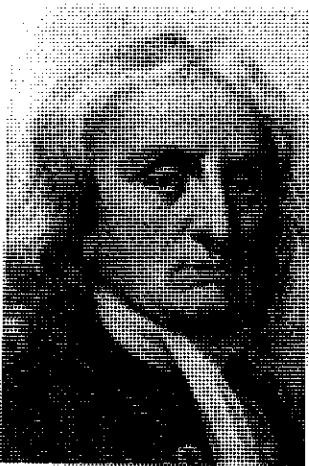
سه شکل ساده از ماده از بالا به پایین
۱. حالت جامد (مولکولها با نظم در
کنار یکدیگر و براساس نیروی بین
مولکولی قرار گرفته اند) درجه
بی نظمی صفر است.

۲. حالت مایع (برابر افزایش درجه
حرارت نیروی مولکولی متضیف
شده و مولکولها نظم کمتری از حالت
جامد دارند و به صورت مایع
می باشند) درجه بی نظمی بالا رفته
است.

۳. حالت گازی (نیروی بین مولکولی
کاملاً از بین رفته و مولکولها
به صورت گاز و آزاد از یکدیگر
می باشند) درجه بی نظمی به
ماکزیمم رسیده است.

ب) نیروهای چهارگانه حاکم بر طبیعت

علاوه بر دو اصل فوق که منتج از قوانین فیزیکی است چهار نیرو از نیروهایی که حاکم بر طبیعت بوده و بشر تاکنون شناخته است عبارتند از:



نیوتن (۱۶۴۳-۱۷۲۷) نیروی جاذبه عمومی را کشف کرد و دلیل گردش سیارات به دور خورشید و امکان محاسبه مدار سیاراتی از منظمه شمسی که تا زمان او شناخته نشده بودند داد. کشف سیاره نپتون در ساعت و محل پیش‌بینی شده نسوداری از اوج و عظمت نظریه نیوتن درباره جاذبه عمومی در جهان است. نیوتن بیان‌گذار فیزیک نوین است. مکانیک نیوتنی با قدمت سه قرنی خود هنوز در اعمال زندگی روزمره مسکاربرد دارد و قوانین حرکت در روی کره زمین نتیجه اکتشافات حیرت‌انگیز اوست.

۱. نیروی جاذبه عمومی و یا نیروی گرانشی این نیرو به نام قانون نیوتن بیان می‌شود. نیوتن^۱ احتمالاً از افتادن سیبی به زمین نتیجه گرفت که «اجرام هم‌دیگر را جذب می‌کنند. زمین ماه را به سوی خود می‌کشد و ماه زمین را». جذر و مدد آب دریاها اثر نیروی گرانشی ماه بر روی زمین است. این نیرو برخلاف اصل دوم ترمودینامیک بوده و سعی دارد اتمها و ذرات موجود در کهکشانها را متراکم کرده و از توده‌های گاز درون آنها ستارگان را بوجود آورده. ولی نتیجه نهایی آن همانطور که گفته شد افزایش بی‌نظمی در جهان به صورت ایجاد فوتونهای نوری است که ستارگان از خود منتشر می‌کنند. زیرا اتمهای فشرده شده در کنار هم در اثر نیروی گرانشی، مبارزه‌ای علیه این نیرو آغاز می‌کنند و با ایجاد واکنش پیوست اتمها (*Théronucléaire* یا *fusion*) یا در واقع نوعی انفجار اتمی مشابه بمبهای هیدروژنی، مانع از تسلط نیروی گرانشی برخود می‌شوند. حاصل این مبارزه تولید نور است.

۲. نیروی الکترومغناطیسی یا قانون کولمب (Coulomb)^۲

این نیرو با دافعه و یا جاذبه قطبیهای هم نام و یا غیر هم نام تعریف می‌شود. الکترونها در داخل اتم در فاصله‌های بسیار بسیار دور از هسته به کمک این نیرو که نیروی جاذبه الکترومغناطیسی نامیده می‌شود در اطراف هسته در گردش می‌باشند و در چنین حالتی نیروی گریز از مرکز و نیروی جاذبه بار مثبت هسته برروی الکترونها با هم در حال تعادل است. این نیرو منتج از همان اصل اول یعنی گرایش به سوی انرژی و یا جرم پایین تر است، زیرا جرم و یا انرژی الکترون پیوند شده در اتم کمتر از جرم و یا انرژی الکترون آزاد می‌باشد.

۳. نیروی پیوند هسته‌ای (یا نیروی قوی)

این نیرو در داخل هسته اتمها، ذرات بنیادی از قبیل پروتون و نوترون را کنار یکدیگر نگه می‌دارد. خواهیم دید که این نیرو حاصل از همان اصل اول یعنی گرایش بسوی انرژی و یا جرم پایین تر است. پروتون و نوترون پیوند شده در یک هسته جرم کمتری از پروتون‌ها و نوتونهای آزاد دارند و بهمین دلیل در داخل هسته اتمها در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

۴. نیروهای ضعیف

این نیروها مربوط به تغییر ترازهای انرژی درون هسته می‌باشند که آنهم باز به علت تمايل هسته‌های ناپایدار بسوی پایداری است و این عمل با انتشار پرتوهای γ یا β یا α یا ν (نوتروینو) و انتشار ذراتی از قبیل الکترون (رادیو اکتیویته $-\beta$) و الکترون مثبت (رادیو اکتیویته $+\beta$) و یا هسته اتم هلیم (رادیو اکتیویته α) اجرا می‌گردد. باز هم در این پدیده‌ها گرایش به سوی انرژی و یا جرم پایین تر و تمايل به بی‌نظمی با انتشار این پرتوها یا ذرات ارضاء می‌شود.

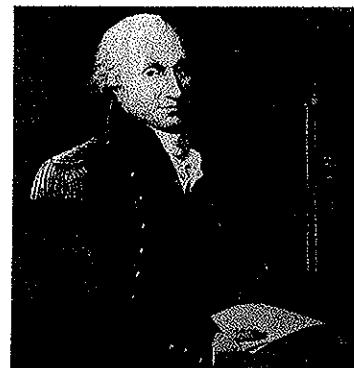
نیروهای یک و دو را بشر در اوخر قرن هفدهم کشف کرده بود ولی نیروهای سه و چهار فقط در اوائل قرن بیستم شناخته شد و احتمالاً نیروهای دیگری حاکم بر طبیعت هستند که شناخت آنها بسیاری از مجهولات بشر را روشن خواهد نمود. منجمله دلیل تمايل به

بی نظمی در سراسر جهان از یک سو و تمايل به تنوع و تکامل موجودات زنده در روی زمین از سوی دیگر برای ما روشن شود.

در واقع خورشید و ستارگان منفجر می‌شوند و کهکشانها از هم دور می‌شوند، این پدیده‌ها مطابقت کامل با افزایش آنتروپی در جهان دارد ولی برعکس و برخلاف اصول اول و دوم ترمودینامیک، انواع مختلف و متعدد مولکولهای ناپایدار و یا درشت مولکولهای زنده از اتحاد ناپایدار اتمها باهم شکل گرفته‌اند و اندامهای موجودات زنده را تشکیل می‌دهند.^۱

(پ) مقدمه‌ای بر نظریه اتمی

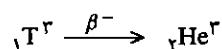
فهم اعمال شیمیابی در جهان متکی بر نظریه اتمی ماده است و این نظریه که متشکل از مجموعه‌ای عقاید علمی است حقیقتاً قابل تحسین می‌باشد زیرا همین نظریه است که قسمتی از دنیا غیرقابل روئیت و غیرقابل تصور فیزیک و شیمی را تشریح و مشخص می‌نماید. در این کتاب اشاره لایقطع به نظریه اتمی و استفاده از نتایج آن درک مطالب و وضعیت شیمیابی ماده را آسان می‌نماید. در این بخش به طور خلاصه با اتم، هسته اتم و عناصر آشنا شده و سپس تاریخچه پیدایش نظریه اتمی و چگونگی توسعه آن را مطالعه می‌نماییم و در فصول بعد به طور مفصل تر نظریه اتمی مُدرن را بررسی خواهیم نمود.



(ت) اتم، هسته اتم و عناصر چه می‌باشند؟

می‌توانیم کلیه اعمال فیزیکی از قبیل ذوب، میغان، تبخیر، انحلال و انجاماد و کلیه واکنشهای شیمیابی از قبیل ترکیب مواد با یکدیگر یا تجزیه شیمیابی آنها و به دست آوردن جسم ساده را بدون توجهی زیاد درباره ساختمان اتمی ماده و منحصرآ با درنظر گرفتن شکل ساده‌ای از اتم تفسیر کنیم. بر حسب نظریه اتمی عصر حاضر عنصر عبارتست از یک جسم خالص ساده غیر قابل تفکیک با روشهای شیمیابی. از ترکیب عناصر با یکدیگر اجسام مرکب به وجود می‌آیند. عناصر شناخته شده در طبیعت حدود ۹۲ می‌باشند. هیدروژن اولین و ساده‌ترین عناصر و سپس هلیم، کربن و ازت و... و بالاخره آخرین عنصر طبیعی به شماره ۹۲ عنصر اورانیم است. اخیراً پسر توانسته بطور مصنوعی و به کمک واکنشهای هسته‌ای ۱۶ عنصر دیگر یعنی تا عنصر ۱۰۸ را بسازد که تمام آنها ناپایدارند و رادیو اکتیو می‌باشند و به همین دلیل در طبیعت یافت نمی‌شوند.

یک عنصر ممکن است از اتمهای مختلفی درست شده باشد، همه این اتمها از نظر خواص شیمیابی مشابه یکدیگرند و فقط از نظر تعداد نوترنون باهم متفاوت هستند. مثلاً هیدروژن سه نوع اتم دارد. اتمهای مختلف یک عنصر را ایزوتوپ گویند.^۱ H¹, هیدروژن معمولی و D², دوتزیم یا هیدروژن سنگین و بالاخره T³, که ناپایدار و رادیو اکتیو است و با انتشار پرتو - β^- تجزیه و مبدل به ایزوتوپ سبک هلیم یعنی He³, می‌شود.



هلیم متشکل از دو ایزوتوپ است، He³, هلیم سبک He⁴, هلیم معمولی. عددی که در

۱. در واقع مولکولهای درشت و پیچیده تشکیل دهنده بدن ما به علت ناپایداری بعد از مرگ تبدیل به گاز کربنیک و بخار آب و اونوک گربنها و فسفاتها یعنی خاک می‌شوند.

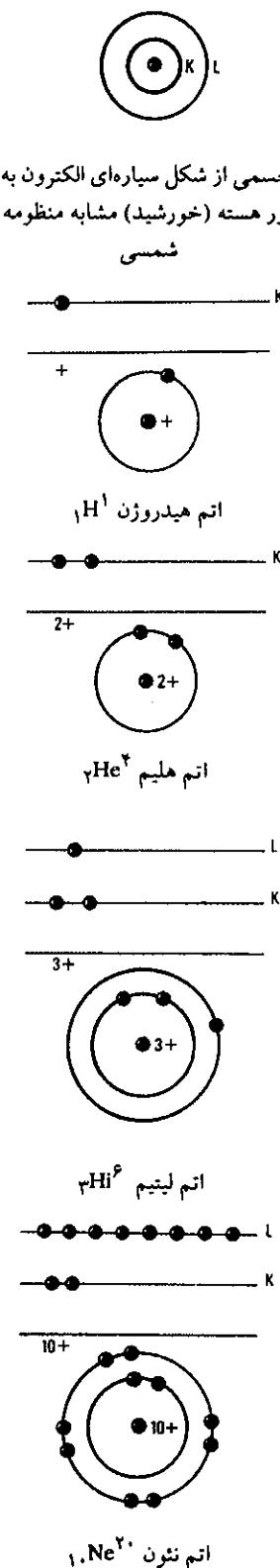
کولومب (۱۷۳۶-۱۸۰۶) در ابتدا در مهندسی ارتش فرانسه کار می‌کرد. در سال ۱۷۷۲ از ارتش بیرون آمد و به مطالعات علمی پرداخت. اولین مقاله‌اش در سال ۱۷۷۷ درباره چگونگی ساخت عقرهای مغناطیسی بود. در سال ۱۷۸۴ نیروی الکترومغناطیسی را شناخته و قانون آنرا به صورت حاصلضرب بارها بخش بر مجلد فاصله دو قطب به دست آورد و در سال ۱۷۸۹ با مطالعه میدان مغناطیسی زمین گشتوار مغناطیسی را تفسیر کرد. از سال ۱۷۸۱ عضو آکادمی علوم پاریس بود.

طرف چپ علامت اختصاری عنصر قرار گرفته عدد اتمی گویند که تعداد پروتونها و یا تعداد الکترونها را مشخص می‌کند و نیز محل قرار گرفتن عنصر را در دسته‌بندی (جدول تناوبی) عنصر مشخص می‌کند. عددی را که در بالا و سمت راست علامت اختصاری عنصر قرار گرفته، عدد جرمی گویند که معرف تعداد مجموع نوترونها و پروتونها است و نزدیکترین عدد صحیح به جرم واقعی عنصر است، فرانسویها این عدد را در بالا و سمت چپ عنصر قرار می‌دهند.

در سال ۱۹۱۱ رادرفورد Rutherford نشان داد که قسمت اعظم جرم یک اتم در مرکز آن که هسته نامید قرار گرفته و الکترونها در اطراف آن و در فاصله بسیار بسیار دور در دوران هستند. تقریباً چیزی شبیه منظمه شمسی، خورشید در مرکز (هسته) و سیارات (الکترونها) در اطراف آن در گردش هستند. هر اتم از تعداد مشخص و معینی ذرات بنیادی به نام پروتون با بار مثبت و نوترون بدون بار درون هسته و الکترون با بار منفی در اطراف آن در گردش می‌باشد. تعداد پروتونها با بار مثبت برابر با تعداد الکترونها با بار منفی است. جرم پروتون و جرم نوترون تقریباً باهم برابر و معادل با: $\text{گرم} \cong mn = 1/67 \times 10^{-24}$ و جرم الکترون 1836 مرتبه کوچکتر از آنها است. برای آنکه با اعدادی به این کوچکی سروکار نداشته باشیم معمولاً جرم آنها را بر حسب واحد جرم اتمی بیان می‌نماییم، به نحوی که یک واحد جرم اتمی (در مقیاس کرین ۱۲ A.M.U) معادل با $1/66 \times 10^{-24}$ گرم می‌باشد، بنابراین جرم یک پروتون $= 1/673 \times 10^{-24}$ و جرم نوترون $= 1/677 \times 10^{-24}$ گرم یک الکترون معادل با $1/54 \times 10^{-33}$ واحد جرم اتمی یا $A.M.U$ است. در فیزیک و شیمی هسته‌ای با توجه به رابطه نسبیت خاص اینشتاین $E = mc^2$ معمولاً جرم برخی از ذرات را بر حسب واحد انرژی بیان می‌کنند. یک واحد جرم اتمی معادل با:

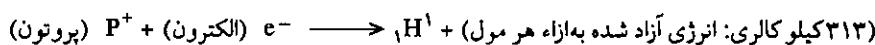
$A.M.U = 931/4 Mev$ یا $931/4$ میلیون الکترون ولت می‌باشد و از آنجا جرم یک پروتون $938/4$ و جرم یک نوترون $939/5$ میلیون الکترون ولت می‌باشد. جرم یک الکترون $511/0$ میلیون الکترون است.^۱ برای ساده‌تر کردن فهم آرایش اتمی عناصر، آرایش منظمه شمسی را در نظر بگیرید، خورشید هسته و در مرکز، و سیارات: عطارد، زهره، زمین، مریخ، مشتری، زحل، اورانوس، نپتون و پلوتون در اطراف آن به وسیله نیروی جاذبه نیوتونی در مدارهای مشخص و ثابتی در حال حرکت هستند. نیروی ارتباط بین خورشید و سیارات آن از قانون جاذبه عمومی و نیروی گریز از مرکز پیروی می‌نماید و حال آنکه در اتمها، الکترونها و هسته به وسیله نیروی جاذبه کولمنی و نیروی گریز از مرکز در کنار یکدیگر قرار گرفته و در حال تعادل هستند. البته باید خاطر نشان کنیم که وضع قرار گرفتن الکترونها در اتم به این سادگی نبوده و از قوانین مکانیک موجی پیروی می‌نمایند و در فصل مربوط به ساختمان الکترونی اتم به تفصیل درباره آن صحبت خواهیم نمود.

استقرار الکترونها در درون اتمها، همانطور که گفته شد به علت تعادل بین نیروی گریز از مرکز و نیروی جاذبه می‌باشد. الکترون با وجود آنکه انرژی جنبشی داشته و به دور هسته در گردش است با وجود این انرژی مجموع آن نسبت به الکترونها آزاد منفی است. مثلاً اگر بخواهیم الکترون اتم هیدروژن را از آن جدا کنیم، باید مقدار ۳۱۳ کیلوکالری بهزاء هر مول

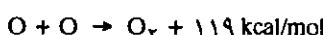
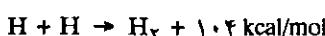


۱. یک الکترون ولت (ev) عبارتست از انرژی جنبشی که یک الکترون در اثر اختلاف پتانسیل یک ولت کسب کرده است. یک $ev = 1/67 \times 10^{-12}$ ارج (انرژی جنبشی الکترون در مبدأ) صفر فرض شده است.

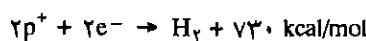
(یک گرم هیدروژن) انرژی به آن تزریق کنیم تا این تعادل به هم بخورد و الکترون از اتم جدا شود، این مقدار انرژی را انرژی یونش^۱ گویند. در واقع تشکیل اتم هیدروژن در طبیعت به صورت زیر انجام می‌گیرد.



در مورد اکسیژن و اتم اورانیم مقدار انرژی آزاد شده به مراتب بیشتر می‌باشد زیرا تعداد الکترونها به ترتیب ۸ و ۹۲ است که با ۸ و ۹۲ پروتون ترکیب شده و اتم خنثی را بوجود آورده‌اند. اتم هیدروژن و یا اکسیژن و یا سایر عناصر گازی شکل مثل ازت، کلر، فلئور و... به حالت آزاد و تک اتمی ناپایدارند و همیشه به صورت مولکولی هستند، یعنی علاوه بر پیوند الکترون به هسته، اتمها نیز با یکدیگر پیوند دارند و آنرا پیوند مولکولی گویند. دریاره انرژی یونش و پیوندهای مولکولی در فصول دوم و سوم مفصل صحبت خواهیم نمود.

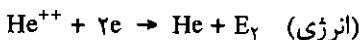
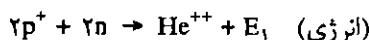


بنابراین تشکیل مولکول هیدروژن از ذرات اولیه آن (یعنی ۲ پروتون و ۲ الکترون) به ازاء هر مول همراه با خروج $= 730 + 104 = 834$ کیلو کالری انرژی است.



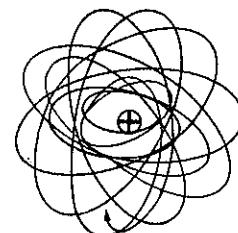
این مقدار انرژی در واقع از تبدیل مقدار مختصّی از جرم پروتونها طبق رابطه آینشتاین $E = \Delta m c^2$ حاصل گشته است. اگر در این معادله مقدار انرژی و سرعت سیر نور (c) را قرار دهیم مقدار جرم از دست رفته معادل با $\frac{3}{4} \times 10^{-14}$ گرم به ازاء تشکیل ۲ گرم مولکول هیدروژن به دست می‌آید و این عمل منحصرًا بر اساس اصل اول ترمودینامیک یعنی کشش بهسوی جرم پایین‌تر و پایدارتر انجام گرفته است.

در آغاز پیدایش جهان یا در لحظه مهبانگ (Big-Bang) پروتون و نوترون نیز وجود نداشته‌اند و آنها نیز از تبدیل ذرات بنیادی دیگر به نام کوارک و ضدکوارک حاصل شده‌اند. اولین سنتز در جهان بعد از مهبانگ، تشکیل هسته اتمهای سبک مانند ایزوتوپهای مختلف هیدروژن و هلیم است. به عنوان مثال، محاسبه جرم از دست رفته و یا انرژی آزاد شده در موقع تشکیل هسته اتم هلیم را یادآور می‌شویم:



$$\Delta m = (2\text{Mp} + 2\text{Mn} + 2\text{Me}) - \text{M He}$$

Δm عبارتست از کمبود جرم و برابر با مقدار جرمی که پروتون و نوترون و الکترون برای تشکیل اتم هلیم از دست داده‌اند و این مقدار جرم تبدیل به انرژی شده و از اتم هلیم خارج شده است. یعنی در واقع جرم پروتون و نوترون و الکترون پیوند شده در هسته هلیم به مقدار Δm کمتر از جرم این ذرات به حالت آزاد است. جرم هلیم را بوسیله طیف نگار جرمی با دقت بسیار تعیین نموده‌اند و برابر 4002 ± 4 واحد جرم اتمی است. اگر در رابطه فوق جرم



تحرک تنها الکترون اتم هیدروژن به دور هسته

هليم و جرم پروتون، نوترون و الکترون را قرار دهیم، خطای کمبود جرم (Δm) بددست خواهد آمد.

$$\Delta m = [(2 \times 1/10073) + (2 \times 0/549 \times 10^{-3})] - 4/1002$$

$$\Delta m = 0/0473 \text{ A.M.U} \quad \text{واز آنجا}$$

يعنى به ازاء تشکيل ۴ گرم يا يك مول اتم هليم $0/0473$ گرم جرم تبديل به انرژى مى شود

$$E = \Delta m.c^2 = 0/426 \times 10^{21} = 0/426 \times (3 \times 10^{11})^2$$

و چون 10^{21} ارگ معادل با يك کيلو ژول است از آنجا انرژى حاصل برابر با $10^{10} / 426 \times 10^{21}$ کيلو ژول و يا معادل با $4/26$ ميليون مگا ژول يعنى در موقع تشکيل چهار گرم هليم خواه در داخل ستارگان و يا در خورشيد معادل با $4/26$ ميليارد کيلو ژول انرژى خارج مى شود كه به مراتب بيشتر از مقدار برق مصرفي در يك شبانه روز شهرستان تهران و حومه است. در خورشيد هر ثانيه 6×10^{20} ميليون تن هليم به وجود مى آيد و در اين عمل چهار ميليون تن از جرم پروتونها طبق رابطه اينشتاين تبديل به انرژى مى شود. يعنى با يك ثانيه فعالitet خورشيد مى توان برق شش ميليارد شهر بزرگ چون تهران را به مدت صد سال شب و روز تأمین کرد.

ارزش Δm يا E مقدار انرژى پيوند ذرات بنیادي را در داخل هسته اتمها مشخص مى نماید. محاسبه Δm را مى توان درمورد کلیه عناصر موجود در طبیعت به سهولت انجام داد. مثلاً برای اکسیژن:

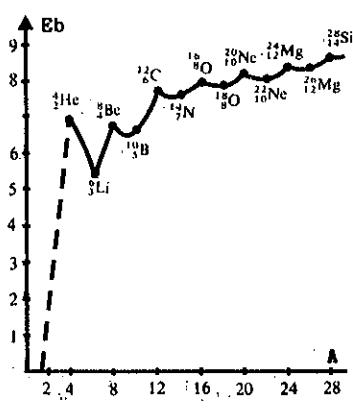
$$[\text{جرم اکسیژن}^{16} - (8 \text{ مرتبه جرم الکترون} + 8 \text{ مرتبه جرم نوترون} + 8 \text{ مرتبه جرم پروتون})] = \Delta m$$

با توجه به اينکه جرم اکسیژن $0/016$ معادل با $15/9994$ واحد جرم اتمی است و از آنجا Δm در موقع تشکيل اکسیژن معادل با $1/137$ A.M.U بددست مى آيد. هر قدر Δm بزرگتر باشد عنصر به وجود آمده پايدارتر است. معمولاً مقدار Δm را بر حسب انرژى بيان مى کنند، يعنى حاصل ضرب $\Delta m c^2$ برابر با E مقدار انرژى پيوند مجموع در داخل هسته اتم مربوطه است. با وجود اين به منظور مقایسه نسبی بهتر است، حاصل بخش E را بر تعداد کل ذرات (پروتون و نوترون) موجود در هسته اتم مربوطه به دست آورد. مجموع تعداد پروتونها و نوترونهاي يك هسته را به A نمایش داده و آنرا عدد جرمی گويند. تعداد پروتونهاي يك اتم را نيز به Z نمایش مى دهند و آنرا عدد اتمی گويند. مثلاً اتم اکسیژن را به صورت O^A نمایش مى دهند و انرژى پيوند هر ذره در داخل اين اتم عبارتست از E_1 يا $E_b = \frac{E_1}{A}$ يا $E_b = \frac{E_1}{16}$ و با بدست آوردن $E_1 = \frac{128 \times 10^6}{16 \times 10^{-12}} = 128 \times 10^6 \text{ ev}$ لذا

واز آنجا انرژى پيوند به ازاء هر نوكلئون:

$$E_b = \frac{E_1}{A} = \frac{128 \times 10^6}{16} = 8 \times 10^6 \text{ ev} \Rightarrow 8 \text{ Mev}$$

يعنى انرژى پيوند در اتم اکسیژن به ازاء هر ذره معادل ۸ ميليون الکترون ولت مى باشد. بهطور دقیق و تجربی مى توان $E_b = \frac{E_1}{A}$ را همانگونه که برای هليم و اکسیژن حساب کردیم



انرژى پيوند E_b به ازاء هر نوكلئون برای تعدادی از عناصر در محور طولها عدد جرم و در محور عرضها انرژى پيوند بروز شده است.

برای کلیه عناصر شناخته شده در طبیعت بدست آورد. E_0 از صفر برای هیدروژن شروع می‌شود و حدود 7 MeV در هلیم 8 MeV در اکسیژن و ماکریتم 9 MeV برای عناصر گروه آهن است و بعد از این عناصر به تدریج تنزل می‌نماید تا در عناصر گروه اورانیم به 7 MeV می‌رسد.

معلومات عمومی

پیش روشن تر می‌گردد، بدین ترتیب 15 میلیارد سال به عقب برگشتیدیم.

پرتوهایی از اعماق آسمانها در کلیه جهات به ما می‌رسند رادیوتلسکوپهای قوی قادرند آنها را ضبط کرده و تجزیه و تحلیل نمایند، این پرتوها که طول موج آنها بین $6 / 6 \text{ میلیمتر} \sim 20 \text{ سانتیمتر}$ است با انرژی بسیار ضعیف پرتوهای فسیلی نامیده می‌شوند که حکایت از انفجاری که در 15 میلیارد سال قبل در جهان اتفاق افتاده است می‌کنند. در لحظه قبل از انفجار چگالی ماده و دمای جهان بینهایت زیاد بوده است، این مشاهدات عینی مطابقت کامل با فرضیه انفجار بزرگ یا مهبانگ (Big-Bang) دارد. که امروزه بوسیله همه دانشمندان پذیرفته شده و عملکردن در آن شکن ندارد. ولی قبل از این انفجار جهان چه بوده است و یا بعد از گسترش کامل و نابود شدن کلیه ستارگان چه خواهد شد اطلاعی نداریم شاید در آینده جواب این سوالات داده شود.

بهر حال ماده و جهان کنونی لحظاتی بعد از انفجار بزرگ شکل می‌گیرد، همه چیز در لحظه $t = 0$ با انفجاری عظیم که آنرا مهبانگ گویند شروع شده و 15 میلیارد سال از آن می‌گذرد. در لحظه $t = t$ جهان و کلیه مواد و انرژی موجود در آن در یک نقطه فیزیکی متمرکز بوده است، این نقطه بسیار فشرده را تخمه کیهانی نام نهاده‌اند و در اسطوره‌های تمدنی‌ها مختلف به آن افسانه خلقت گویند. در 10^{-33} ثانیه بعد جهان دیگر نقطه هندسی نبوده بلکه اندازه آن معادل سرسوزنی است یعنی شعاعی معادل با 10^{-30} متر و دمای جهان در این لحظه 10^{32} درجه حرارت مطلق است. در لحظه 10^{-32} ثانیه بعد از انفجار بزرگ حجم جهان باندازه یک پرتوال و دمای آن به 10^{25} درجه مطلق نزول کرده است.

انرژی و نورهای موجود طبق رابطه اینشتاین $E = mc^2$ تبدیل به ماده گردیده‌اند. ذرات ماده حاصل شده هنوز آن ذراتی نیستند که ما با آنها آشنا هستیم، این ذرات کوارک quarks و پادکوارک antiquarks نام دارند. بعد از تشکیل اولین ذرات ماده چهار نیروی اساسی نقش خود را در تشکیل جهان کنونی ایفا می‌کنند. چند میلیونیم ثانیه بعد از انفجار بزرگ ابتدا نیروی پیوند هسته‌ای و سپس نیروی گرانشی و مدتی بعد نیروی الکترومغناطیسی و نیروی پیوند ضعیف آرایش گر جهان

1. Edwin - Hubble (1889-1953)

چگونگی تشکیل ماده و عناصر در طبیعت

در کیهان لايتناهی عناصر و مواد مختلف وجود دارند، در بدنه ما کربن، هیدروژن، اکسیژن، و فسفر و کلسیم و در گیاهان عناصر فوق به انضمام پاتاسیم، سیلیسیم و منیزیم و خلاصه در درون و پوسته زمین آهن و نیکل و سیلیکاتها و کربناتها و ترکیبات کلیه عناصر تا عنصر 92 یعنی اورانیم وجود دارند. این عناصر و ترکیبات آنها چگونه به وجود آمده‌اند؟ ستارگان و سیارات آنها از چه درست شده و در درون آنها چه می‌گذرد؟ کیهان و آنچه در آن مشاهده می‌شود از کجا آمده و مبدأ آن چیست؟

اخترشناسان و فیزیک و شیمی‌دانان و دانشمندان مختلف علوم تجربی با کوشش و تلاش خستگی ناپذیر خود جواب سؤالات فوق را یافته و برای هر یک جواب‌هایی قطعی و تردید ناپذیر دارند. ما در اینجا به عنوان مقدمه و برای آشنایی با مبدأ عناصر مختلف اشاره‌ای به چگونگی تشکیل ماده و عناصر در طبیعت می‌کنیم.

جهانی که در آن زندگی می‌کنیم مشکل از صد تا دویست میلیارد کوهکشان است که هر کدام از آنها دویست تا چهارصد میلیارد ستاره دارد و هر ستاره منظمه‌ایست مشابه منظمه شمسی می‌باشد از خورشید و سیارات اطراف آن یعنی در مجموع بیش از صد هزار میلیارد در میلیارد (10^{33}) خورشید در دیدرس تلسکوپها و ابزارهای نجومی بشر قرار دارند.

مشاهدات عینی و تجزیه و بررسی پرتوهای منتشره از این ستارگان ما را از چگونگی تشکیل جهان و مزاد موجود در آن باخبر می‌سازد. برای اولین بار در سال 1930 ادوین هوبل^۱ پدر اخترشناسی جدید اظهار داشت که ستارگان و کوهکشانها از هم دور می‌شوند، یعنی جهان در حال گسترش و تحول است، بنابراین ابدی نبوده و تاریخچه‌ای دارد و دلائل عینی هم براین ادعا بیان نمود. مثلاً تاریکی آسمان، اگر جهان ابدی بود، ستارگان می‌بایستی همیشه و همیشه از خود نور افشا نی کنند و آسمان پر از نورهای آنها می‌بود. اگر آسمان تاریک می‌باشد باین دلیل است که ستارگان همیشه وجود نداشته‌اند و نیز فاصله بین آنها زیادتر و از هم گستردگر می‌شوند و فضای خالی بین آنها افزایش می‌باید یعنی در واقع جهان بیش از پیش گسترش می‌باید. کافی است فیلم تحول دنیا را از آخر به اول نمایش دهیم هرچه در زمان به عقب برگردیم کوهکشانها به هم نزدیکتر و نزدیکتر می‌شوند. دنیا بیش از پیش فشرده‌تر و ستارگان و کوهکشانها به هم چسبیده‌تر و گرم و بیش از

گازهای هیدروژن و هلیم در درون کهکشانها حاصل گشته‌اند. کهکشانی که منظمه شمسی ما در آن قرار گرفته کهکشان راه شیری نام دارد و حلزونی شکل است و خورشید در یکی از بازووهای آن که اوریون (Orion) نامیده می‌شود قرار گرفته و هر دویست میلیون سال گردش کاملی اطراف هسته مرکزی کهکشان می‌نماید.



کهکشان حلزونی شکل MN که شبیه کهکشان ما راه شیری است.

تولد ستارگان و تشکیل عناصر در درون آنها

همانگونه که قطرات باران از اجتماع مولکولهای گازی آب در داخل توده ابرها تشکیل می‌گردد، یک ستاره نیز از تراکم مولکولهای گازی موجود در کهکشان به وجود می‌آید. توده گازهای موجود در کهکشانها بر روی میلیاردها میلیارد در میلیارد کیلومتر مکعب گسترشده شده‌اند (10^{36} کیلومتر مکعب) یا ساده‌تر توده گازهایی (سحاب) که عبور از یک طرف آن به طرف دیگر صدها سال نوری زمان لازم دارد و جرم آنها معادل با جرم میلیاردها خورشید می‌باشد.

ترکیب شیمیایی آنها مشتمل از ۷۹ درصد مولکول هیدروژن و ۲۰ درصد اتم هلیم و کمتر از یک درصد بقیه عناصری که می‌شناسیم خواه به صورت ترکیب و خواه به صورت آزاد و بخصوص عناصر گروه آهن است. هیدروژن و هلیم را می‌توان به صورت ذخیره سوتی جهان دانست که بخش مخصوصی از آن به نحو بسیار فشرده و متراکم تشکیل دهنده‌گان اصلی ستارگانی است که در آسمان می‌بینیم و مابقی آن به صورت توده‌های عظیم ابر مانند (سحاب) است که به تدریج ستارگان

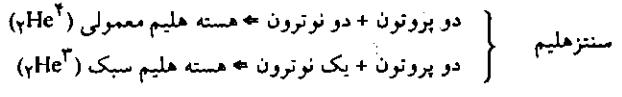
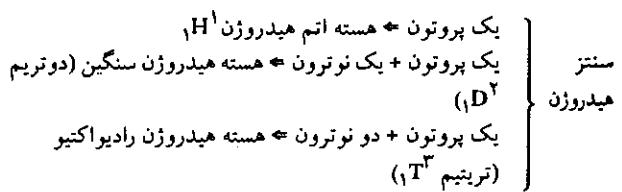
۱. در زبان یونانی کلمه Hadros مفهوم قوی را دارد.

۲. در زبان یونانی کلمه Leptos مفهوم ضعیف را دارد.

می‌شوند. اجتماع سه گانه کوارکها تحت تأثیر نیروی قوی هسته‌ای پروتون و نوترون را بوجود می‌آورند و نیز اجتماع سه گانه پادکوارکها، پادپروتون و پادنوترون را تولید می‌کنند. این مرحله از عمر جهان را مرحله قوی یا Hadrons گویند.^۱

بخشی از پروتونها و نوترونها و پادزره آنها با هم ترکیب شده و مجددًا تبدیل به نور می‌شوند ولی چون همیشه تعداد کوارکها بیشتر از پادکوارکها بوده است لذا مقداری از پروتونها و نوترونها باقی می‌ماند. بخشی دیگر از انرژی و نورهای موجود در جهان مبدل به الکترون و میون و نوترینو و پادزره مربوط به هریک از آنها می‌شود این مرحله را مرحله ضعیف یا Leptons گویند^۲، در این مرحله نیز ذرات و پادزره مربوط به آنها باهم ترکیب می‌شود و نهایتاً الکترون و میون و نوترینو و پزتوهای π و ν و فتوهای نوری باقی می‌ماند. بعد از این دو مرحله قسمت اعظم انرژی جهان تبدیل به ماده شده است و جهان دارای جرم مشخص است یعنی دارای M کیلوگرم هادرон (پروتون و نوترون) و m کیلوگرم لپتون (الکترون و میون) است. (نوترینوها جرم ندارند) به نحوی که نسبت جرمی آنها $\frac{m}{M}$ تقریباً معادل با $\frac{1}{300}$ است، نسبت جرم الکترون به پروتون و یا نوترون تقریباً همین مقدار است و این نسبت از ۱۵ میلیارد سال پیش تاکنون عملأً تغییری نکرده است.

عملأً چند ثانیه بعد از انفجار بزرگ مرحله ستز هسته‌ای Nucléosynthèse شروع می‌شود.



مرحله ستز هسته‌ای چند دقیقه بیشتر طول نمی‌کشد زیرا در $10^3 = 1$ دقیقه بعد از انفجار بزرگ درجه حرارت جهان آنقدر نزول کرده که دیگر عمل پیوست (fusion) اتفاق نمی‌افتد.

۲۵ درصد جرم کلی جهان به صورت هلیم و ۷۵ درصد آن به صورت هیدروژن است. در این جهانی که در سراسر آن ماده به صورت هیدروژن و هلیم و مقدار بسیار جزئی سایر عناصر پراکنده شده است نیروی گرانشی آرایشگر جهان می‌شود. یک میلیارد سال بعد از انفجار بزرگ دمای جهان به $173/5$ درجه سانتیگراد و در حال حاضر (یعنی تقریباً ۱۵ میلیارد سال بعد) دمای جهان $270/8$ درجه سانتیگراد و با معادل با $2/35$ درجه حرارت مطلق K° است.

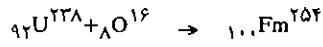
در بین این دوره از عمر جهان، از تراکم توده‌های هیدروژن و هلیم بیش از دویست میلیارد کهکشان و در درون هریک از آنها به تدریج بیش از دویست تا چهارصد میلیارد ستاره از به هم فشردن ناگهانی

درون خود آنقدر مواد سنگین نظیر هلیم، کربن و اکسیژن دارند که قادر خواهند بود واکنش پیوست را تا تولید عناصر بسیار سنگین ادامه دهند. بوته زرگری در قلب آنها به علت جرم بسیار زیاد به صورت پوسته‌ای در هم فشرده می‌شود. هلیم‌های حاصل از مرحله نخست زندگی تبدیل به کربن و اکسیژن و این دو نیز مواد سوختی جدید آنها را تشکیل می‌دهند. دمای درونی در چنین مرحله‌ای از زندگی به 600 میلیون درجه رسیده است در چنین حرارتی مقاومت نیروی الکترو استاتیکی حاصله از بارهای متعدد هسته‌های کربن و اکسیژن و ازت درهم شکسته و در نتیجه با یکدیگر یا با هسته‌های هلیم باقی مانده ترکیب می‌شوند و عناصر سنگین‌تری نظیر فلور (F) و نتون (Ne) و سدیم (Na) را به وجود می‌آورند. زنجیره‌های فراوانی از واکنشهای پیوست عناصر با یکدیگر که همه انرژی زا بوده و باعث بالارفتن سریع دمای درونی ستاره می‌شود، به دریب انجام می‌گیرد. موقعیکه درجه حرارت به یک میلیارد می‌رسد، مثلث نتون با هلیم ترکیب شده و منیزیم (Mg) را تولید می‌کند، باز هم دمای درونی بالاتر رفته و به یک میلیون و نیم درجه می‌رسد. در این حال اتمهای اکسیژن شروع به سوختن می‌نمایند و از پیوست آنها با هم عناصر سنگین‌تر نظیر گوگرد (S) سیلیسیم (Si) و فسفر (P) به وجود می‌آید. در سه میلیارد درجه اتمهای سیلیسیم نیز شروع به سوختن نموده و بیشتر از صد نوع واکنش پیوست انجام می‌گیرد و حرارت درونی این کوره شکفت‌انگیز را بالاتر و بالاتر می‌برد. هرچه عنصر تشکیل یافته سنگین‌تر باشد زمان واکنش پیوست او کوتاهتر است. برای ستاره‌ای که 25 برابر خورشید جرم دارد، زمان سوختن کربنها با یکدیگر 600 سال و زمان سوختن نتون یک سال و اکسیژن 6 ماه و زمان سوختن سیلیسیم و فسفر و گوگرد یک روز بیشتر نیست، مرحله نهائی پیوست عناصر باهم به عنصر آهن (Fe) خاتمه می‌پابد، زیرا هسته این عنصر جادوئی و افسون شده است. تعداد 56 پروتون و نوترون در هسته‌اش به نحوی به یکدیگر پیوند شده‌اند که انرژی واکنش پیوست اتمهای سنگین با دمای سه میلیون درجه‌ای نه قادر به شکست آن و نه قادر به پیوست اتمی دیگر بر روی آن است. آرایش درونی چنین ستاره‌ای نظیر شکل درونی پیاز است و از پوسته‌های مختلف تشکیل یافته است، پوسته‌های فوقانی از عناصر سبک نظیر هلیم، کربن و ازت، پوسته سوم از کربن و اکسیژن، پوسته چهارم اکسیژن و نتون، پوسته پنجم اکسیژن و منیزیم و پوسته ششم سیلیسیم و گوگرد و یا فسفر است و بالآخره در مرکز آهن جمع و متمرکز می‌شود. در اثر واکنشهای بین دریب پوسته‌ها به تدریج ذخیره آهن در قلب ستاره زیادتر می‌گردد. این ستاره‌ها را آبتر غول (Supergiants) گویند. بزرگترین ستارگان عالم می‌باشند. اگر یکی از این ستارگان را در محل کنونی خورشید قرار دهیم تمام منظومه شمسی تا پلوتن در آن قرار می‌گیرند. یعنی در لحظات پایان مرحله زندگی‌شان شاععی معادل با 5 میلیارد کیلومتر دارند. شکل زیر نموداری از آرایش درونی این ستاره هیولا‌ای عظیم را قبل از تبدیل آن به آبتر غول سرخ نشان می‌دهد.

جدیدی در آنها متولد خواهد شد و شروع به فعالیت خواهند نمود. با توجه به ذخیره سوختن جهان عمل سوختن هیدروژن و هلیم در درون ستارگان و تولد و مرگ آنها تا هزار میلیارد سال دیگر ادامه خواهد داشت. در کهکشان ما راه شیری عملاً هر صد سال یک بار ستاره‌ای بعد از اتمام ذخیره سوختی اش ازین رفتہ و پس از انفجار آن، در درون توده گازهای کهکشان ستاره و یا ستارگان جدیدی بوجود خواهند آمد. انفجار ستاره‌ای به مرابت بزرگتر از خورشید ما ضربه شدیدی برروی توده ابرهای کهکشان وارد آورده و موج حاصل از انفجار در برخی نقاط از فضا توده متراکم ایجاد می‌کند. در اثر این تراکم نیروی گرانشی بر روی اتمها اثر گذاشت و آنها را بیش از پیش به هم نزدیکتر و فشرده‌تر می‌کند به نحوی که در مرکز فشار اتمها برروی یکدیگر از میلیونها تن در هر سانتیمتر مربع تجاوز کرده و در اثر فشار زیاد دمای درونی بالا می‌رود و به چندین میلیون درجه می‌رسد در این حال واکنش هسته‌ای پیوست، اتمهای هیدروژن را با یکدیگر متعدد کرده و تولید اتم هلیم شروع می‌شود. مکانیسمی که در بمب‌های هیدروژنی بشر شناخته است، اقتباس از عملکرد واکنش هسته‌ای ستارگان می‌باشد. منتهی در مقیاسی میلیارد‌ها میلیارد بار ضعیفتر. یا به عبارت دیگر قدرت واکنش هسته‌ای در درون خورشید در هر ثانیه میلیارد‌ها میلیارد بار بیشتر از قویترین بمب هیدروژنی ساخته شده توسعه بشر است، منتهی بشر هنوز قادر به کنترل واکنش پیوست هسته‌ای در بمبهای هیدروژنی نشده است و حال آنکه خورشید نوعی بمب هیدروژنی کنترل شده و در حال تعادل است. یعنی مبارزه‌ای که در درون خورشید بین نیروی گرانشی و انفجار اتمی درگیر است نوعی حالت تعادل بوجود آورده و این حالت تعادل را مرحله اصلی زندگی ستاره گویند. ستاره متوسطی نظیر خورشید ذخیره سوختی معادل با ده تا دوازده میلیارد سال دارد و بنابراین مرحله اصلی زندگی خورشید ده تا دوازده میلیارد سال طول می‌کشد و هم اکنون خورشید در نیمه راه زندگی خود می‌باشد و پس از 5 تا 6 میلیارد سال دیگر تمام هیدروژنهای آن سوخته و تبدیل به هلیم خواهد شد و هلیم‌ها نیز با یکدیگر ترکیب و عناصری نظیر کربن ازت و اکسیژن را بوجود خواهند آورد و در نهایت خورشید منفجر شده و این مواد را در فضای پراکنده خواهد کرد و هسته مرکزی بسیار فشرده‌ای که نیروی گرانشی بر آن غالب شده از آن باقی خواهد ماند که آنرا کوتله سفید گویند و آن نیز بعد از میلیونها سال دیگر سرد شده و به صورت کریستال بسیار سختی عمری ابدی می‌پابد. در کیهان ستارگان بسیار عظیمی وجود دارند که جرم آنها از ده برابر تا ماکزیمم 118 برابر جرم خورشید است. بر عکس جرم زیاد، مرحله اصلی زندگی آنها هزاران بار کوتاهتر از خورشید است (اگر خورشید ده تا دوازده میلیارد سال عمر کند ستاره‌ای که جرمی ده برابر خورشید دارد عمری هزار بار کوتاهتر دارد). موقعیکه مرحله اصلی زندگی این ستارگان به پایان می‌رسد در

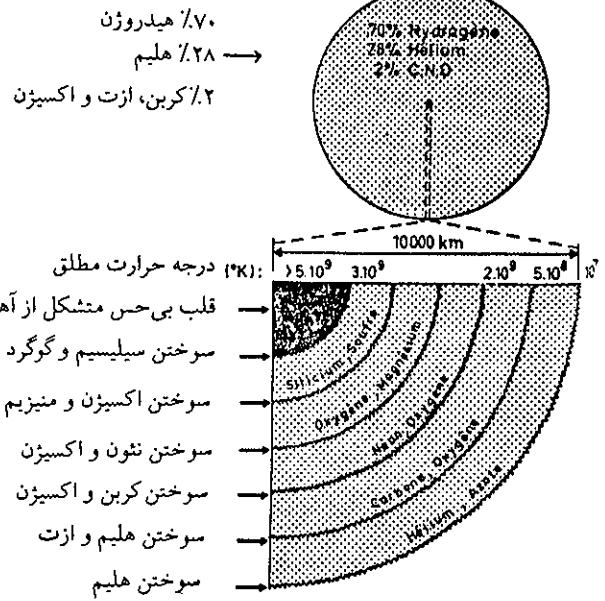
اصلی زندگیش ۵۰۰ بار بیشتر از قطر خورشید است، ولی در مرحله نهایی مبدل به آبر غول سرخ با شعاعی در حدود ۵ میلیارد کیلومتر می‌گردد. در مرحله اصلی زندگیش به تدریج که واکنشهای پیوست در پروتئین‌های مختلف پیش می‌رود قلب ستاره بزرگتر شده و آهن که هیچ تمایلی برای واکنش پیوست ندارد در مرکز ستاره ذخیره می‌گردد. در واقع واکنش پیوست آهن با عناصر دیگر انرژی زا نمی‌باشد.

تشکیل عناصر سنگین تر از آهن غالباً از نوع واکنش پیوست نبوده بلکه از واکنش جذب ذرات و یا برخورد هسته‌های سنگین و سریع با اتمهای سنگین‌تر حاصل گردیده‌اند یعنی عملی مشابه واکنشهای سنتز عناصر سنگین‌تر از اورانیم که امروزه در شتاب دهنده‌ها و راکتورهای اتمی تولید می‌نمایند، می‌باشد. مثلاً با شتاب دادن به هسته اتم اکسیژن در یک شتاب دهنده و پرتاب آنها به سوی هدفی از اورانیم می‌توان عنصر شماره ۱۰۰ یعنی فرمیم (Fm) را بدست آورد.



با واکنشهایی از این قبیل تا عنصر 10^8 را تهیه نموده‌اند. عنصر پلوتونیم در طبیعت یافت نمی‌شود ولی بشر به کمک واکنش هسته‌ای در داخل راکتورهای اتمی آنرا از اثر نوترنون بر روی اتم اورانیم به مقدار صدها تن در سال تهیه می‌کنند. عنصر پلوتونیم به عنوان سوخت در نیروگاههای اتمی و یا برای تهیه بمبهای اتمی مصرف دارد. همانطور که در سطح قبیل گفته شد، در درون یک آبر غول اختر عناصر مختلف تا عنصر آهن و نیز در اثر واکنشهای جانبی تا تولید عنصری به مرتب سنگین‌تر نظیر جیوه، پلاتین، سرب و اورانیم (البته به نسبت بسیار کمتر از آهن) بوجود آمده است. تمام موادی که در اطراف خود و در روی زمین می‌بینم نتیجه تحولات پی در پی این ستارگان غول پیکر است. در بوته زرگری آنها بیش از ۹۲ عنصر مختلف تهیه شده و از اتحاد و پیوند منحصرآ چندتائی از این عناصر باهم، موجودات زنده روی زمین بوجود آمده‌اند.

زنگی و هرچه در روی زمین یافت می‌شود حاصل از مرگ ستاره مادر و دختر و دخترهای دیگر و از تولد خورشید است. بدن من و شما از خاکستر ستارگان حاصل گشته و فراوانی نسبی عناصر مختلف موجود در کره زمین مطابقت با فراوانی نسبی این عناصر در کیهان دارد و طیف ستارگان گواه این حقیقت است.^۱



آرایش درونی آبر غول اختری در مراحل اصلی زندگی خود و در حال تعادل با نیروی گرانشی در دایرهٔ فوکانی حجم تمامی ستاره قبل از تبدیل آن به آبر غول سرخ به صورت دایرهٔ کاملی نشان داده شده است در ربع دایرهٔ تحتانی فقط شعاع ده هزار کیلومتری از مرکز ستاره و ترکیبات درونی آن مشخص شده است.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، قطر این ستاره در مرحله

۱. در صورت علاقه برای کسب اطلاع بیشتر به فصل چهارم کتاب «ستارگان، زمین و زندگی» تألیف نگارنده مراجعه شود.

۲-۱ مبدأ نظریه اتمی

مقدمه: در طی قرون متتمادی دانشمندان و متفسران عهد قدیم نظریه ارسطرو، افلاطون (۴۰۰ سال قبل از تولد مسیح) و دانشمندان ایرانی، جابر بن حیان طرطوسی و ذکریای رازی (۸۰۰ تا ۹۵۰ میلادی) و بالاخره دانشمندان و فلاسفه قرون وسطی و کیمیاگران تا اوائل قرن ۱۷ میلادی ترکیب ماده را براساس چهار عنصر اصلی تفسیر می‌نمودند. این چهار عنصر عبارت بودند از آتش، هوا، آب و خاک و می‌گفتند که عناصر مذکور در اثر ترکیب با یکدیگر می‌توانند کلیه اجسام موجود در طبیعت را ایجاد کنند و در ضمن ترکیب، اثراتی از مشخصات اولیه خود را در نهاد جسم حاصل باقی گذارند. مثلًا هوا مشخصات گازی، خاک صفت جامدی و آب مشخصات مایعی و بالاخره آتش خاصیت سوختی را به اجسام می‌دهند.

نظریه اتمی یونانیان نتیجه یک بحث عقلانی بود، از یک طرف مشاهده می‌کردند در طبیعت همه‌چیز تغییر پذیر است و از طرف دیگر یقین قطعی داشتند که در ماده چیزی ثابت و دائمی نیز وجود دارد. این بن‌بست فیلسوفانه را با تصور وجود ذرهٔ غیرقابل تقسیم و غیر قابل تغییر گشودند و معما را حل شده دانستند و این طرز فکر عملأً بیش از ۲۲ قرن مورد قبول همگان بود.

در سالنامه علوم مربوط به سال ۱۹۹۰ نویسنده^۱ ضمن بیان اکتشافات جدیدی که در رشته‌های مختلف علوم در این سال انجام گرفته، تاریخچه مختصصی دربارهٔ هر رشته از علوم بیان می‌دارد. در این سالنامه تاریخچه علم شمی را به نحو زیر شروع کرده است.

پدر علم شیمی جدید کیست؟

انگلیسی زبانان بدون تردید می‌گویند ژوزف پریسلی^۲ و او را کاشف اکسیژن می‌دانند. در سال ۱۷۷۲ پریسلی در انجمن سلطنتی لندن مقاله‌ای دربارهٔ مواد مختلف تشکیل دهنده هوا بیان داشت. پریسلی با گرم نمودن جیوه در ۳۶۰ درجه سانتیگراد در مجاورت هوا مشاهده نمود که جیوه همانند آهن در هوا زنگ می‌زند سپس با گرم کردن کریستانهای سرخ رنگ بدست آمده مشاهده نمود هوائی از آن خارج می‌شود (در آن زمان کلمه گاز هنوز مفهومی نداشت و بکار برده نمی‌شد). پریسلی از این آزمایش تحسیمی از وجود اکسیژن موجود در هوا نمود و تشخیص داد که این ماده مُمد حیات است.

فرانسه زبانان بدون تردید اظهار می‌دارند پدر علم شیمی نو آنتوان لوران لاوازیه^۳ است. اولین مقاله لاوازیه در سال ۱۷۷۴ دربارهٔ افزایش وزن قلع در موقع حرارت دادن آن و بیان دلیل این افزایش قرائت شد.

باز در این سالنامه اشاره به کارهای داروساز مشهور سوئدی کارل ویلهلم شل^۴ نموده و تحقیقات او را همتراز با کارهای پریسلی و لاوازیه می‌داند و آغاز انقلاب علمی را به او نسبت می‌دهد و تولد شیمی مدرن را مرهون تحقیقات او می‌داند. آزمایشات شل دربارهٔ هوا مربوط به سال ۱۷۷۲ است که نتایج آن در سال ۱۷۷۷ منتشر شده است.

1. Roger Caratin, *L'année de La Science* 1990 Paris.

2. Joseph Pristley (1733-1804)

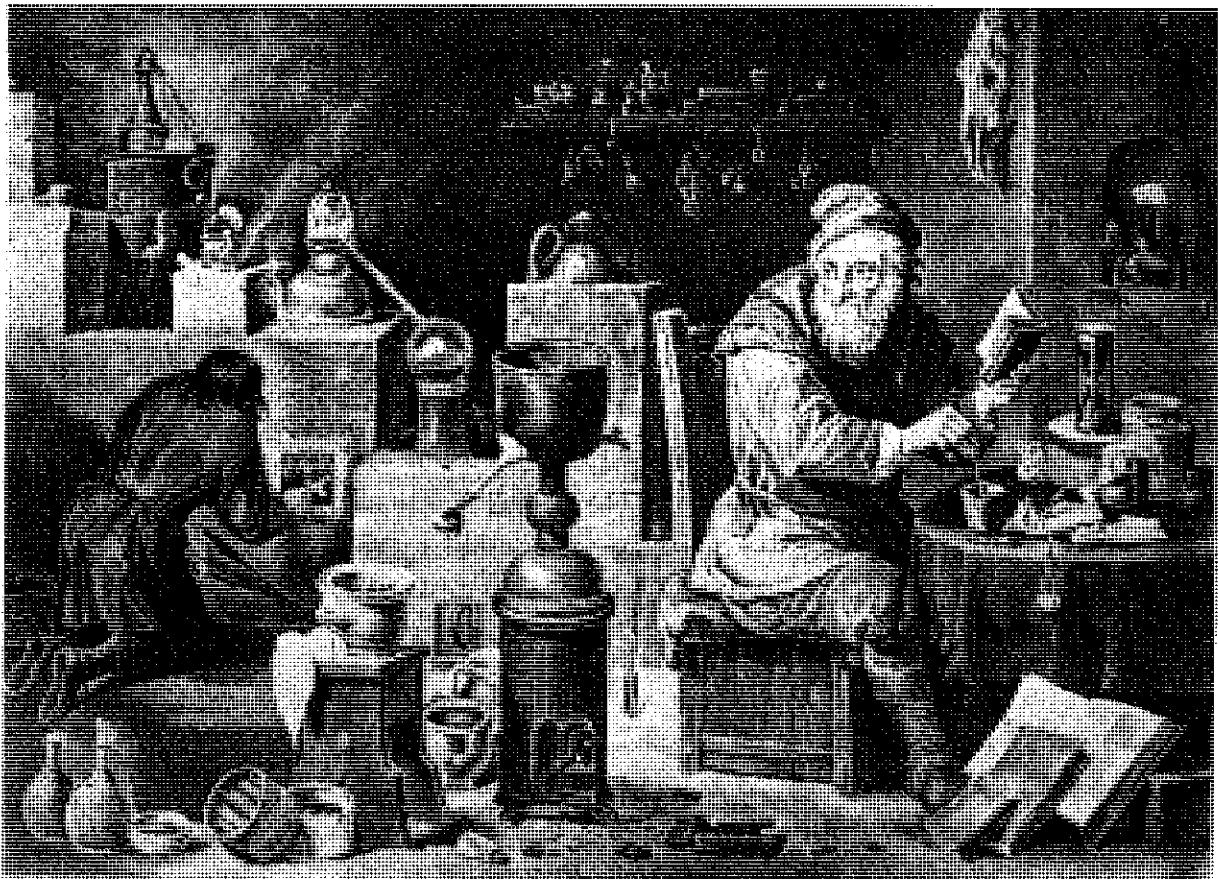
3. Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794)

4. Carl-Wilhelm Scheel (1742-1786)

سرنده

نویسنده سالنامه ارزش کارهای شیمیدانان و کیمیاگران قرون وسطی و بخصوص دانشمندان اسلامی را ازیاد نبرده و شرح مفصلی درباره جابر بن حیان طرطوسی می‌نویسد و اولین کتاب علمی مشهور دنیا را از او می‌داند، چون این کتاب به زبان عربی است اروپائیان او را عرب و به نام Geber¹ می‌شناسند و او را کاشف اسید سولفوریک و اسید نیتریک و آب اکسیژن می‌دانند. جابر کربنات سرب را تهیه کرده و ارسنیک و آنتیموان را از سولفورشان جدا نموده است. انواع و اقسام رنگها را برای چرم و پارچه ساخته و عمل تقطیر سرکه و تهیه اسید استیک را او انجام داده است. کتابخانه ملی فرانسه کتابهای خطی فراوانی از جابر بن حیان دارد.

نویسنده همچنین از ذکریای رازی نام برده و او را ابویکر محمدبن ذکریای رازی² دانشمند و پزشک مشهور عرب مربوط به سالهای ۸۶۰ تا ۹۲۳ میلادی و کاشف استون نام بردگه است.



الف) کیمیاگران (Alchimic)

اسمی که به شیمیدانان قرون وسطی داده شده است، هنری واهی و متکی بر تحقیق درباره یافتن داروئی برای مداوای تمام بیماریها و در جستجوی یافتن ماده‌ای به نام کیمیا (Pierre Philosophale) برای تبدیل تمام فلزات به طلا.

1. Abu Musa Djbir Al Sufi (Geber) سال ۸۰۰ میلادی

2. Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya Al Razi سالهای ۸۶۰ تا ۹۲۳ میلادی

موضوع تحقیق اصلی آنها مطالعه زندگی در سه بعد «زندگی حیوانی، نباتی و معدنی» آن و یافتن ماده سحرآمیزی که به کمک آن بتوان از تجزیه جسم (بدن) به نحو ابدی جلوگیری کرد یعنی یافتن کیمیای سعادت یا آب حیات بوده است.

کیمیاگران قرون وسطی به علم شیمی کمکهای خارقالعاده‌ای نموده‌اند، منجمله کاربرد روشهای کمی و توزین که اساسی‌ترین کار در علم شیمی است. برخی از آنها دانشمندان واقعی نظریه جابر بن حیان بوده و موفق به کشفیات فراوانی شده‌اند. برخی نیز نظریه ابوعلی سینا و رازی در معالجه امراض به طریق علمی بسیار موفق بوده‌اند. به نحوی که کتاب قانون ابوعلی سینا تا ربع اول قرن بیستم در دانشگاه‌های اروپا تدریس می‌شده است. با وجود این غالب کیمیاگران مکار و کلامبردار بوده و قصد واقعی آنها یافتن ثروت از طریق ظاهر به داشتن ماده‌ای که سرب را مبدل به طلا می‌کند و یا فروختن مواد سرمی به قدرتمندان بوده است.

ظاهر می‌کردد که دانش آنها در ارتباط با تعلیمات سری مصریان قدیم و مؤیدان ایران و یا اخترشناسان چینی و یونانیان باستان است. برخی از آنها قدرت و فضیلت ظاهري خارقالعاده‌ای داشته و با جملات مجازی خود درباره سرنوشت و اوراد همه را می‌فریغته‌اند. مادامیکه مجموعه یادداشت‌های آنها را ورق می‌زنیم اشتغال خاطر مادی‌گرایی کیمیاگران را از یاد برده دانش و قدرت ابداع و تخیل آنها را تحسین می‌کنیم. با وجود این همانظور که در آغاز گفته شد دانش شیمی تا حدی مرهون کارهای آنها و بخصوص دانشمندان اسلامی است که اروپاییان به غلط آنها را نیز در زمرة کیمیاگران به حساب آورده‌اند و حال آنکه حقیقت بینی و تقوی علمی برخی از آنها متمایز از کیمیاگران متملق درباره‌ای اروپایی قرون وسطی بوده است.

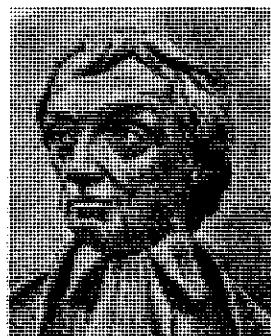
انقلاب علمی در نظریه اتمی عملأ در اوائل هیجدهم میلادی و با ظهر دانشمندانی چون نیوتون و بویل^۱ شروع شد و بالاخره در قرن نوزدهم میلادی نتیجه کارهای دالتون^۲ و گلیوساک^۳ و آووگادرو^۴ مبدئی قابل فهم برای نظریه اتمی شد. آنها نتیجه تجارب و تفکرات عقلانی و مطالعات نظری خود را در این جمله خلاصه نمودند: ماده از ذرات مشخصی تشکیل گردیده است. به هر حال عقیده همگان برآنست که دالتون پدر نظریه اتمی می‌باشد.

دلیل این امر چیست؟

این افتخار بدین سبب نصب دالتون شد چون دانشمندان هم عصر او آووگادرو و گلیوساک معتقد بودند که باید عقاید را با تجارت کمی (چندی) توأم نموده و نتیجه را به صورت قوانین عمومی بدست آورند. آزمایشها و نتایج حاصله از کار آنها بود که به این دانشمندان اجازه داد تا تعداد محدودی قانون در مورد ترکیبات شیمیایی بیان نمایند. دالتون با درنظر گرفتن این آزمایشها و قوانین حاصله از نتایج آنها عقیده فلاسفه یونانی را که مطروح گردیده بود، دوباره زنده ساخت. یعنی پیشنهاد کرد که کوچکترین جزء ماده اتم است که غیرقابل تقسیم بوده و نیز اتم عنصر مختلف جرمهای متفاوتی دارند و در ترکیبات با نسبتهای ساده‌ای وارد می‌شوند.



بویل (۱۶۹۱-۱۶۲۷) فیزیک و شیمیدان ایرلندی نقش اکسپریز را در سوختن اجسام یافته و قابلیت تراکم گازها را شناخت.



آووگادرو (۱۸۵۶-۱۷۷۶) شیمی و فیزیکدان ایتالیایی نظریه مولکولی گازها را تفسیر نمود و در سال ۱۸۱۱ مشهورترین فرضیه فیزیک را پیشنهاد کرد یعنی: تعداد مولکولها یا اتمهای موجود در حجمهای مساوی از گازهای مختلف باهم برابرند و از آنجا عدد مشهور آووگادرو یعنی ۶۰۲۱۶ (تعداد اتمها یا مولکولهای یک مول از ماده) را بدست آورد.

1. Robert Boyle (1691-1627) ایرلند

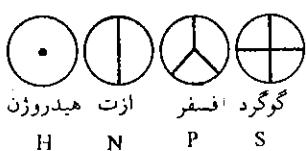
3. Gay-Lussac (1778-1850) فرانسه

2. John Dalton (1766-1844) انگلستان

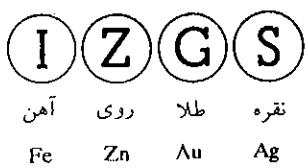
4. Amédéo Avogadro (1776-1856) ایتالیا



علامات اختصاری عناصر در زمان ارسطو (۴۰۰ سال قبل از میلاد).



علامات اختصاری عناصر در زمان دالتون.



امروزه ما به خوبی می‌دانیم که این نظریه صد درصد صادق نیست، ولی بهر حال اولین عبارت صحیح و کمی در مورد ترکیبات شیمیایی بود، و چون قوانین ذکر شده در فوق پایه‌های تجربی نظریه اتمی هستند؛ لذا این قوانین را بر حسب اهمیت آنها در توسعه نظریه اتمی مطالعه می‌نماییم و نیز در ضمن مطالعه متوجه درجه اعتبار هر کدام خواهیم شد.

ب) قانون نسبتهاي مشخص وزني يا قانون پروست (Proust) ۱۸۰۷^۱

در موقع تهیه یک جسم مرکب مشخص، عناصر متشکله همیشه می‌توانند با نسبت وزني مشخص و ثابتی با هم ترکیب گردند. روش تهیه این جسم مرکب هرچه می‌خواهد باشد، مهم آنست که دو جسم ساده همیشه با نسبت ثابت وزني با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در پاره‌ای موارد قانون مذکور نقض می‌گردد. بور از دو ایزوتوپ B^{10} و B^{11} تشکیل یافته و جرم متوسط بور موجود در طبیعت در اثر تغییر نسبت درصد این دو ایزوتوپ از $10/82$ به $10/84$ تغییر می‌نماید، و چون نسبت درصد وزني کلیه ترکیبات بستگی به جرم اتمی متوسط عناصر متشکله ترکیب دارد بنابراین، قانون نسبتهاي مشخص وزني در مورد بور صادق نیست.

بهر حال خوشبختانه نسبت درصد ایزوتوپی اغلب عناصر در طبیعت ثابت و یا تغییرات آن بسیار ناچیز است. در مورد ترکیباتی که طرز تهیه آنها از معادلات شیمیایی پیروی نمی‌کنند این قانون کاملاً رد می‌شود. مثلًا در مس (I) سولفید ممکن است فرمول به صورتهای Cu_1S و Cu_2S باشد، و یا در مورد تیتان اکسید می‌توان با تغییر روش تهیه، ترکیباتی به صورت $Ti_{1/75}O$ و $Ti_{2/69}O$ یا TiO داشت. بنابراین، نسبت وزني عناصر مس و تیتان در دو ترکیب فوق نسبت ثابتی نیست. البته این عدم تطبیق اغلب در مورد ترکیبات عناصری که از معادلات شیمیایی پیروی می‌کنند وجود نداشته و بخصوص در حالت گازی این قانون کاملاً صادق است. مثلًا در مورد نیتروژن منو اکسید NO در همه حال نسبت ازت به اکسیژن $\frac{1}{2}$ و یا در NO_2 نیتروژن دی اکسید نسبت آنها $\frac{1}{3}$ است.

پ) قانون نسبتهاي چندتايی دالتون (Dalton)

اگر مقادير مختلفی از یک عنصر که با مقدار معينی از عنصر دیگر ترکیب می‌شوند، بيش از یک ترکیب تشکیل دهند، نسبت وزني مقادير مختلف عنصر عددی کامل است. اکسیدهای ازت این اصل را بخوبی توجیه می‌کنند:

وزنهای مختلفی از ازت که با ۱۶ گرم اکسیژن ترکیب شده و تولید مولکولهای NO و NO_2 را می‌نمایند عبارتست از $1/7$ ، $1/4$ ، $2/8$ و نسبت وزني ازت در این سه مولکول عبارت از $1/2$ ، $2/4$ می‌باشد. این قانون بعد از انتشار فرضیه دالتون در مورد نسبت اعداد کامل در ترکیبات، به صورت تجربی بررسی شد و نتیجه آن سبب استحکام عقیده علمی دالتون گردید.

قانون اعداد متناسب

دو ماده A و B را در نظر گرفته (عنصر یا ترکیب) و نیز فرض کنید که A و B می‌توانند با هم ترکیب شوند، و نیز هر کدام از آنها با یک عنصر یا جسم سومی همانند C قادرند تولید ترکیبی بنمایند. اگر وزن ثابتی از C با وزنهای متفاوتی از A و B ترکیب شود، نسبت وزني A

۱. Proust (1754-1826)

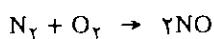


به B معمولاً عددی است غیرکامل. این نسبت را R بنامید. موقعی که A بر روی B تأثیر می‌گذارد قانون اعداد متناسب می‌گوید که نسبت یا وزن A به وزن B برابر است با nR که n می‌تواند نسبت ساده و یا عدد کاملی باشد. این قانون را اگر با یک مثال تشریح نماییم درک آن سه لتر خواهد شد.

اگر ازت A و اکسیژن B با هیدروژن C ترکیب شده و بترتیب مولکولهای NH_3 و H_2O را بوجود آورند، یک گرم هیدروژن با $4/66$ گرم ازت تولید آمونیاک و با 8 گرم اکسیژن تولید آب می‌نماید بنابراین، R برابر است با:

$$R = \frac{4/66}{8} = 0.583$$

و از طرف دیگر ازت با اکسیژن طبق واکنش زیر مثلاً تولید گاز NO می‌نماید.



نسبت 2 در این مولکول عبارتست از $\frac{28}{32} = 0.875$ و بنابر قانون اعداد متناسب $R = nR$

$$0.875 = 0.583n$$

$$n = \frac{0.875}{0.583} = \frac{3}{2}$$

برای سایر ترکیبات اکسیژنه ازت ارزش n متفاوت است ولی همیشه نسبت آن ساده است. بدین ترتیب قانون اعداد متناسب کمک بزرگی به پیدایش نظریه اتمی ماده نموده زیرا وزنهای عناصر یا ترکیبات A و B و C که باهم ترکیب می‌شوند متناسب با جرم مولکولی و یا متناسب با تعداد اتمها و مولکولهای این اجسام است، و بنابراین، تعداد مولکولها یا اتمهاست که با نسبتی ساده در ترکیبات وارد می‌شوند، و از آنجا فرضیه وجود جرم اتمی مشخص کننده بیان گردید؛ و این قانون با روشی خسته کننده ولی ساده وضعیت عمومی ماده و ترکیبات شیمیائی را روشن نمود.

(ت) تعیین جرم اتمی و فرمول مولکولی

وجود اتمها با جرم‌های مشخص و تمایل آنها به ترکیب با نسبتهای ساده دانشمندان را به تعیین جرم اتمی و فرمول مولکولی اجسام راهبری نمود. واضح است که اگر یکی از این دو مشخص باشد دیگری بسهولت معین خواهد شد. مثلاً اگر بدانیم که در مس اکسید به ازای هر اتم اکسیژن یک اتم مس موجود است و یا اثبات این موضوع به روش تجربی که به ازای $64/5$ گرم مس 16 گرم اکسیژن وجود دارد متوجه خواهیم شد که نسبت وزن یک اتم مس و وزن یک اتم اکسیژن $16/5$ و 16 است، و یا به عبارت دیگر جرم اتمی مس در مقیاسی که جرم اتمی اکسیژن 16 است برابر با $64/5$ می‌باشد. و این بسیار مشکل است که بدون شناختن فرمول جسم جرم اتمی عناصر متشکله آن را تعیین نماییم، و همین مسئله مهمی بود که افکار دانشمندان اوائل قرن نوزدهم را به خود مشغول داشته بود.

ابتدا دالتن فرمول آب را HO داشت زیرا با استدلالی ساده می‌گفت اگر دو عنصر بیشتر از یک ترکیب ندهند مولکول حاصله از ترکیب آنها دارای یک اتم از هر کدام است و بنابراین فرمول آب باید HO باشد یعنی، در مقیاسی که جرم اتمی هیدروژن یک است جرم اتمی اکسیژن 8 خواهد بود.

کارهای Gay Lussac در سال ۱۸۰۸ راه صحیح تعیین فرمول مولکولی گازها را مشخص

دالسون (۱۸۴۴-۱۷۶۶) شیمی و فیزیکدان انگلیسی، پسر بافده ساده‌ای از اهالی منچستر بود که به علت اکتشافات فراوان در فیزیک و شیمی به عنوان عضو انجمن سلطنتی لندن و سپس به عنوان عضو خارجی آکادمی علوم پاریس انتخاب شد. در اواخر پدر نظریه اتمی است زیرا برای اولین بار پایه‌ای علمی و شکل کمی (چندی) به نظریه یونانیان قدیم درباره وجود اتم و غیرقابل تقسیم بودن آن داد و نیز گفت اتم عناصر مختلف جرم‌های متفاوتی دارند و در ترکیبات با نسبتهای ساده‌ای وارد می‌شوند. در سال ۱۷۹۳ کتاب هوشناکی و مشاهدات تجربی را نوشت و در سال ۱۸۰۸ فلسفه جدید سیستم شیمی را نوشت.

نمود. آزمایش واکنشهای شیمیایی در فاز گازی نشان داد حجم گازهایی که در شرایط عادی S.T.P بروی هم اثر می‌گذارند تقریباً از نسبتهای ساده‌ای پیروی می‌کنند یعنی، در حقیقت قانون اعداد متناسب را در حالت گازی بررسی نمود، و صحت آن را اظهار داشت.

دالتن از این موضع توجه گرفت و گفت که تعداد مولکولها یا اتمهای مختلف موجود در حجم‌های مساوی نسبت ساده‌ای باهم دارند - اگرچه این فرضیه بعداً به وسیلهٔ خود دالتن رد شد ولی در سال ۱۸۱۱ آووگادرو آن را بدين ترتیب تأیید نمود که تعداد مولکولها یا اتمهای موجود در حجم‌های مساوی از گازهای مختلف باهم برابرند.

در سال ۱۸۱۹^۱ و Petit^۲ گرمای ویژه فلزات مخصوصی را اندازه گرفته و متوجه شدند که ارزش‌های بدست آمده بر حسب نوع فلز تغییرات قابل ملاحظه‌ای دارد. بعد از اندازه گیری گرمای ویژه تعداد زیادی از عناصر بروی نمونه‌های مشخصی از عناصر (نه تنها از نظر وزن بلکه از نظر تعداد اتمها) Petit و Dulong اظهار داشتند که حاصل ضرب جرم اتمی یک عنصر در گرمای ویژه آن در حالت جامد مقدار ثابتی است یعنی:

$$6 \text{ # جرم اتمی} \times \text{گرمای ویژه} \quad (\text{Cal.g}^{-1} \cdot \text{degree}^{-1})$$

با وجود آنکه این قانون طبیعت تقریبی دارد با وجود این می‌تواند به کمک تجزیه دقیق شیمیایی روش حساسی جهت تعیین جرم اتمی عناصر باشد.

مثال - تجزیه دقیق شیمیایی مس کلرید نشان می‌دهد که به ازای ۳۲۸۶/۰ گرم کلر ۵۸۸۸/۰ گرم مس وجود دارد. اگر جرم اتمی کلر ۳۵/۴۶ باشد جرم اتمی مس چقدر است؟ بدیهی است که در آن عصر فرمول مس کلرید مشخص نبود، ولذا می‌توانستند چندین فرمول برای مس کلرید به صورت CuCl_2 و Cu_2Cl و ... پیشنهاد کنند.

$$6 \text{ # گرمای ویژه مس} \times \text{جمله اتمی مس}$$

$$= 64 = \frac{6}{0.93} \text{ # جرم اتمی مس}$$

بنابراین می‌توان مقدار ۵۴/۰۳ را به عنوان جرم اتمی صحیح مس اختیار کرد.

$$\frac{35/46 \times 0.93}{5888/3286} = 62/54$$

خواهد بود ولی اگر فرمول آن Cu_2Cl و یا CuCl_2 باشد جرم اتمی مس

کوشش‌های محققین در سالهای ۱۸۱۱ تا ۱۸۵۸ بالاخره منجر به پیدا شدن طرق صحیح دیگری برای تعیین جرم اتمی شد. در سال ۱۷۵۸ کانیزارو^۳ Cannizzaro روش تقریباً درستی با اینکا به فرضیه آووگادرو پیشنهاد کرد. در سال ۱۸۶۹ مندلیف^۴ Mendéliev با انتشار جدول تناوبی خود، راه صحیح بدست آوردن اوزان اتمی عناصر را نشان داد. مندلیف عناصر را بر حسب جرم اتمی صعودی آنها که به کمک روش کانیزارو بدست آورده بود در جدولی تنظیم نمود. خانه‌های خالی موجود در جدول، عناصری را که تا آن زمان کشف نشده بودند نشان می‌داد. برای اورانیم جرم اتمی ۱۲۰ را در نظر گرفته بودند ولی مندلیف

1. Standard Pressure and Temperature
2. Alexis-Therese Petit (1791-1820)
فرانسه
3. Pierre-Louis Dulong (1785-1838)
فرانسه
4. Cannizzaro (1826-1910)
ایتالیا
5. Mendéliev (Dimitri Ivanovich 1834-1907)
روسیه

محلی در کنار قلع برای اورانیم در جدولش ندید. این بود که گفت جرم اتمی اورانیم لااقل باید $2 \times 120 = 240$ باشد و این تقریباً درست است، و نیز جرم اندیم را 76 می‌دانستند، و مندلیف آن را اصلاح کرد، و گفت که جرم اتمی اندیم باید حداقل $114 = \frac{3}{2} \times 76$ باشد. مطالب بحث شده در فوق تاریخچه مختصراً از چگونگی پیدایش روشاهای اولیه برای تعیین جرم اتمی بود. باید یادآور شد روشاهای دقیق تعیین جرم اتمی که امروزه بکار می‌برند متعدد بوده و ما فقط سه طریقه مهم را که اغلب بکاربرده می‌شوند مطالعه می‌نماییم.

۱. تعیین دقیق جرم‌های مؤثر یا شرکت‌کننده در واکنش
۲. چگالی گازها
۳. طیف سنجی جرمی

روشهای (۱) و (۲) در واقع همان روشاهای قدیمی است که با تغییرات جزئی بهتر و قابل استفاده گردیده‌اند و حال آنکه طیف سنجی جرمی روشنی است کاملاً متمایز و جدید که مسأله را به نوعی دیگر حل نموده است.

قبل از مطالعه روشاهای دقیق تعیین جرم اتمی بهتر اینست ارزش اعداد بکار برده شده در مقیاس جرم اتمی را بررسی نماییم. جرم‌های اتمی عبارتند از اعدادی نسبی که ارزش حقیقی آنها بستگی به نمونه یا مبدأ انتخاب شده دارد. در گذشته فیزیکدانان مبدأ جرم را ایزوتوپ فراوان اکسیژن که اکسیژن ۱۶ (O^{16}) باشد در نظر می‌گرفتند و به آن جرم ۱۶ را نسبت می‌دادند، در صورتی که شیمیدانها جرم متوسط مخلوط طبیعی اکسیژن را که مشکل از سه ایزوتوپ (O^{16} و O^{17} و O^{18}) است در نظر گرفته و جرم اتمی ۱۶ را به آن نسبت می‌دادند. این دو مبدأ مختلف سبب بوجود آمدن دو مقیاس جرم اتمی متفاوت شد بناابر مقیاس فیزیکدانها جرم اتمی مخلوط طبیعی اکسیژن برابر با $16/0044$ می‌شد. در سال ۱۹۶۱ برای برطرف کردن مشکلات حاصله از دو مقیاس مختلف مبدأ واحدی را انتخاب نمودند. بدین ترتیب که جرم اتمی ۱۲ را به ایزوتوپ فراوان کریں یعنی C^{12} نسبت دادند.

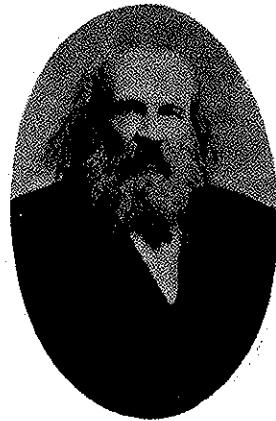
به کمک روش جرم‌های مؤثر جرم اغلب عناصر را تعیین کرده و صحبت اعداد بدست آمده را به کمک روشاهای دیگر از جمله طیف سنجی جرمی که بعداً شرح داده خواهد شد تحقیق می‌نمایند. اصول این روش بسیار ساده و مبتنی بر یک واکنش کمی شیمی است. بدین ترتیب که عنصر مورد مطالعه را بر عنصری که جرم اتمی مشخص است تأثیر می‌دهند، به این ترتیب یک واکنش کمی شیمیایی انجام می‌گیرد که می‌توان نسبت جرم‌های مؤثر دو عنصر شرکت‌کننده در واکنش را محاسبه نمود و چون اتمهای عناصر با نسبت‌های ساده‌ای با هم ترکیب می‌شوند بنا بر این، نسبت جرم‌های مؤثر شرکت‌کننده در واکنش کاملاً برابر نسبت جرم اتمی و یا ضریب صحیحی از آن است. به عنوان مثال اگر $1/292$ گرم نقره با 9570 گرم برم ترکیب شده و تولید نقره برومید نماید نسبت جرم‌های مؤثر برابر است با:

$$\frac{1/292}{0/9570} = 1/350 \quad \text{که معادل با نسبت جرم اتمی نقره به برم است یعنی اگر جرم نقره}$$

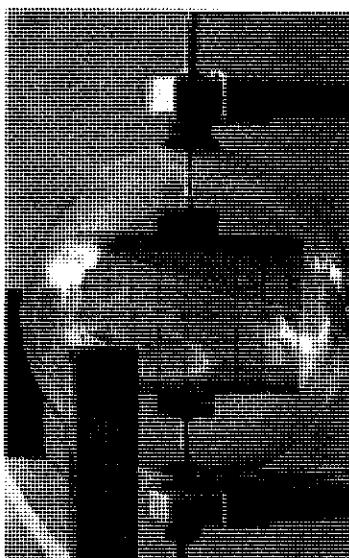
مشخص باشد با یک تقسیم ساده جرم اتمی برم مشخص خواهد شد:

$$\frac{M_{Ag}}{M_{Br}} = 1/350 \quad \text{و با درنظر گرفتن جرم اتمی نقره برابر با } 107/87 \text{ خواهیم داشت:}$$

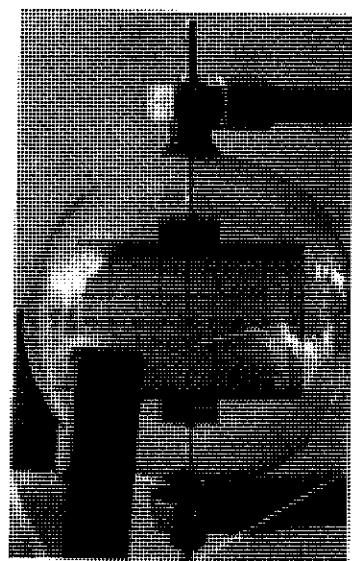
$$\frac{107/87}{M_{Br}} = \frac{107/07}{1/35} = 79/90 \quad M_{Br} = 1/35 \quad \text{یا}$$



مندلیف (۱۸۳۴-۱۹۰۷) شیمی‌دان روسی. ابتدا تحصیلاتش را در پاریس نمود و مدتی بعد در پنسیلوانی و سپس در ففاز درباره استخراج نفت مطالعه کرده است. در سال ۱۸۶۸ کتابی درباره شیمی نوشت. کار پرارزش او دسته بندی تناوبی عناصر است که در سال ۱۸۷۹ منتشر شد و مدتها به نام جدول مندلیف مشهور بود. جاهای خالی عناصر را به کمک خواص تناوبی آنها پیش‌گویی نموده بود. باکشف گالیم (Ga) و اسکاندیم (Sc) و زرمنیم (Ge) فرضیه او خیلی زود مورد قبول همگان قرار گرفت.



اثر میدان مغناطیسی بر روی مسیر الکترون.



تغییر مسیر الکترون بستگی به قطب آهن ربا دارد.

برای هر عنصر چندین واکنش شیمیایی را انجام داده و در همه این واکنشها باید دقت شود که مواد بکار برده شده کاملاً خالص باشند و نیز واکنشها بطور کامل انجام گیرند. برای بدست آوردن جرم اتمی و یا جرم مولکولی به وسیله روش اندازه‌گیری چگالی گازها باید دقت نمود که به علت نیروی جاذبه بین مولکولی، اصل آووگادرو فقط در فشارهای پایین قابل اجراست زیرا بحسب طبیعت و نوع گاز در فشارهای بالاتر از فشار جو تعداد مولکولها در حجمها مساوی متفاوت خواهد بود. در فشارهای پایین نسبت چگالی^۱ ایده‌آل دو گاز بهم باید مساوی نسبت جرم مولکولی دو گاز بهم باشد زیرا در حجمها مساوی از گازهای مختلف تعداد مولکولها مساویند.

به عنوان مثال چگالی ایده‌آل نيون گازی liter / ۰۹۰۴ g است در صورتی که، چگالی ایده‌آل اکسیژن برابر liter / ۱۴۲۸ g می‌باشد. نسبت این دو چگالی بهم مثل نسبت جرم مولکولی این دو گاز بهم است.

$$\frac{0.9004}{1.428} = R$$

اگر جرم مولکولی اکسیژن برابر با ۳۱/۹۹۸ باشد می‌توان نوشت:

$$\frac{\text{جرم مولکولی نيون}}{\text{جرم مولکولی اکسیژن}} = \frac{M_{Ne}}{M_{O_2}} = R$$

$$M_{Ne} = RM_{O_2}$$

$$M_{Ne} = \frac{0.9004}{1.428} \times 31/998 = 20/18$$

ث) روش تعیین جرم اتمی یا مولکولی به کمک طیف سنجی جرمی

این روش دقیق‌ترین و حساس‌ترین روشی است که تا به حال انجام پذیرفته است. اصول آن بسیار ساده ولی اجرا و اندازه‌گیری آن قدری مشکل و احتیاج به مهارت و ورزیدگی در کارهای عملی دارد.

اصول - یک ذره باردار متوجه سرعتی یکنواخت در خلاء تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی نیرویی تحمل می‌کند که سبب تغییر مسیرش می‌شود. انحراف ذره از مسیر اولیه بستگی به جرم و بار الکتریکی ذره دارد. اگر سرعت ذره باردار تحت تأثیر یک میدان الکتریکی به اختلاف پتانسیل U تشدید شده باشد، انرژی جنبشی ذره در اثر این میدان عبارتست از:

$$\frac{1}{2} Mv^2 = e.U \quad (1)$$

که در این رابطه e و m و v به ترتیب بار و جرم و سرعت ذره می‌باشد، نیروی وارد بر ذره از طرف میدان مغناطیسی عبارتست از:

$$F = \vec{e} \cdot \vec{v} \cdot \vec{B} = \frac{mv^2}{r}$$

$\frac{mv^2}{r}$ عبارتست از نیروی گریز از مرکز وارد از طرف میدان بر ذره، که در این رابطه e و v به ترتیب بار و جرم و سرعت ذره و \vec{B} شدت میدان مغناطیسی است. اگر \vec{v} و \vec{B} عمود بر هم باشند می‌توان نوشت:

۱. چگالی ایده‌آل عبارت از چگالی گازی است که در موقع اندازه‌گیری دقت شده که هیچ نیرویی بر مولکولهای گاز وارد نشده باشد. در بخش مربوط به گازها به این موضوع اشاره خواهد شد.

$$F = e v B = \frac{mv^2}{r}$$

و از آنجا:

$$e.B = \frac{mv}{r} \quad (1-2)$$

از رابطه (۱-۱) سرعت ذره را محاسبه نموده:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

و اگر مقدار v را در رابطه (۱-۲) قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$e.B = \frac{m}{r} \times \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

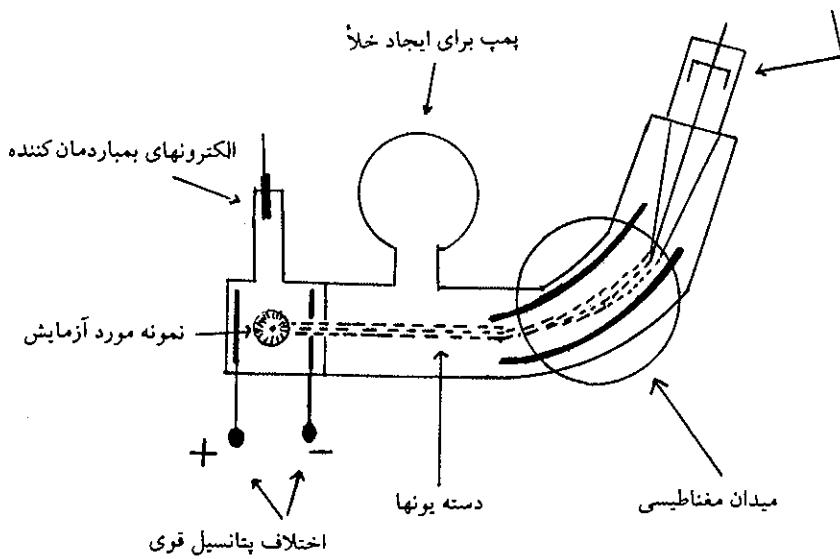
که از آنجا:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2} \quad \text{یا} \quad r = \sqrt{\frac{2mU}{e}} \times \frac{1}{B}$$

بنابراین، دو یون با بار و انرژی برابر در اثر اختلاف جرم، تحت تأثیر میدان مغناطیسی از هم جدا می شوند.

شکل (۱-۱) قسمتهای مختلف یک دستگاه طیف سنج جرمی را نشان می دهد.

اطاق یونبراسیون یا صفحه حساس عکاس



شکل (۱-۱) نمای یک دستگاه طیف سنج جرمی.

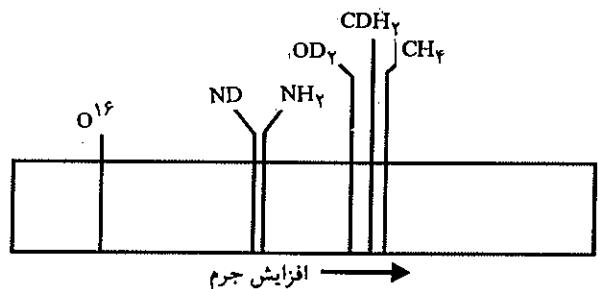
همانطوری که مشاهده می شود یک دستگاه طیف سنج جرمی از سه قسمت اصلی تشکیل گردیده است. قسمت اول منبع یونهای گازی، قسمت دوم خلاء و محل تأثیر میدان مغناطیسی و بالاخره قسمت سوم شامل یک دستگاه تشخیص دهنده، خواه صفحه حساس عکاسی و خواه دستگاه الکتریکی برای تعیین مقدار بارها می باشد. منبع یونها معمولاً تشکیل شده از یک اتافک که در آن مولکولهای گاز در اثر بمباران الکترونی تبدیل به یونهای باردار می شوند و یا جامد گرم شده (در درجه حرارت خیلی بالا) که در ضمن انتشار دادن مولکولهای خنثی تعدادی یونهای باردار نیز تولید می نماید.

در مورد مولکولهای گازی کافی است سیمی از تنگستن به دو سر دستگاه مولدی و صل نمایند در این حال دستهای از الکترون تولید می‌شود. در اثر اختلاف پتانسیل موجود در اتاقک الکترونها سرعتی پیدا کرده و به مولکولهای گاز موجود برخورد می‌نمایند. در اثر این برخورد مولکول گاز تولید یونهای مثبت می‌نماید. البته بعضی اوقات یونهای مثبت بوجود آمده ممکن است قسمتی از مولکول اصلی باشد. به عنوان مثال، بمباران الکترونی بخار آب نه تنها تولید یونهای H_3O^+ می‌نماید بلکه OH^+ و O^+ و H^+ نیز تولید می‌کند. و یا در مورد جامد، نمونه مورد آزمایش را بر روی سیم فلزی تنگستن قرار داده و با اتصال سیم به دستگاه مولدی سیم گرم شده و نمونه را به درجه حرارت بالا می‌برد، که در اثر آن تولید مولکولها و یونهای مثبت گازی می‌نماید.

به هر حال یونهای مثبت بوجود آمده در اثر میدان الکتریکی موجود در اتاقک سرعتی پیدا کرده و از شکاف تعییه شده در آن به داخل لوله خمیده‌ای رانده می‌شود و به علت وجود خلاء زیاد در داخل لوله به درون میدان مغناطیسی هدایت می‌گردد. این میدان یونها را از مسیر اصلی خود بر حسب نسبت بار آنها به جرم‌شان منحرف می‌نماید. یونهایی که نسبت بار آنها به جرم‌شان ($\frac{e}{m}$) یکسان است از مسیر اصلی خود به یک اندازه منحرف می‌شوند و حال آنکه یونهایی که نسبت بار به جرم‌شان ($\frac{e}{m}$) کوچکتر است از مسیر اصلی خود بیشتر منحرف می‌گردند.

دستگاه تشخیص دهنده غالباً تشکیل شده از یک صفحه حساس عکاسی که محل و شدت دسته یونهایی را که $\frac{e}{m}$ آنها باهم یکسانند نشان می‌دهد. برای هر تصویر واقع در روی صفحه حساس می‌توان شعاع انحراف را اندازه گرفت و با دانستن شدت میدانهای مغناطیسی و الکتریکی نسبت $\frac{e}{m}$ را محاسبه نمود. دقت طیفسنج جرمی به اندازه‌ای زیاد است که می‌توان مقایسه دقیقی از عناصر یا مولکولهایی که جرم آنها بهم نزدیک است نمود.

مثلاً یونهای $^{16}\text{O}^+$ و $^{12}\text{CH}_4^+$ و $^{12}\text{CD}_2^+$ و $^{12}\text{NH}_2^+$ همه دارای جرم تقریبی ۱۶ هستند ولی همانطوری که در شکل (۱-۲) پیداست، طیفسنج جرمی قادر است مقدار جزئی اختلاف موجود بین این یونها را تشخیص دهد.



شکل (۱-۲) طیف جرمی چند یون به جرم تقریبی ۱۶

همانطور که از شکل فوق پیداست علاوه بر اندازه گیری جرم اتمی و مولکولی عناصر، به کمک طیفسنج جرمی می‌توان بطور دقیق جرم اتمی ایزوتوپهای مختلف یک عنصر را اندازه گرفت. همانطوری که می‌دانیم جرم اتمی عناصری که بیشتر از یک ایزوتوپ دارند عبارتست از جرم اتمی متوسط کلیه ایزوتوپهای آن، با درنظر گرفتن نسبت درصد آنها. مثلاً کلر از دو ایزوتوپ Cl^{35} و Cl^{37} تشکیل گردیده که نسبت درصد آنها در طبیعت به ترتیب

عبارتست از ۷۰ و ۳۰ درصد و در نتیجه جرم اتمی متوسط کلر برابر با $35/453$ می‌باشد.

بنابراین، موقع تعیین جرم اتمی عناصر به کمک طیف‌سنج جرمی لازم است که قبل از محاسبه جرم اتمی، با دقت مقدار درصد یا فراوانی هریک از ایزوتوپهای عنصر مورد اندازه‌گیری را مشخص نمود و سپس با تعیین جرم اتمی متوسط آن را محاسبه کرد.

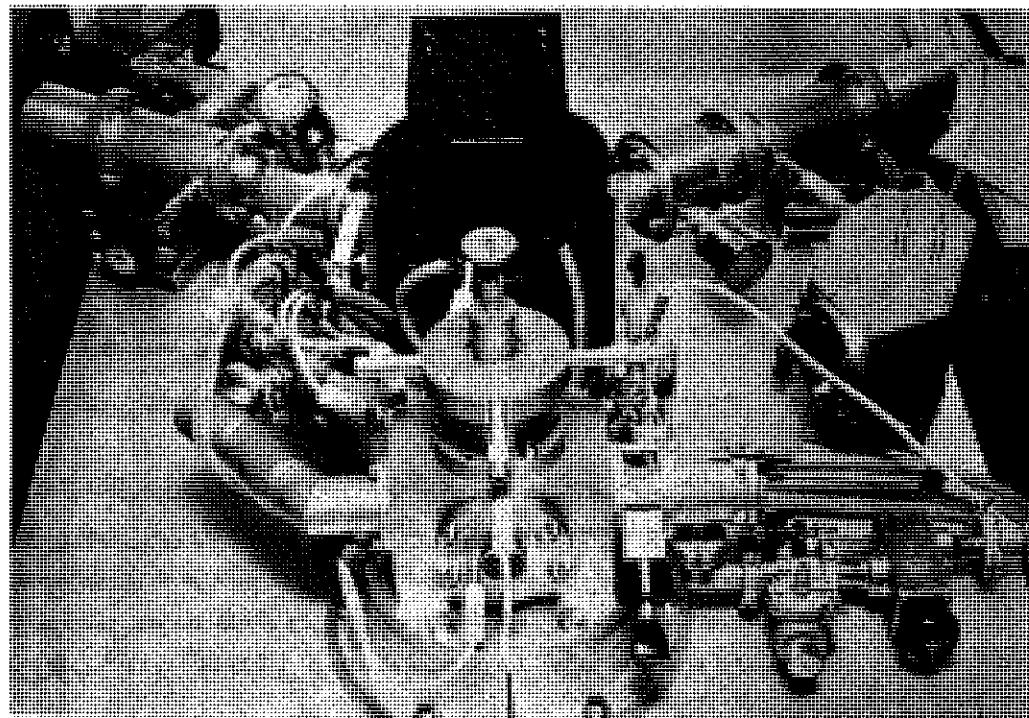
تعیین فراوانی یا مقدار درصد هر ایزوتوپ نیز ممکن است به کمک طیف‌سنج جرمی انجام گیرد ولی در این حالت به جای صفحه حساس عکاسی بایستی شدت یونها را به کمک یک دستگاه اندازه‌گیری الکتریستیه اندازه گرفت. مثلاً، برای محاسبه جرم اتمی متوسط کردن با اندازه‌گیری شدت یونهای بوجود آمده، مشاهده می‌شود که درصد $98/892$ نمونه مورد آزمایش از کرین C^{12} به جرم اتمی 12 (مبدأ واحد جرم) و $1/108$ درصد کرین C^{13} به جرم اتمی $13/0033$ تشکیل شده است. بنابراین، جرم اتمی متوسط کردن موجود در طبیعت عبارتست از $12/0111$ زیرا:

$$12/0000 \times 0/98892 = 11/8670$$

$$13/0033 \times 0/01108 = 0/1221$$

همانطوری که ذکر گردید دقت و حساسیت طیف‌سنجی جرمی بسیار زیاد می‌باشد، بنحوی که می‌تواند اختلاف جرمی در حدود 10^{-6} گرم را نشان دهد. مسلمانًا این سؤال پیش می‌آید که پس چرا غالباً جرم اتمی عناصر را تا 4 رقم اعشاری نشان می‌دهند. دلیل آن واضح است زیرا نسبت درصد ایزوتوپی عناصر و یا فراوانی ایزوتوپهای مختلف متغیر بوده و تغییرات آنها رقمهای اعشاری بیش از 4 را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، بی مورد است که جرم اتمی یک عنصر را تا 5 رقم اعشاری نشان داد زیرا تغییرات طبیعی نسبت درصد ایزوتوپی عناصر حتی گاهی می‌تواند رقم چهارم را هم تحت تأثیر قرار دهد.

معلومات عمومی



حل: ۱) محاسبه سرعت v_1 یونهای وارد شده در انحراف دهنده مغناطیسی.

یونها در آغاز جنبشی ناچیز داشته و در شتاب دهنده به پتانسیل ۲۰ هزار ولت انرژی جنبشی معادل با حاصل ضرب بارشان در اختلاف پتانسیل کسب می‌کنند و با استفاده از رابطه انرژی جنبشی می‌توان نوشت:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = 2eU$$

بار یونهای Zn^{2+} معادل با دو برابر بار الکترون یعنی $+2e$ است.

$$v_1 = \sqrt{\frac{4eU}{m_1}} \quad (1)$$

محاسبه فاصله $D_1 = FF_1$

تحریر یک ذره در میدان مغناطیسی همیشه یکنواخت است بنابراین یونها سرعهای اولیه خود را که در شتاب دهنده EF کسب کرده‌اند حفظ می‌کنند و نیز یونها مسیر دایره‌ای در میدان مغناطیسی دارند. بنابراین شعاع آنها بستگی به مقدار حرکتشان دارد.

$$P = q \cdot r \cdot B$$

$$m_1 v_1 = (2e) r_1 B \Rightarrow r_1 = \frac{m_1 v_1}{2eB}$$

با استفاده از رابطه (۱) و قرار دادن v_1 در آن و با دانستن اینکه $D = 2r_1$ می‌توان نوشت:

$$D_1 = \frac{2 \sqrt{m_1 U}}{||\vec{B}|| \sqrt{e}}$$

$$D_1 = \frac{2 \sqrt{1/136 \times 10^{-25} \times 20000}}{0.8 \sqrt{1/6 \times 10^{-19}}} = 0.2979 \text{ m}$$

$$D_1 = 29.79 \text{ cm}$$

۲) با محاسباتی نظری آنچه که برای یونها Zn^{2+} نمودیم، برای یونهای Zn^{2+} خواهیم داشت:

$$D_2 = \frac{2 \sqrt{m_2 U}}{||\vec{B}|| \sqrt{e}}$$

$$d = D_2 - D_1$$

فاصله جدایی دو یون از هم

$$d = \frac{2 \sqrt{m_2 U}}{||\vec{B}|| \sqrt{e}} - \frac{2 \sqrt{m_1 U}}{||\vec{B}|| \sqrt{e}} = D_2 - D_1$$

$$d = \frac{2 \sqrt{U}}{||\vec{B}|| \sqrt{e}} (\sqrt{m_2} - \sqrt{m_1})$$

۱ واحد اندازه‌گیری میدان مغناطیسی است که به Tesla نمایش می‌دهند و اسم دانشمند برجسلاوی کاشف جریان برق متداول چند فازی است (Nikola Tesla (1856-1943).

نوعی طیف‌سنج جرمی در مرکز مطالعات علمی ملی فرانسه (C.N.R.S. orsay) به کمک این دستگاه می‌توان ایزوتوپهای را که اختلاف جرم آنها بسیار کم است تشخیص داد. این دستگاه بخصوص برای تجزیه سنگهای آورده شده از کره ماه مورد استفاده فوارگرفته است و بخصوص نسبت درصد ایزوتوپی آنها را با مواد موجود در روی کره زمین مقایسه کرده و از آنجا نتیجه گرفته‌اند که نسبت درصد ایزوتوپی در منظمه شمسی یکسان و نتیجه آنکه مبدأ سیارات منظمه شمسی یکی است.

مثالی برای کاربرد طیف‌سنج جرمی در مورد تشخیص ایزوتوپها و نحوه محاسبات می‌دهیم:

مثال - در یک طیف‌سنج جرمی نمونه مورد آزمایش یونها Zn^{2+} به جرم $kg = 1/136 \times 10^{-25}$ تولید می‌نماید. انرژی جنبشی این یونها در مبدأ ناچیز می‌باشد. اختلاف پتانسیل بین دو الکترود شتاب دهنده ۲۰ هزار ولت می‌باشد یعنی: $U = V_E - V_F = 20000 \text{ V}$.

با دانستن اینکه شدت میدان مغناطیسی یکنواخت و معادل با:

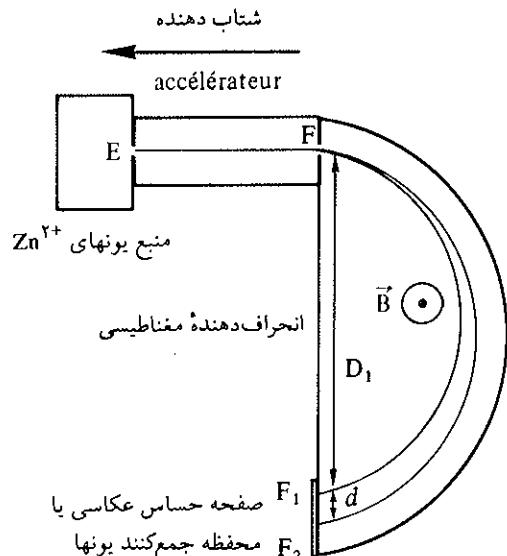
$$||\vec{B}|| = 0.8 \text{ T} \text{ (Tesla)}$$

و نیز می‌توان قبول کرد که یونهای Zn^{2+} مسیر نیم دایره‌ای را طی می‌کنند.

۱) با توجه به شکل زیر فاصله $D_1 = FF_1$ را حساب کنید (D_1 قطر میدان مغناطیسی است)

۲) در واقع نمونه مورد آزمایش یونها Zn^{2+} (ایزوتوپی از روی) به جرم $kg = 1/169 \times 10^{-25}$ را نیز تولید می‌کند. فاصله d که به کمک آن می‌توان این دو یون را از هم جدا نمود حساب کنید.

بار الکترون معادل با کلولومب $e = 1/6 \times 10^{-19}$ است.



<p>مغناطیسی موجود در این بخش یکنواخت بوده و عمود بر مسیر یونها می‌باشد. جواب مثبت یا منفی به هریک از جملات زیر داده و جواب خود را تفسیر کنید.</p>	$d = \frac{\sqrt{2000}}{\sqrt{1/169 \times 10^{-25} - \sqrt{1/125 \times 10^{-25}}} = 0.00222 \text{ m}$
<p>(a) یونها در داخل انحراف دهنده ستایل نمی‌گیرند</p>	<p>بنابراین می‌توان دو یون Zn^{2+} و Zn^{2+} را که معادل دو واحد</p>
<p>(b) مسیر یونها در داخل انحراف دهنده دایره‌ای است</p>	<p>جرم اختلاف دارند با فاصله‌ای حدود $4/22$ میلی‌متر از هم جدا نمود.</p>
<p>(c) شعاع دایره با افزایش جرم یون افزایش می‌باید</p>	<p>از این روش برای جدا کردن ایزوتوپهای ^{68}Zn از ^{65}Zn استفاده می‌شود.</p>
<p>(d) یونهای $^{+}$ حاصل از ایزوتوپ ^{65}Zn بر روی صفحه حساس عکاسی در ناحیه FF اثری در نقطه باقی می‌گذارند به نحوی که</p>	<p>اگر مطالب فوق را فهمیده‌اید تمرین زیر را جواب دهید.</p>
<p>عکاسی در ناحیه FC = 12 cm است. فاصله جدا کننده دو یون (d) را از هم حساب کنید. به جای جرم از عدد جرمی استفاده کنید.</p>	<p>(1) چرا اتمهای ^{65}Zn و ^{63}Zn را ایزوتوپهای اتم اورانیم گویند؟</p>
<p>جواب سؤال آخر: با استفاده از معادلات تمرین قبل خواهیم داشت:</p>	<p>(2) برای جدا کردن این دو ایزوتوپ از هم از طیف‌سنجی مطابق</p>
<p>$d = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} - 12$</p>	<p>شکل صفحه قبل استفاده می‌کنند یونهایی که از سوراخ F وارد</p>
<p>انحراف دهنده مغناطیسی می‌شوند سرعان مشابه و برابر با 7 cm میدان</p>	<p>و از آنجا 7 cm می‌لیمتر.</p>

ج) اتم و مولکول - اتم گرم، مولکول گرم و مول

واحد اصلی در شیمی، اتم یا مولکول است بنابراین، تعجب آور نخواهد بود اگر اهمیت بسیار زیادی به اندازه‌گیری تعداد مولکولهای موجود در سیستمهای شیمیایی بدهیم. تعداد مولکولها در یک دستگاه مشخص شیمیایی پایه و اساس دلایل و روابط نظری مربوط به دستگاه است.

در عصر حاضر به کمک نظریه اتمی قادر هستیم حتی تعداد اتمهای نظامهای بسیار کوچک شیمیایی را تشخیص دهیم.

عملیات عادی و روزمره‌ای که در آزمایشگاه شیمی انجام می‌گیرد طریق ساده‌ای است که با توصل به آن می‌توان تعداد بسیاری از اتمها را شمارش کرد.

با وزن کردن یک نمونه و شناختن فرمول شیمیایی آن به سهولت می‌توان تعداد اتمهای موجود در آن نمونه را تعیین نمود. از مطالعه نظریه اتمی متوجه می‌شویم که تعداد اتمهای موجود در یک اتم گرم کلیه ترکیبات شیمیایی با هم برابرند (زیرا تعداد اتمهای موجود در یک اتم گرم از هر عنصر مساوی تعداد اتمهای موجود در یک اتم گرم سایر عناصر است). همانطوری که گفته شد آwooگادرو اظهار داشت که حجمهای مساوی از کلیه گازها در شرایط عادی S.T.P دارای تعداد مولکولهای مساوی هستند، و با محاسبه ثابت نمود که یک مولکول گرم کلیه گازها در شرایط عادی $22/4$ لیتر حجم دارد و تعداد مولکولهای موجود در این $22/4$ لیتر برابر 6×10^{23} است و از آنجا نام عدد آwooگادرو به این تعداد مولکول یا اتم اطلاق می‌شود. بنابراین، طبق تعریف عمومی عدد آwooگادرو یا N . عبارتست از تعداد اتمهای کرین موجود در 12 g کرین (C^{12}) کلمات مولکول گرم و اتم گرم کلمات سنگین بوده و امروز کلمه mole جانشین آنها گردیده است. یک مول عبارت از مقدار ماده‌ای است که از $10^{23} \times 6 \text{ ذره}$ و یا مولکول و یا اتم تشکیل شده یا به عبارت دیگر، اگر به اندازه عدد آwooگادرو اتم و یا مولکول از یک عنصر و یا یک جسم خالص مرکب گردhem آیند، تشکیل یک مول را می‌دهند. این تعریف کلی تر از مولکول گرم و یا اتم گرم بوده و شامل هر نوع بخصوص از ماده (ذره، اتم یا مولکول) می‌شود و بدین ترتیب صحیح است اگر بگوییم یک

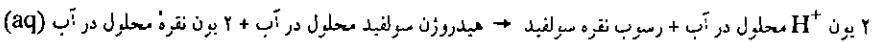
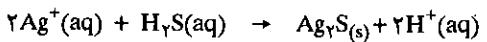
مول هلیم یا یک مول الکترون و یا یک مول Na^+ یا بیان کلمه مول مشخص می‌نماییم که منظور ما تعدادی اتم هلیوم، الکترون و یا یون Na^+ معادل عدد آلوگادرو می‌باشد. از طرف دیگر عبارت یک مول هیدروژن یا یک مول اکسیژن تقریباً بی‌معنی و باید خاطر نشان سازیم که یک مول اتم هیدروژن یا یک مول مولکول هیدروژن که در اولی منظور ما 6×10^{23} اتم هیدروژن (H_2) و در دومی 6×10^{23} مولکول هیدروژن (H_2) است.

با این تعاریف مشاهده می‌کنیم که جرم یک مول از هر ماده‌ای برابر با جرم اتمی یا جرم مولکولی ماده است بر حسب گرم.

تبصره ۱ - عدد آلوگادرو به کمک روش‌های مختلف تعیین گردیده و چند روش مهم آن در پایان فصل مربوط به خواص گازها به صورت خمیمه توضیح داده خواهد شد.

(ج) روابط و معادلات شیمیابی

یک واکنش شیمیابی عبارت است از یک پدیده فیزیکی عیناً شبیه بلند کردن یک وزنه یا غیره، زیرا در یک واکنش شیمیابی یک سیستم اتمی از حالتی به حالتی دیگر تبدیل می‌شود. به عنوان مثال اجزا شرکت کننده در واکنش زیر عبارتند از:



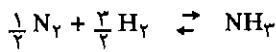
امتهای نقره و هیدروژن و گوگرد در یک ترتیب یا حالت فیزیکی بخصوص مثلث نقره در حالت محلول به صورت یونهای نقره و یا هیدروژن و گوگرد به صورت ترکیب در محلول آبکی به حالت هیدروژن سولفید وجود دارند و فراورده واکنش باز همان امتهای گوگرد و نقره و هیدروژن است متنها در ترتیب با آرایشی دیگر و کاملاً متفاوت. امتهای نقره و گوگرد به صورت یونهایی گردهم آمده رسوب نقره سولفید را تشکیل می‌دهند و امتهای هیدروژن در محلول آبکی به صورت یونهای H^+ در محیط پراکنده می‌شوند. از آنجه که گفته شد چنین بر می‌آید که عمل رابطه شیمیابی عبارت از تشریح چگونگی واکنش (خواه کمی خواه کیفی)، به وسیله رابطه‌ای ساده و دقیق می‌باشد. برای تشریح یک واکنش شیمیابی به صورت کیفی لازم است که حالت و شرایط مواد مؤثر یا شرکت کننده در واکنش و فراوردهای حاصل قید گردد.

در مثال فوق محلول هیدروژن سولفید شامل یونهای H^+ و SH^- و S^{2-} و همچنین مولکول H_2S می‌باشد با وجود این در اغلب موارد نوشتمن کلیه یونهای فوق بی‌مورد و رابطه را پیچیده و مفصل می‌کند. در حقیقت مطالعه محلول آبکی هیدروژن سولفید نشان می‌دهد که قسمت اعظم هیدروژن سولفید به صورت مولکولهای تفکیک نشده می‌باشد و مقدار جزئی به صورت یونهای SH^- و باز به مقدار جزئی تر به صورت یونهای S^{2-} است بنابراین، بهتر این است که در موقع نوشتمن رابطه، ماده‌ای را که غلظت آن در محلول بیشتر است نوشت. بر عکس در محلول سدیم هیدروکسید اشباع شده از گاز هیدروژن سولفید قسمت اعظم هیدروژن سولفید به صورت یونهای HS^- خواهد بود بنابراین، در این حالت لازم است هیدروژن سولفید را به صورت یونهای HS^- رابطه قرار دهیم.

در موقع نوشتمن روابط شیمیابی، راه ساده‌ای را انتخاب می‌کنیم بدین معنی که از ذکر

اجسام شیمیایی که عملاً در واکنش شرکت می‌کنند ولی بدون تغییر می‌مانند خودداری می‌نماییم.

در مثال فوق مثلاً اگر یونهای نقره (Ag^+) به صورت محلول آبکی نقره نیترات باشد می‌دانیم که یونهای نیترات (NO_3^-) در حین واکنش تغییری پیدانمی‌کنند بنابراین، هیچ لزوم و یا فایده‌ای ندارد که این یون را در طرفین رابطه اضافه کنیم. ضرایبی که در روابط شیمیایی ظاهر می‌شوند جنبه کمی واکنش را تشریح می‌کنند. در اغلب موارد این ضرایب تعداد نسبی مولکولهای شرکت‌کننده در واکنش را نشان می‌دهند مثلاً در واکنش تهیه آمونیاک باید نوشت:

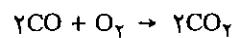


این رابطه نشان می‌دهد که تعداد مولکولهای آمونیاک بوجود آمده دو برابر تعداد مولکولهای ازت و دو سوم تعداد مولکولهای هیدروژن مصرفی است.

یک رابطه شیمیایی باید، مشخص کننده اصل مهم بقای اتمها و یا بقای بارها باشد، یعنی در واقع در یک رابطه شیمیایی باید تساوی مطلقی از نظر تعداد اتمها و تعداد بارها وجود داشته باشد. مثلاً در مثال تأثیر SH_2 بر یونهای نقره، تعداد اتمهای نقره یا گوگرد یا هیدروژن در طرفین یکسان و این مطلب بسیار با اهمیتی است، زیرا اصل بقای اتمهایست که به ما اجازه می‌دهد روابط شیمیایی را بنویسیم. بعلاوه یک رابطه شیمیایی تشریح می‌کند که در حین عمل هیچ بار الکتریکی بوجود نخواهد آمد و یا از بین نخواهد رفت. در مثال فوق دو یون نقره که هر کدام یک بار مثبت دارند در طرف راست و در طرف چپ بارها تغییر محل داده به صورت دو یون هیدروژن ظاهر می‌شوند. در بخش مربوط به اکسایش و کاهش اهمیت اصل بقای بارها را برای تساوی یک واکنش اکسایش و کاهش مطالعه خواهیم کرد.

ح) معادلات شیمیایی و محاسبات مربوطه

از تعریف مول و اصل بقای اتمها استفاده کرده و مسأله رابطه جرم را در واکنشهای شیمیایی مطالعه می‌کنیم. به عنوان مثال رابطه شیمیایی زیر را در نظر بگیریم.



رابطه فوق تشریح می‌کند که ۲۰ مولکول کربن مونوکسید و ۱۰ مولکول اکسیژن برای تولید ۲۰ مولکول انیدرید کربنیک بکار برد شده است، که در آن ۲ می‌تواند هر عدد دلخواهی باشد. مثلاً اگر ۱۰ برابر با 23×10^{23} باشد رابطه مذکور نشان می‌دهد که دو مول کربن مونوکسید به اضافه یک مول اکسیژن می‌توانند تولید دو مول انیدرید کربنیک کنند و توجیه این مطلب موضوع مهمی را مشخص می‌کند و آن اینکه یک مول متشكل از یک تعداد معین و مشخصی ذره یا مولکول است بنابراین، کلیه مطالب گفته شده در مورد اعداد نسبی مولکولها و یا اتمها را می‌توان به تعداد نسبی مولها اطلاق کرد. این استدلال پایه و اساس کلیه معادلات و محاسبات شیمیایی است.

حال مسأله را از نظر کمیت بررسی کنیم، مثلاً در مورد سوختن ۱۲ گرم کربن مونوکسید در مجاورت مقدار زیادی اکسیژن می‌خواهیم بدانیم وزن انیدرید کربنیک به دست آمده از این عمل چقدر است. روش عمومی برای حل این مسأله مربوط می‌شود به اطلاعات کیفی و یا کمی که رابطه شیمیایی در دسترس ما قرار می‌دهد. در این مثال رابطه شیمیایی نشان

می‌دهد که به ازای یک مول کربن مونوکسید یک مول آنیدرید کربنیک لازم است و چون یک مول کربن مونوکسید حتماً در یک مول آنیدرید کربنیک وجود دارد بنابراین، بطور عمومی می‌توان نوشت:

تعداد مولهای کربن مونوکسید مصرف شده = تعداد مولهای آنیدرید کربنیک بدست آمده

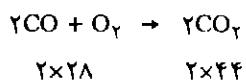
$$\text{تعداد مولهای CO مصرف شده} = \frac{\text{وزن CO}}{\text{جرم مولکولی}} = \frac{12}{28} = \text{تعداد مولهای CO}_2 \text{ تولید شده}$$

$$\text{وزن CO}_2 = \text{تعداد مولهای CO}_2 \times \text{وزن هر مول CO}_2$$

$$\text{وزن CO}_2 = \text{CO}_2 \times \frac{12}{28} = 44 \times \frac{12}{28}$$

$$\text{CO}_2 = \text{وزن} / 44$$

در ضمن به کمک تناسب ساده می‌توان این مسئله را حل کرد.



$$x = \frac{12 \times 2 \times 44}{2 \times 28} = 18/9 \text{ گرم}$$

ولی راه حل اول بهتر است زیرا در روش تساوی مولها از اصل بقای اسمها مستقیماً استفاده می‌شود، (تعداد مولهای CO برابر با تعداد مولهای CO₂ است زیرا هر کدام از آنها متشکل از تعداد مساوی اتم کربن می‌باشند) و این برتری به هر اندازه که مسئله پیچیده‌تر باشد مشخص تر خواهد شد. برتری دیگر، آن در موقع تعیین فرمول خام ترکیبات شیمیایی است.

فرمول خام هر ترکیب مشخص کننده تعداد نسبی اتمهای موجود در ترکیب است.

به صورت تجربی وزن عناصر لازم برای ساختن یک ترکیب مصنوعی یا سنتزی را برابر تهیه مقداری از جسم مرکب، اندازه می‌گیرند و یا با تجزیه شیمیایی وزن عناصر موجود در یک نمونه از جسم مرکب را که فرمولش نامشخص است بدست می‌آورند. اغلب نتیجه را بر حسب نسبت درصد هر یک از عناصر بیان می‌نمایند. مثلاً یک نمونه آهن سولفید از ۴۶/۵ درصد آهن و ۵۳/۵ درصد گوگرد تشکیل شده است، فرمول خام این سولفید چیست؟

با دانستن اینکه فرمول خام عبارتست از، تعداد نسبی اتمهای عناصر موجود در ترکیب و یا به عبارت دیگر تعداد نسبی مولهای عناصر موجود در ترکیب. در یک گرم این سولفید ۴۶۵ گرم آهن و ۵۳۵ گرم گوگرد وجود دارد و چون تعداد مول آهن عبارتست از:

$$\frac{\text{وزن آهن موجود در نمونه}}{\text{جرم اتمی آهن}} = \frac{۰/۴۶۵}{۵۵/۸} = ۰/۰۰۸۳۳$$

و نیز تعداد مولهای گوگرد عبارتست از:

$$\frac{\text{وزن گوگرد موجود در نمونه}}{\text{جرم اتمی گوگرد}} = \frac{۰/۰۱۶۶}{۳۲/۱} = ۰/۰۵۳۵$$

تعداد نسبی مولها و یا اتمها عبارتست از:

$$\frac{\text{تعداد اتمهای آهن}}{\text{تعداد اتمهای گوگرد}} = \frac{۰/۰۰۸۳۳}{۰/۰۱۶۶} = \frac{۱}{۲}$$

بنابراین، در ترکیب آهن سولفید نسبت مولهای آهن به گوگرد مثل ۱ است به ۲، از آنجا

فرمول خام آهن سولفید مورد بحث S_7Fe می‌باشد یعنی، یک اتم آهن و دو اتم گوگرد با هم تشکیل این سولفید را داده‌اند.

در مطالبی که گذشت اشاره‌ای به رابطه موجود بین وزن یک ماده و تعداد مولهای موجود در آن نمودیم. در واقع توزین، تنها روش تعیین تعداد مولهای یک ماده نمی‌باشد. قانون آوغادرو تأکید می‌کند که در درجه مطلق و فشار یک آتمسفر S.T.P یک مول از هر گاز حجمی برابر با $\frac{22}{4}$ لیتر اشغال می‌کند. بنابراین، مولهای موجود در هر نمونه از گاز را می‌توان با مقایسه حجم نمونه و حجم یک مول از گاز در شرایط متعارفی بدست آورد.

$$\frac{\text{حجم نمونه‌ای از گاز در شرایط}}{\text{حجم یک مول از گاز در شرایط}} = \frac{\text{S.T.P}}{\text{S.T.P}} = \frac{\text{تعداد مولهای موجود در نمونه}}{\text{تعداد مولها}}$$

مثلًاً اگر حجم نمونه‌ای از گاز در شرایط عادی S.T.P برابر با ۷ باشد تعداد مولهای موجود در این نمونه برابر با $\frac{۷}{\frac{22}{4}} = ۰.۲۸۴$ تعداد مولها است.

در مورد واکنشهای شیمیایی که کلیه اجزاء یا یکی از اجزاء که حالت گازی دارد به کمک این رابطه به خوبی می‌توان تعداد مولهای این جزء را محاسبه و از آنجا تعداد مولها و یا وزن سایر اجزاء را حساب نمود. مثلًاً در مورد واکنش تجزیه پتانسیم کلرات $KClO_3$ جامد، رابطه شیمیایی عبارتست از:



از تجزیه مقداری پتانسیم کلرات در فشار یک جو و ۲۷۳ درجه مطلق، ۶۳۷ سانتیمتر مکعب اکسیژن حاصل شده است. وزن پتانسیم کلرات تجزیه شده و وزن پتانسیم کلرید حاصل چقدر است؟

به سهولت می‌توان تعداد مولهای اکسیژن را حساب کرد زیرا:

$$\frac{۰/۶۳۷}{\frac{۲۲}{۴}} = ۰/۰۲۸۴ mol = \text{تعداد مولهای اکسیژن}$$

با دانستن تعداد مولهای اکسیژن بوجود آمده به سهولت تعداد مولهای سایر اجزاء محاسبه می‌شود زیرا هر مول $KClO_3$ مقدار $\frac{۲}{۳}$ مول اکسیژن تولید می‌کند و از آنجا:

$$\text{تعداد مولهای اکسیژن} = \frac{۲}{۳} \times KClO_3$$

$$KClO_3 \times \frac{۰/۰۲۸۴}{\frac{۲}{۳}} = ۰/۰۱۸۹ = \text{تعداد مولهای}$$

$$KClO_3 \times ۱۲۲/۵ = \text{وزن } KClO_3 \text{ مصرفی}$$

$$گرم = ۰/۰۱۸۹ \times ۱۲۲/۵ = ۰/۰۲۲$$

و نیز در مورد KCl ، چون جرم یک مول از آن برابر با $۷۴/۵۵$ گرم است و از طرف دیگر

تعداد مولهای KCl بوجود آمده برابر با تعداد مولهای $KClO_3$ مصرفی است لذا وزن KCl بوجود آمده عبارتست از:

$$۰/۰۱۸۹ \times ۷۴/۵۵ = ۱/۴۱ = \text{وزن } KCl \text{ بوجود آمده.}$$

راه صحیح و قابل استفاده برای کلیه مسایل مربوط به معادلات شیمیایی در تعیین وزن یا تعداد مولها یا حجم گازها عبارت از، کاربرد قانون مهم بقای اتمها در واکنش شیمی است، که از آنجا تساوی مولها در واکنش حاصل می‌شود، و ما مطالعه خود را با تشریح دو مسئله معمولی شیمی خاتمه می‌دهیم.

در اثر سوختن $\frac{2}{3}$ گرم گاز کربنیک و $\frac{1}{10}$ گرم آب تولید نموده، فرمول خام ترکیب فوق چیست؟

تمرین (۱-۵) مقدار $\frac{2}{100}$ گرم پتاسیم کلرات ($KClO_3$) را تبدیل به $\frac{2}{428}$ گرم پتاسیم کلرید (KCl) و اکسیژن نمودیم، سپس کلیه را در آب حل نموده و بر روی محلول حاصل نقره نیترات اضافه نمودیم. پتاسیم کلرید $\frac{4}{687}$ گرم رسوب نقره کلرید تولید نمود، پس از تجزیه دقیق نقره کلرید متوجه شدیم که رسوب شامل $\frac{2}{531}$ گرم نقره است. جرم اتمی نقره، جرم مولکولی پتاسیم کلرید چیست؟

$$MO = \frac{1}{15/999}$$

تمرین (۱-۶) محلولی از $\frac{1}{67}$ گرم آلومینیم و روی بطور کامل در اسید حل شده و $\frac{1}{69}$ لیتر هیدروژن، در 273°C درجه مطلق و فشار جو تولید می‌نماید، وزن آلومینیم در محلول چیست؟

تمرین (۱-۷) محلولی از یک گرم مس (I) اکسید (Cl_2O) و مس (II) اکسید (CuO)، پس از احیای کامل $\frac{1}{839}$ گرم مس فلزی تولید می‌نماید، وزن CuO در محلول اولیه چه بوده است؟

تمرین (۱-۸) وزنهای مساوی از یک د روی را باهم محلول کرده و سپس تبدیل به ZnI_2 نمودیم، وزن روی باقی مانده چیست؟

تمرین (۱-۹) $\frac{1}{56}$ گرم محلول KBr و $NaBr$ را در محلول مائی محتوی بونهای Ag^+ وارد نمودیم، کلیه برم موجود در محلول رسوب کرد، وزن رسوب حاصل $\frac{1}{97}$ گرم شد، نسبت درصد $NaBr$ موجود در محلول چیست؟

تمرین (۱-۱۰) آنتیمون اکسید شامل $\frac{2}{72}$ درصد اکسیژن است فرمول خام این اکسید چیست؟

تمرین (۱-۱۱) ده سانتیمتر مکعب محلول غلیظ سدیم کلرید را به کمک روی اورانیل استرات رسوب داده، رسوب حاصل که عبارتست از استرات سه گانه همراه با ۶ مولکول آب $\frac{2}{507}$ گرم وزن دارد. وزن سدیم کلرید اولیه چیست؟

تمرین (۱-۱۲) بر روی ده سانتیمتر مکعب محلول غلیظ روی کلرید مقدار زیادی سدیم فسفات و آمونیم کلرید اضافه نمودیم رسوب حاصل بعد از کلسینه نمودن عبارت از روی پیرو فسفات بدون آبست که $\frac{537}{507}$ گرم وزن دارد. وزن روی کلرید موجود در محلول چیست؟ تمرین (۱-۱۳) $\frac{2}{23}$ گرم آهن اکسید را در جریان گاز هیدروژن حرارت داده تا تبدیل به $\frac{2}{24}$ گرم آهن فلزی شود فرمول خام آهن اکسید چیست؟

مثال (۱-۱) نمونه‌ای از کلسیم به وزن $\frac{1}{25}$ گرم در مجاورت هوا کلاً تبدیل به $\frac{1}{88}$ گرم CaO شد. اگر جرم اتمی اکسیژن ۱۶ باشد جرم اتمی کلسیم چند است؟

حل - فرمول کلسیم اکسید معلوم می‌دارد که:

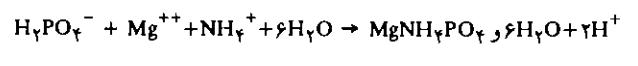
تعداد مولهای کلسیم = تعداد مولهای اکسیژن

$$\frac{1}{88-1/25} = \frac{\text{تعداد مولهای اکسیژن}}{16}$$

$$\frac{1/25}{1/88-1/25} = \frac{\text{تعداد مولهای کلسیم}}{16}$$

$$\text{جرم اتمی کلسیم} = \frac{1/25}{1/88-1/25} = 40/1$$

مثال (۱-۲) در حین تعیین مقدار فسفر به طریق وزنی محلول آبکی بونهای دی هیدروژن فسفات $H_2PO_4^-$ را با محلولی از بونهای آمونیم و منیزیم محلول کرده تا رسوب $MgNH_4PO_4$ و H_2O شود. رسوب حاصل را گرم کرده تا فسفات آمونیم و منیزیم حاصل شود. تجزیه شده و تبدیل به پیرو فسفات منیزیم $Mg_2P_2O_7$ شود که آن را وزن می‌نمایند. واکنشهای مربوطه عبارتند:



محلولی از $H_2PO_4^-$ مقدار $\frac{1}{1054}$ گرم $Mg_2P_2O_7$ تولید کرده وزن اویله NaH_2PO_4 چقدر است؟

حل - کاربرد اصل بقا تعداد اتمهای فسفر (یا تعداد مولهای فسفر) جوابگوی مسأله می‌باشد. زیرا:

تعداد مولهای فسفر = تعداد مولهای NaH_2PO_4 = دو برابر تعداد مولهای $Mg_2P_2O_7$

$$\frac{1/1054}{222/5} = 0/004737 \text{ تعداد مولهای } Mg_2P_2O_7$$

بنابراین:

$$NaH_2PO_4 = 2 \times 0/004737 = 0/009474$$

$$NaH_2PO_4 = 0/009474 \times 119/9 = 1/136 \text{ gr}$$

تمرین (۱-۳) مقدار $\frac{6}{27}$ گرم K_2CO_3 را به کمک یک سری تبدیلات شیمیایی مبدل به $[Fe(CN)_6]^{4-}$ نموده‌ایم، وزن ترکیب اخیر چیست؟

تمرین (۱-۴) یک گرم از ترکیبی که دارای هیدروژن و کربن است

شیمی عمومی

دکتر علی افضل صمدی

نشر نی

بخش دوم

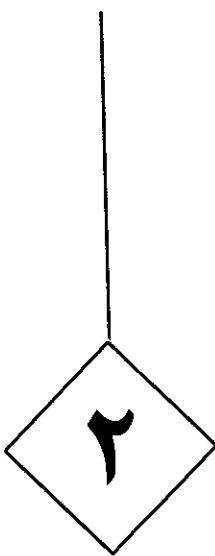
ساختار الکترونی اتم

چاپ دوم به صورت اینترنتی و رایگان

۱۳۸۸ بهمن ماه

ساختار الکترونی اتم

۳۷	۱-۲ نخستین تلاشها و مدلها
۳۸	الف) آزمایش راترفورد
۴۲	معلومات عمومی
۴۳	ب) فرضیه کوانتاوی پلانک
۴۴	پ) اثر فتو الکترونیک
۴۷	ت) اتم بوهر
۴۹	ث) ساختار اتم بر طبق مدل اتمی بوهر
۵۳	ج) طیف پرتو γ و عدد اتمی
۵۵	۲-۲ مکانیک کوانتوسی
۵۵	الف) دوگانگی موج و ذره
۵۶	ب) اثبات تجربی فرضیه لویی دوبروی آزمایش داویس و ژرمز
۵۹	پ) اصل عدم قطعیت
۶۰	ت) مثالی برای تعیین وضعیت یک ذره
۶۱	ث) معادله شرودینگر
۶۶	ج) مکانیک موجی و احتمال وجود الکترون
۶۸	چ) شکل‌اوربیتالها
۷۱	ح) اتمهای چندالکترونی
۷۲	۲-۳ مشخصات درونی اتمها
۷۲	الف) آرایش اوربیتالها و جدول تناوبی
۷۸	ب) برانگیختگیو یونیدگی
۸۵	پ) تعیین ترازهای انرژی در مهای سنگین تراز هیدروژن



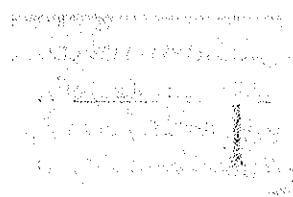
ساختار الکترونی اتم

۱- نخستین تلاشها و مدلها

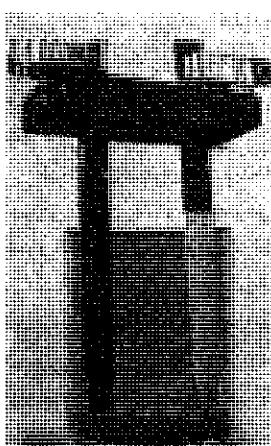
۲- مکانیک کوانتومی

۳- مشخصات درونی اتمها

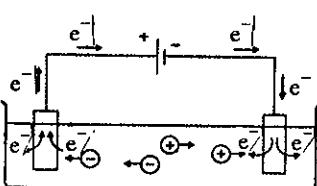
۱-۲ نخستین قلاشها و مدلها



رسوب قلع در کاتد و آزاد شدن کلر در آند



رسوب مس در کاتد و اتحلال آهن در آند



انتقال الکترون در ظرف الکتروولیز باعث رسوب عنصر بر روی الکتروود می شود.

مقدمه: نخستین اطلاع درباره چگونگی الکتریسیته و ساختمان الکتریکی اتم در سال ۱۸۳۳ در نتیجه تحقیقات فاراده^۱ راجع به الکتریسیته و مهاجرت بارهای الکتریکی عناصر از الکتروود به الکتروود دیگر حاصل گردید که در فصول آینده چگونگی آن بررسی خواهد شد. نتیجه کارهای فاراده به صورت زیر خلاصه می شود:

۱. وزن عنصر بخصوصی که بر روی یک الکتروود رسوب می نماید متناسب با مقدار بارهای الکتریکی است که فرم اکسیده این عنصر می گیرد.

۲. وزن مواد مختلفی که به ازای مقدار مشخصی الکتریسیته رسوب کرده و یا به صورت گاز خارج شده و یا وزن مقداری از الکتروود که در محلول حل شده، متناسب با جرم مولکولی یا مضرب صحیحی از جرم مولکولی یا اکیوالان گرم است.

$$\frac{\text{جرم مولکولی}}{\text{تغییر ظرفیت (تمدد الکترونهای تعویض شده)}} = \text{اکیوالان گرم}$$

فاراده بنیانگذار قوانین الکتروولیز توانست نتیجه کاملی از تحقیقات خود بگیرد و فقط در جمله بخصوصی ارتباط پیوند شیمیایی و بار الکتریکی را خاطر نشان ساخت. «بالاخره قانع شدم که نیروی جاذبه یا تمایل شیمیایی معمولی همان نیرویی است که به صورت الکتریکی سبب تجزیه یک ماده می شود، و یا باعث رسوب یک عنصر در کاتد می گردد».

استونی^۲ اولین کسی بود که در سال ۱۸۷۴ نام الکترون را به عنوان ذره بنیادی الکتریسیته بیان کرد. با مطالعه، قابلیت هدایت الکتریکی گازها در فشار کم دلایل تجربی برای اثبات وجود الکترون بدست آمد. گازها معمولاً عایق الکتریسیته بوده با وجود این، موقعی که تحت تأثیر میدان الکتریکی قوی و در تحت فشار بسیار کم (کمتر از ۰/۰۱ آتمسفر) قرار می گیرند مقاومت آنها کم شده، و جریان را هدایت می کنند، و از خود پرتوهای نورانی منتشر می سازند. اگر فشار گاز به 10^{-4} آتمسفر برسد و اختلاف پتانسیل برابر با ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ولت باشد، محفظه شیشه‌ای محتوی گاز به طور خفیف فلورسانست می شود.

در سال ۱۸۹۰ پژوهندگان نشان دادند که فلورسانست حاصله در روی محفظه شیشه‌ای، نتیجه بمباران شیشه به وسیله پرتوهای کاتدی منتشره از کاتد می باشد که حامل بارهای منفی بوده، و به سوی الکتروود مثبت و یا جدار محفظه شیشه‌ای تابیده می شوند.

1. Michael Faraday (1791-1867) (1791-1867) ۱۸۳۳
2. George Stoney (1826-1911) (1826-1911)

در سال ۱۸۹۷ تامسون^۱ با دو روش مختلف مقدار $\frac{e}{m}$ را محاسبه کرد و نتیجه گرفت که پرتوهای کاتدی عبارتند از الکترون و بالاخره میلیکان^۲ بار الکترون یا واحد بار الکتریکی را محاسبه نمود که مقدار آن $(10^{-19} \times 1/6) \text{ کولمب}$ ، یا $10^{-10} \times 10^{-23} = 10^{-33}$ می‌باشد.

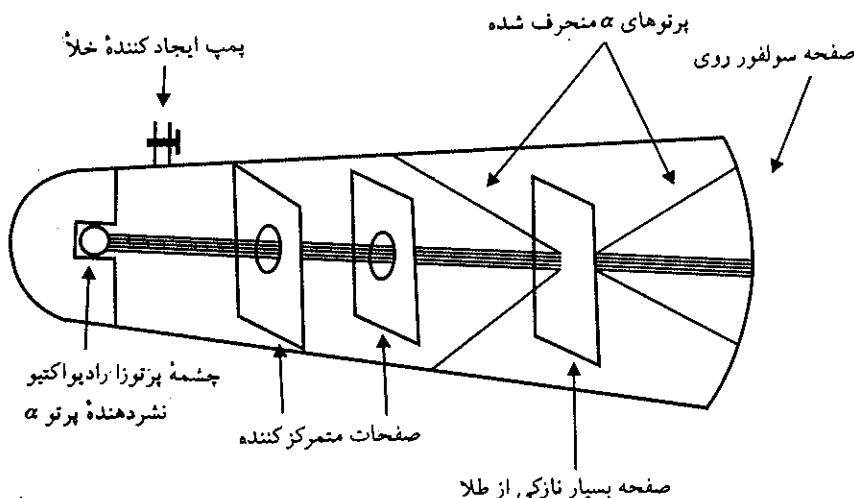
بعد از کشف الکترون و تعیین بار آن، دانشمندان شروع به تحقیق برای مشخص کردن ساختمان اتم کردند. تعیین ابعاد اتم به سهولت انجام می‌گیرد زیرا اگر حجم مولی یک جامد $(\frac{\text{Cm}^3}{\text{mol}})$ را قسمت بر عدد آووگادرو نمی‌بطر تقریب حجم اتمی عنصر در حدود 10^{-22} سانتیمتر مکعب بدست می‌آید، و از آنجا شعاع تقریبی اتم در حدود $\sqrt[3]{10^{-22}} = 10^{-8}$ سانتیمتر است.

به عنوان مثال، اگر حجم یک مول مس برابر با $7/09$ سانتیمتر مکعب باشد، حجم یک اتم آن برابر با $\frac{7/09}{6/03 \times 10^{23}}$ یعنی در حدود $1/10^{23}$ سانتیمتر مکعب می‌باشد.

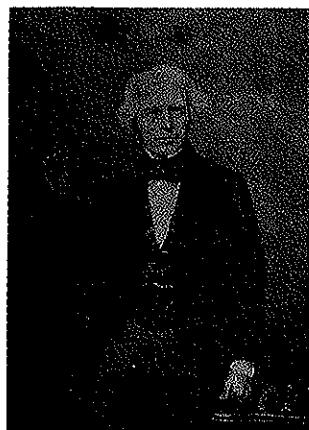
تامسون گمان می‌کرد که اتم کروی بوده و به طور یکنواخت بارهای مثبت به شعاع 10^{-8} سانتیمتر در داخل پراکنده و در محیط خارجی این کره بارهای منفی قرار دارند، و بارهای منفی و مثبت از نظر تعداد باهم مساوی بوده و لذا اتم از نظر خارجی خنثی می‌باشد. ولی این عقیده تامسون در سال ۱۹۱۱ رد شد، و راترفورد با آزمایش مشهور خود (انحراف ذرات α به وسیله ورقه نازکی از طلا) ثابت کرد که اتم ساختاری غیر یکنواخت داشته، هسته در مرکز متشکل از بارهای مثبت و به جرم زیاد و الکترونها به فاصله نسبی بینهایت زیاد در خارج هسته قرار دارند.

الف) آزمایش راترفورد

شکل (۲-۱) به طور خلاصه آزمایش معروف راترفورد یعنی شکست پرتو α را به وسیله صفحه نازک طلانشان می‌دهد. آزمایشی که نتیجه آن اثر بسیار زیادی در پیدایش نظریه اتمی جدید داشت و سبب شناخت ساختار اتمی ماده گردید.



شکل (۲-۱) تصویری از دستگاه بکار بوده شده در آزمایش راترفورد



فاراراده (۱۸۵۷-۱۸۹۱) شیمی و فیزیکدان بسیار مشهور انگلیسی شرح تحقیقات و اکتشافاتش آنقدر زیاد است که صفحات معددی لازم دارد و در این مختصرا ممکن نیست. در حالت اول این پیضاعتی به دنیا آمد. پدرش آهنگر ساده‌ای بود زندگی خود و چهار فرزندش را به سخنی تأثیر می‌کرد. بنابراین فاراده در جوانی تحصیلات زیادی نکرد و به عنوان پادو در یک کتابفروشی در لندن کار می‌نمود.

کاشف بسیاری از پدیده‌های شیمی و فیزیک و بخصوص در قلمرو الکترولیز و الکتریسیته است. در سال ۱۸۳۲ نظریه و قوانین الکترولیز را بینان گذاشت. اصول مسونرهای برتری را او شناخت. اکتشافات او در سه جلد کتاب قطعه به نام تحقیقات تجربی در الکتریسیته در سالهای ۱۸۳۹ و ۱۸۴۴ و ۱۸۵۵ منتشر شده و نیز در سال ۱۸۵۹ کتاب تحقیقات تجربی در شیمی فیزیک را منتشر نمود. عضو انجمن سلطنتی لندن و عضو انتخابی آکادمی علوم پاریس بود تحقیقات و بخصوص جمله مشهور او کمک زیادی به شناخت ساختار اتمها کرد.

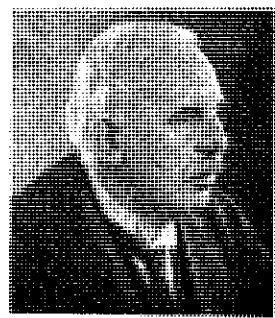
«بالاخره قانع شدم که نیروی جاذبه با تمایل شیمیایی معمولی همان نیروی است که به صورت الکتریکی سبب تجزیه یک ماده می‌شود، و یا باعث رسوب یک عنصر در کاند می‌گردد».

1. Joseph Thomson (1856-1940) انگلستان

2. Robert Millikan (1868-1953) امریکا



تومسن طبیعت ماده را مورد مطالعه قرار داده و بار الکترون را نسبت به جرمش با دستگاهی که خود ساخته بود به دست آورد. در سال ۱۹۰۶ برندۀ جایزه نوبل شد.

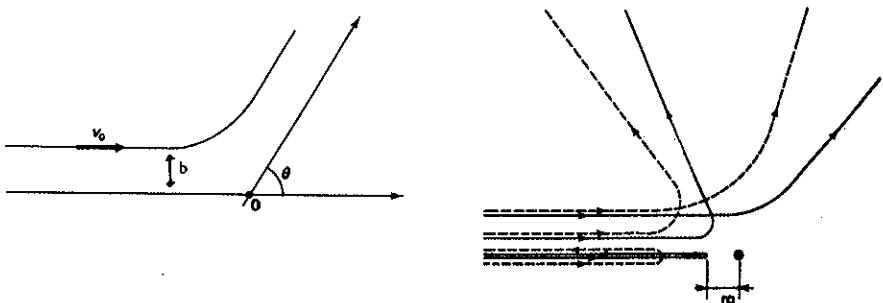


راترفورد در سال ۱۹۰۳ توجیه بسیار مناسبی از پدیده پرتو زایی نمود و در سال ۱۹۰۹ نسبت $\frac{e}{m}$ ذرات α را بدست آورده و نشان داد که این ذرات از هسته اتم هلیم دوبار بونیده درست شده‌اند.

در سال ۱۹۱۱ با آزمایش مشهور خود ثابت نمود که اتم ساختاری یکنواخت داشته هسته در مرکز والکترونها در اطراف آن مشابه سیارات اطراف خورشید در منظمه شمسی است. در سال ۱۹۱۹ او لین تبدیل اتمی مصنوعی را انجام داد و اتم ازت را تبدیل به اتم اکسیژن نمود. برندۀ جایزه نوبل ۱۹۰۸ و عضو و رئیس انجمن سلطنتی لندن بود.

یک دسته پرتو α به طور موازی بعد از متمرکز شدن به وسیله دو شکاف به سمت صفحه نازکی از طلا (به قطر 10^3 اتم) تابیده می‌شوند. انتشار زاویه‌ای ذرات منكسر شده را می‌توان به کمک شمارش نقاط درخشان تولید شده بر روی صفحه‌ای از روی سولفید مطالعه نمود. نتیجه حاصله از این آزمایش مفهوم جالبی دارد زیرا دلیل این امر که اغلب ذرات بدون انحراف از صفحه فلزی عبور و فقط تعداد محدودی از آنها منحرف می‌شوند و انحراف آنها از صفر تا 180° درجه می‌باشد، ساختار غیریکنواخت اتم را مشخص می‌نماید.

موقعی که راترفورد این آزمایش را برای اولین مرتبه انجام می‌داد، می‌دانست که ذرات α عبارتند از هسته اتم هلیم و یا اتم هلیم دو مرتبه یونیزه به جرم اتمی 4 و عدد اتمی 2 و نیز توانست به کمک روش انحراف مغناطیسی (طیف‌نگار جرمی) سرعت ذرات α را اندازه بگیرد. بنابراین، برایش تعجب‌آور بود که ذره‌ای به سرعت $1/6 \times 10^9 \text{ cm/sec}$ اتمی 4 انحرافی به این اندازه تحمل نماید. لذا با خود گفت که اتم بایستی مرکز تجمع بارهای الکتریکی زیادی باشد، و نیز نتیجه گرفت که جرم جسمی که سبب انحراف ذره α می‌شود بایستی بسیار زیاد باشد، زیرا الکترون با جرم ناچیز خود کوچکترین اثری بر روی ذره α نداشته و نمی‌تواند سبب انحراف آن شود. مضاً مشاهده این امر که فقط تعداد محدودی از ذرات α بشدت منحرف شده‌اند به او اجازه داد که فرض کند، نیروی الکتریکی و جرم بسیار زیادی در ناحیه بسیار کوچکی از حجم اتم متتمرکز شده است (امروزه ثابت شده که چگالی هسته اتم در حدود 10^{14} گرم بر سانتیمتر مکعب است). عدم انحراف اغلب ذرات به علت دور بودن از این ناحیه می‌باشد. بنابراین، برخلاف آنچه که تامسون فکر می‌کرد، اتم باید ساختاری غیریکنواخت داشته باشد، و با خود گفت چون الکترونها اتم در حجمی به شعاع 10^{-8} سانتیمتر وجود دارد لذا بارهای الکتریکی مثبت اتم باید در هسته‌ای بینهایت کوچک و در مرکز با جرمی بسیار زیاد متتمرکز شده باشند. راترفورد فرض کرد که نیروی بین ذره α و هسته اتم باید از قانون کولمب (کولن) (قانون دافعه کولنی) پیروی کند و نشان داد که مسیر ذره آلفای منحرف شده نیز باید یک هذلولی به زاویه θ باشد که عبارتست از زاویه خارجی مجانب هذلولی و مربوط است به اشتباه در هدف‌گیری که آن را پارامتر خطأ در مسیر نیز گویند و به طایفایش می‌دهند شکل (۲-۲).



شکل (۲-۲) مسیر ذرات α در حین عبور از کنار هسته‌ای به بار $+Ze$

همانطور که از شکل استنباط می‌شود مقدار زاویه θ نسبت عکس بامقدار a دارد. هرچه a کوچکتر باشد زاویه انحراف بزرگتر و زمانی که a برابر صفر است زاویه انحراف برابر با 180° درجه می‌باشد یعنی ذره α درست در جهت عکس مسیر اولیه خود منحرف می‌شود. در این حالت راتر فورد نتیجه گرفت و گفت که انرژی جنبشی اولیه ذره برابر با انرژی پتانسیل حاصله از نیروی دافعه کولنی است. نیروی دافعه کولنی بین ذره α و هسته اتم هدف برابر است با:

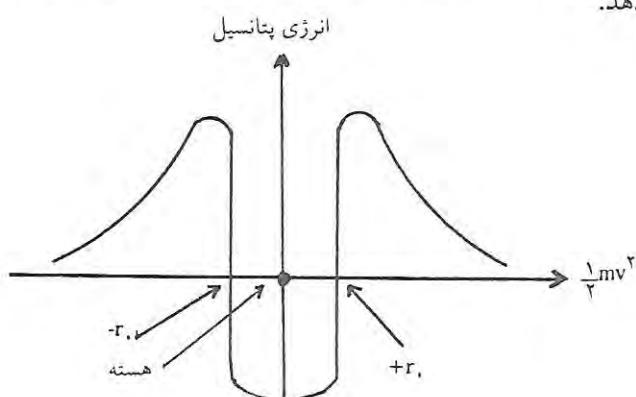
$$F = \frac{Z Ze^2}{r^2}$$

که در آن Z عدد اتمی ذره α و Z عدد اتمی هسته هدف (طلاء) و r فاصله بین پرتو α و هسته اتم طلا و e واحد بار الکتریکی ($4/8 \times 10^{-10} \text{ esu}$) است. در حالتی که مسیر ذره α عمود بر هسته اتم هدف یعنی $a = 0$ باشد بتدریج که ذره به هسته نزدیک می‌شود α کوچک و درنتیجه نیروی کولنی بیشتر شده و در اثر این نیرو انرژی جنبشی ذره α رفته رفته کم می‌شود ولی بر عکس بتدریج بر انرژی پتانسیل آن افزوده خواهد شد. در فاصله‌ای برابر با $2r$ انرژی جنبشی ذره α برابر صفر و بر عکس انرژی پتانسیل ذره ماکزیمم مقدار خود را خواهد داشت یعنی، انرژی پتانسیل حاصله از دافعه کولنی بر روی ذره α درست برابر با انرژی جنبشی اولیه این ذره شده و همین امر به راتر فورد اجازه داد که فرمولی به صورت زیر بنویسد:

$$Ec = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{Z Ze^2}{r^2}$$

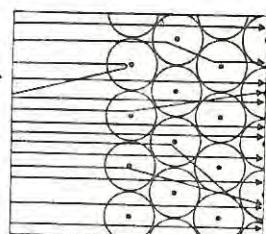
شکل (۲-۳) افزایش انرژی پتانسیل ذره α را در موقع نزدیک شدن به هسته بر حسب r

نشان می‌دهد.



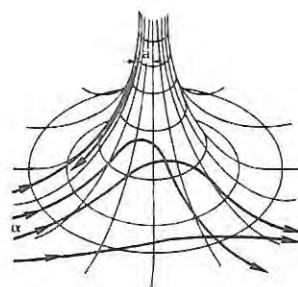
شکل (۲-۳) سد پتانسیل هسته در مقابل ورود یا خروج ذره α در دو بعد $+2r$ و $-2r$ فاصله ذره α از مرکز هسته

ذره a که حدود 180° درجه تغییر مسیر داده است



هسته اتمهای طلا

نموداری از مسیر ذرات a موقعی که از صفحه نازک طلا عبور می‌کنند، از تمام ذرات عبور نموده فقط یکی به هسته نزدیک شده و حدود 180° درجه تغییر مسیر می‌دهد.



نموداری از سد پتانسیل هسته در مقابل ورود ذرات α در سه بعد فضائی

اگر انرژی جنبشی ذره α بیشتر از انرژی پتانسیل حاصله از دافعه کولنی باشد، α به هسته برخورد کرده یا وارد در هسته می‌شود، و یا از آن می‌گذرد. در این حال گوییم که قانون کولن نقض گردیده است. ولی اگر انرژی جنبشی ذره α کمتر و یا برابر با انرژی پتانسیل حاصله از دافعه کولنی باشد ذره α تا فاصله‌ای برابر $2r$ به هسته نزدیک و سپس بر می‌گردد. بنابراین، در حالتی که ذره α ۱۸۰ درجه از مسیر اولیه خود منحرف شده می‌توانیم بگوییم که انرژی جنبشی اش در لحظه‌ای که به فاصله $2r$ رسیده صفر و انرژی پتانسیلی برابر با $\frac{Z Ze^2}{r^2}$ کسب

کرده که بلا فاصله این انرژی پتانسیل تبدیل به انرژی جنبشی می‌شود و ذره α را به عقب می‌راند یعنی، در واقع α عبارتست از مینیمم فاصله‌ای که پرتو α می‌تواند به هسته اتم هدف نزدیک شود. راترفورد پیشنهاد کرد که می‌توان α را به عنوان مبدأ شعاع هسته‌ای در نظر گرفت.

یک ذره α حاصل از تجزیه رادیوم (ra^{226}) دارای $4/78$ میلیون الکترون ولت انرژی جنبشی است. یعنی:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 = 4/78 \times 10^6 \text{ eV}$$

که بر حسب ارگ برابر است با:

$$\text{ارگ} = \frac{1}{2} mv^2 = 4/78 \times 10^6 \times 1/6 \times 10^{-12} = 7/65 \times 10^{-12}$$

اگر عدد اتمی هدف مشخص باشد با استفاده از رابطه راترفورد می‌توان به سهولت مقدار α را محاسبه نمود. به عنوان مثال، اگر هدف صفحه نازکی از فلز روی به عدد اتمی 30 باشد، شعاع تقریبی هسته اتم روی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{z \cdot Ze^2}{r_0}$$

$$r_0 = \frac{z Ze^2}{E_c}$$

$$r_0 = \frac{2 \times 30 \times (4/8 \times 10^{-10})^2}{7/65 \times 10^{-12}} = 1/80 \times 10^{-12} \text{ Cm}$$

چون ذره α می‌تواند به فاصله 10^{-12} سانتیمتری هسته برسد، و باز با نیروی دافعه کولنی منحرف شود بنابراین، شعاع هسته اتم باید کوچکتر و یا حداقل برابر با 10^{-13} سانتیمتر باشد.

آزمایش‌های دیگری با ذرات α که انرژی جنبشی آنها بیشتر بوده، و به سوی هدفهایی از عناصر سبک‌تر پرتاب شده‌اند، نشان می‌دهد که اگر ذرات به فاصله $10^{-12} / 8 \times 10^{-10}$ سانتیمتری برستند دافعه کولنی و یا به عبارت دیگر سد پتانسیل هسته (شکل ۲-۳) شکسته می‌شود. این تجربه به ما اجازه می‌دهد که واحد شعاع هسته‌ای را 10^{-13} سانتیمتر بدانیم.

همانطوری که قبل اگفته شعاع اتم برابر 10^{-10} و شعاع هسته 10^{-13} سانتیمتر است. اگر نسبت این دو را به هم بسنجدیم متوجه می‌شویم که اتم در واقع توخالی می‌باشد، و بنابراین فرضیه تامسون مطروح گردیده، و بدین ترتیب اولین بیان تجربی برای شناخت ساختار اتم به وسیله راترفورد بیان گردید. و بالاخره ژان پرن^۱ ساختمان اتم را بدین صورت تعریف نمود که هسته در مرکز و به شعاع 10^{-13} و الکترونها در خارج هسته در قشرهایی به شعاع نهایی 10^{-8} Cm بر روی مدارهایی قرار دارند. با وجود این ساختاری که بدین ترتیب به وسیله ژان پرن بیان شد خالی از اشکال نبود. بنا به کلیه اصول فیزیک کلاسیک^۲ (۱۹۱۱) اتم می‌بایستی ناپایدار باشد. اگر الکترونها در روی قشر بخصوصی مستقر باشند هیچگونه مانعی برای جذب آنها به هسته وجود ندارد و نیز اگر متحرک باشند بر طبق قوانین الکترومغناطیس مدام که الکترونها در حال حرکت هستند. اتم می‌بایستی از خود نور منتشر

چون ذره α می‌تواند به فاصله 10^{-12} سانتیمتری هسته برسد، و باز با نیروی دافعه کولنی منحرف شود بنابراین، شعاع هسته اتم باید کوچکتر و یا حداقل برابر با 10^{-13} سانتیمتر باشد.

شعاع اتم در حدود 10^{-8} سانتیمتر است. شعاع هسته اتم در حدود 10^{-13} سانتیمتر است. واحد شعاع هسته را فرمی گویند. یک فرمی برابر است با:

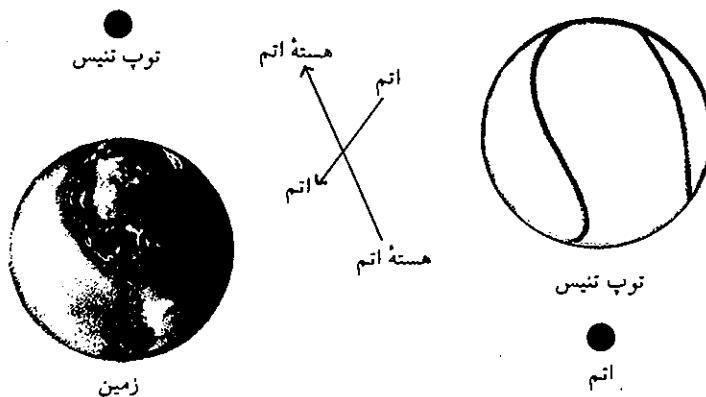
$$R_m = 1/33 \times 10^{-13} \text{ Fm}$$

شعاع هسته هر اتم از رابطه نظری تجربی زیر حساب می‌شود:

$$R = R_m A^{\frac{1}{3}}$$

سازد. دو سال بعد بوهر^۱ سعی کرد که این مشکل را با تجزیه و تحلیل ساختمان اتم بر طبق نظریه کوانتاپی انرژی که به وسیله ماسکس پلانک^۲ (۱۹۰۰) بیان گردیده حل نماید.

معلومات عمومی



است. لذا نسبت حجم اتم به هسته آن:

$$\frac{V_{atom}}{V_{nucleus}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{R^3}{r^3} = \frac{10^{12}}{10^{-23}} = 10^{35}$$

یعنی حجم اتم میلیارد بار از حجم هسته اش بیشتر است.

مثال ۲: محاسبه چگالی پروتون و یا نوترون: هر مول پروتون و یا نوترون یک گرم وزن دارد، با توجه به عدد آروگادرور اینکه شعاع آنها معادل با یک فرم می‌باشد: $R = 10^{-13} \text{ سانتیمتر} = 1/33 \times 10^{-13} \text{ متر}$

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi (10^{-13})^3 = 4.18 \times 10^{-39} \text{ متر}^3$$

$$V_p \approx V_n \approx 10^{-38} \text{ سانتیمتر مکعب}$$

و چون چگالی عبارتست از حاصل بخش جرم بر حجم

$$D_p \approx D_n = \frac{1}{6 \times 10^{-23} \times 10^{-38}} = 10^{14}$$

$$D_p \approx D_n = 10^{14} \text{ g/cm}^3$$

یعنی یک سانتیمتر مکعب پروتون و یا نوترون بیش از صد هزار میلیارد گرم وزن دارد. بزرگی این عدد به حدی است که تصور آن در روی کره زمین غیر ممکن است زیرا چگالی آب یک گرم، سنگها و سخره‌ها حدود دو تا سه گرم، مس و آهن ۷ تا ۸ گرم، و سنگی‌ترین فلزات که

یک اتم بینهایت کوچک است: اتم در مقابل توب تنیس همان اندازه کوچک است که توب تنیس در مقابل کره زمین و اما رابطه اتم و هسته اش تقریباً به مثابه توب تنیس و هسته اتم از یک سو و زمین (اتم) و هسته اتم (توب تنیس) از سوی دیگر است.

شعاع اتم حدود $10^{-10} \text{ سانتیمتر}$ و حال آنکه شعاع هسته از رابطه $R = R \cdot A^{1/3}$ که رابطه نیمه نظری تجربی $\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R \cdot A^{1/3}$ به دست می‌دهد. که در آن R واحد شعاع هسته‌ای و یا شعاع یک پروتون و یا نوترون و A عدد جوام هسته مورد نظر می‌باشد. $R = 10^{-13} \text{ متر} = 1/33 \times 10^{-13} \text{ سانتیمتر}$ یا یک فرمی^۳ است.

مثال ۱: محاسبه شعاع و حجم هسته اتم مس و به دست آوردن نسبت حجم اتم آن به حجم هسته.

$$R = R \cdot A^{1/3} = 1/33 \times 10^{-13} \sqrt[3]{64}$$

$$R = 10^{-13} \text{ سانتیمتر} = 5/33 \times 10^{-13} \text{ شعاع هسته اتم مس}$$

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi (10^{-13})^3 = 4.18 \times 10^{-39} \text{ متر}^3$$

$$V = 4.18 \times 10^{-39} \text{ متر}^3$$

$$V = 6/3 \times 10^{-36} \text{ متر}^3$$

$$V = 10^{-36} \text{ متر}^3$$

$$V = 1/10^{23} \text{ متر}^3$$

$$V = 10^{-36} \text{ متر}^3$$

1. Niels - Bohr (1885-1962)

آلمان

ایتالیایی (1901-1954)

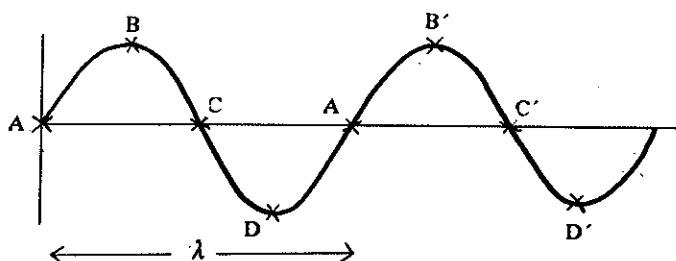
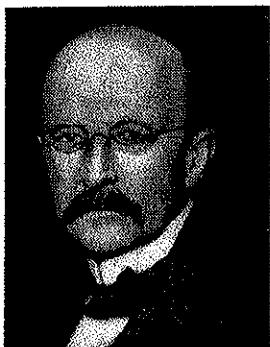
فرمی وجود نوترون‌ها را تشخیص داد و اولین واکنش شکست اتم اورانیم را به کمک نوترون‌های کم انرژی انجام داد و در سال ۱۹۳۸ برنده جایزه نوبل

فیزیک شد و در سال ۱۹۴۲ ساختن اولین راکتور اتمی را در شیکاگو سرپرستی نمود.

خانواده پلاتین هستند $22/5$ گرم در هر سانتیمتر مکعب وزن دارند. به کوانتاپی به تدریج تکمیل می شد این معملاً حل شد و دانشمندان و جرد همین دلیل موقعیه اختفای فیزیک دانان چگالی ستارگان نوترونی را ستارگان نوترونی و دارا بودن چگالی 10^{12} گرم در هر سانتیمتر مکعب معادل با 10^{14} اگر در سانتیمتر مکعب به دست آوردن، مدتیها را باور نمودند. در واقع این ستارگان از اجتماع نوترونها که بدون فاصله در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند تشکیل شده‌اند، حجم آنها میلیونها بار کوچکتر از حجم زمین و حال آنکه جرم‌شان (از $1/4$ جرم خورشید نمی‌توانست توجیه کند. بالاخره در سالهای ۱۹۲۷ تا ۱۹۲۸ که مکانیک کوانتومی به وجود آمد، پانصد هزار بار بیشتر از جرم زمین است.^۱

ب) فرضیه کوانتومی پلانک

یادآوری - یک موج با سرعت C منتشر می‌شود، و در هر لحظه تغییر محل آن را از A به A' طول موج گویند. تعداد فرکانس یا بسامد یک موج را در ثانیه به ν نشان می‌دهند. طول موج مجموع برابر است با $\lambda = \nu\lambda$ ولذا سرعت سیر موج $C = \nu\lambda$ خواهد بود.



شکل (۴-۲)

پلانک فیزیکدان آلمانی که در سال ۱۹۰۰ نظریه مشهور خود یعنی نایروسته برودن انرژی یا نظریه پیمانه‌ای (quanta) برودن آنرا ارائه داد. این نظریه بسیار بارور شد و پایه‌های فیزیک مدرن را تشکیل می‌دهد.

در جریان جنگ مهم اول و دوم جهانی رفتار پلانک به نحوی شایسته بود که به او محبویت جهانی داد. در سال ۱۹۱۸ جایزه نوبل فیزیک به او تعلق گرفت.

در سال ۱۸۶۷ ماکسول^۲ اظهار داشت که موجهای نوری طبیعت الکترومغناطیسی دارند. یعنی عبارتند از میدانهای الکتریکی و مغناطیسی که با فرکانس معینی در نوسان هستند.

در سال ۱۹۰۰ پلانک فرض کرد که هیچ دستگاه یا سیستم مکانیکی نمی‌تواند مقدار نامحدودی انرژی داشته باشد، بلکه باید دارای مقادیر مشخص و محدودی انرژی باشد.

در گذشته فکر می‌کردند که یک موج الکترومغناطیسی به فرکانس ν از سطح جامدی که گرم شده منتشر می‌گردد، و این انتشار نتیجه نوسان گروههایی از اتمهای جامد با همان فرکانس می‌باشد. ولی پلانک فرض کرد که گروه اتمهایی که در گردش هستند نمی‌توانند به طور دلخواه انرژی نامحدودی داشته بلکه باید دارای مجموعه‌ای از $n\nu = E$ انرژی باشند. در این رابطه «عبارتست از عددی کامل و مثبت، لا فرکانس اتمهای نوسان‌کننده و n مقداری ثابت است. این رابطه به نام فرضیه کوانتومی پلانک^۳ معروف می‌باشد.

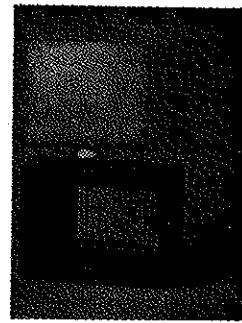
به هر حال این فکر نمی‌توانست قابل قبول باشد مگر اینکه آزمایشها صحت آن را

۱. برای اطلاعات بیشتر مراجعه شود به کتاب ستارگان، زمین و زندگی تالیف نگارنده.

۲. اسکاتلند (1831-1879) Clerk - Maxwell

۳. *quantum* (لفت لاتین) مقداری ناگسته مشخص و محدود که تحت آن پرتوها دفع یا جذب اتمها می‌شوند. در فارسی پیمانه تعبیر می‌شود *quantique* صفت توصیفی یا پیمانه‌ای می‌باشد.

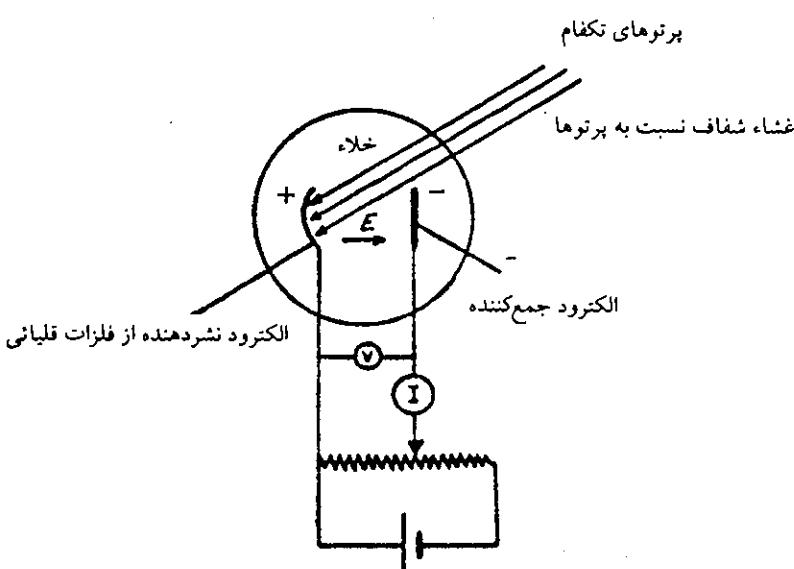
تضمین کنند. اولین موضوعی که مورد تحقیق قرار گرفت طبیعت نور بود. اگر شرایط زیر را قبول کنیم یعنی نوسان کننده از خود پرتوهایی از انرژی یا امواج الکترومغناطیس به صورت غیردائمی منتشر کند، انرژی این نوسان کننده به ازای هر انتشار از ν به $h\nu$ (۲-۱) می‌رسد. بنابراین، نور از واحدهای مشخص و محدودی از انرژی به صورت $h\nu$ تشکیل گردیده است. خوبی‌خانه این عقیده بلافتاده مورد استعمالی پیدا نمود و اینشتاین^۱ به کمک اثر فوتوفوتولوکتریک توانست بر این فرضیه صحیح بگذارد.



شکل یک الکتروسکوپ (برقمنا)

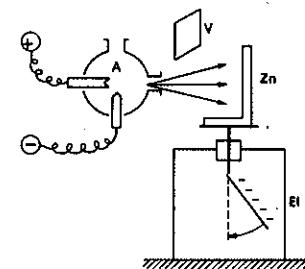
در سال ۱۹۰۲ می‌دانستند که یک سطح فلزی صیقلی تحت تأثیر نور، الکترون تولید می‌کند: شکل (۲-۵). پدیده فوتوفوتولوکتریک تعجب آور نبود و مطابق نظریه کلاسیک عمل نور قابل قبول بود یعنی، انرژی موج الکترومغناطیسی می‌توانست یک الکترون از سطح فلز جدا نماید. با وجود این، با فرضیه موجی بودن نور مطابقت نمی‌کرد، و یا به عبارت دیگر نظریه موجی نور بهطور کلی قادر به توجیه این عمل نبود. در پدیده فوتوفوتولوکتریک باید به موارد زیر توجه داشت:

آزمایش (هرتز) برای اثبات پدیده فوتوفوتولوکتریک



شکل (۲-۵) یک سلول فوتوفوتولوکتریک

- ۱- برای منتشر شدن تعداد الکترون فرکانس نور باید از یک مقدار حداقل بیشتر باشد. اگر تعداد الکترونهای منتشر شده را در محور عرضها و فرکانس نور را در محور طولها ببیریم منحنی (۲-۶) حاصل می‌شود، در این منحنی، ν_0 عبارت از فرکانس حداقل یا فرکانس بحرانی برای جدا کردن الکترون از قشر الکترونی فلز است.



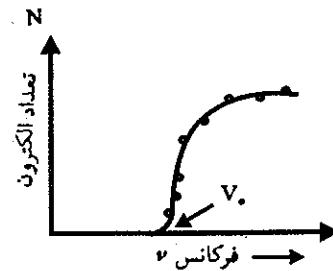
صفحه فلزی ساخته شده از فلز روی (Zn) که به نازگی صیقلی شده است را به میله فلزی الکتروسکوپ جوش داده و مجموع را به وسیله بار متنبی باردار می‌کنیم. دو صفحه الکتروسکوپ (EL) از هم جدا می‌شوند.

حال اگر صفحه روی را به وسیله یک جرقه الکتریکی روشن کنیم دو صفحه به هم نزدیک می‌شوند. مفهوم آن اینست که بارهای متنبی از الکتروسکوپ خارج شده‌اند. حال جرقه را قطع کرده و دوباره الکتروسکوپ را بار دیگر به وسیله بارهای متنبی باردار می‌کنیم و در مقابل صفحه روی (Zn) یک شیشه (V) قرار می‌دهیم.

اگر دوباره جرقه قوس الکتریکی را روشن کنیم صفحات الکتروسکوپ از هم جدا نمی‌شوند. زیرا شیشه مانع از نفوذ پرتوهای فرابنفش قوس شده است. بقیه در صفحه بعد

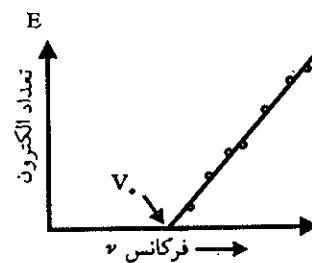
1. Albert - Einstein (1879-1955) آلمان

یعنی برای کشیدن الکترون از صفحه فلز روی نور معمولی کافی نیست. ولی بر عکس فلزات قلیابی در نور مرئی هم الکترون از دست می‌دهند مانگونه که در شکل (۲-۵) متن مشاهده می‌شود. اگر در آزمایش فرق به جای فلز روی، آهن یا مس را به کار ببریم حتی با جرقه الکتریکی و یا لامپ منتشکل از بخارات جبوه نیز الکترون از دست نمی‌دهند بلکه در مورد آنها باید از پرتوهای X یا استفاده نمود تا الکترون از دست بدهند. در موقع سطح انتزاعی یونش علت آنرا خواهید شناخت.



شکل (۲-۶) افزایش تعداد الکترونها بر حسب نمود فرکانس نور

- ۲- انرژی جنبشی الکترونها با افزایش فرکانس نور افزوده می‌شود. اگر انرژی الکترونها حاصل از عمل فوتالکتریک را در محور عرضها و فرکانس نور را در محور طولها ببیریم، ملاحظه می‌شود که با اضافه شدن فرکانس نور انرژی الکترونها بیشتر می‌شود: شکل (۲-۷)



شکل (۲-۷) افزایش انرژی الکترونها بر حسب نمود فرکانس نور

- ۳- شدت نور تغییری در انرژی جنبشی الکترونها نمی‌دهد بلکه تعداد آنها را زیاد می‌کند. نظریه موجی نور نمی‌توانست تغییرات انرژی جنبشی الکترونها را بر حسب فرکانس، و نه وجود فرکانس آغاز یا فرکانس بحرانی را جواب دهد، و به علاوه نظریه موجی پیش‌بینی می‌کرد که انرژی جنبشی الکترونها باید با اضافه شدن شدت نور افزوده شود و حال آنکه این موضوع با عمل مغایرت داشت.

در سال ۱۹۰۵ اینشتاین گفت، اگر قبول کنیم که نور از ذراتی مشخص به نام فوتون و به انرژی $h\nu$ تشکیل شده است، می‌توان عمل فوتالکتریک را توجیه کرد، بدین صورت که یک فوتون به فرکانس ν و به انرژی $h\nu$ مقداری از انرژی خود را به یک الکترون می‌دهد. یک مقدار از این انرژی عصرف شکستن نیروی پیوند الکترون فلز می‌شود و الکترون جابجا شده بقیه انرژی فوتون را به صورت انرژی جنبشی با خود می‌برد، و طبق قانون بقای انرژی خواهیم داشت:

$$h\nu = \epsilon + \frac{1}{2}mv^2$$

مقداری از انرژی فوتون صرف شکستن نیروی پیوند الکترون فلز می‌شود این مقدار انرژی را انرژی یونش اتم گویند.

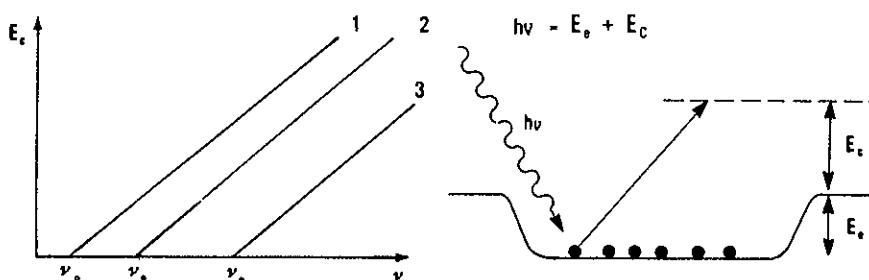
بنابراین ϵ مقدار مینیمم انرژی است که فوتون بایستی داشته باشد تا الکترون را از اتم فلز جدا نماید. اگر ϵ را بر حسب فرکانس بنویسیم، یعنی $\epsilon = h\nu$ = ϵ رابطه به صورت زیر در خواهد آمد:

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_0$$

و در روی منحنی دیدیم که انرژی الکترون بر حسب فرکانس تولید خط مستقیمی می‌نمود که شبیش برابر بود با ثابت پلانک و محور X ها را به ازای $h\nu$ قطع می‌کرد، و اینکه با اضافه شدن شدت نور تعداد الکترونها زیاد می‌شوند. باید متذکر شد که شدت نور بستگی به تعداد فوتونها ($n\nu$) دارد یعنی، هرچه n بزرگ باشد شدت نور بیشتر و در نتیجه تعداد فوتونهایی که به الکترون اتمها بخورداند بیشتر خواهد شد.

برای فلزات مختلف فرکانس بحرانی متفاوت از هم می‌باشد زیرا پیوستگی الکترونها آنها به اتمشان متفاوت از یکدیگر است. شکل زیر فرکانس بحرانی را برای سه فلز مختلف بر حسب انرژی جنبشی الکترونها داده است. ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب سه فلز متفاوت می‌باشند.



شکل (۲-۷) مکرر افزایش انرژی الکترونها بر حسب نمود فرکانس نور و در مورد سه فلز متفاوت ۱ و ۲ و ۳

$$\nu_0 = \frac{E_0}{h} = \frac{118/5\times 4/18 \times 10^{-7} \times 10^3}{6/0.2 \times 10^{23} \times 6/62 \times 10^{-27}}$$

$$\nu_0 = 1/24 \times 10^{10} \text{ Cycle / Sec}$$

فرکانس بحرانی ν_0
ثانیه

تمرین (۲-۱) برای یونیده کردن اتم سدیم $11/85$ کیلوکالری بر مول انرژی لازم است.

۱. فرکانس بحرانی برای کندن الکترون از سطح فلز سدیم را حساب کنید.

۲. طول موج نور لازم را مشخص نماید.

تمرین (۲-۲) هنگامی که نور با طول موج 2800 \AA به فلز پتابیم می‌تابد الکترون با انرژی 2 eV از سطح فلز به خارج منتشر می‌شود. انرژی پیوند الکترون ظرفیت پتابیم و طول موج بحرانی برای کندن الکترون از سطح فلز چقدر است؟

حل تمرین (۲-۲):

$$h\nu = E_0 \quad \nu = \frac{C}{\lambda}$$

$$E_0 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6/22 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{2800 \times 10^{-8} \times 1/6 \times 10^{-12}}$$

انرژی لازم برای یونیده کردن
بک اتم سدیم بر حسب ارج

$$(1) E_0 = \frac{118/5 \times 4/18 \times 10^{-7} \times 10^3}{6/0.2 \times 10^{23}}$$

$$E_0 = h\nu_0$$

$$\epsilon_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times 10^{-12}}{4.22 \times 10^{-7}}$$

$$E_t = 4/43 \text{ eV}$$

انرژی مجموع نور تابیده شده

طول موج بحرانی برای کندن الکترون از اتم پتاسیم $\lambda_0 = 2930 \text{ Å}$

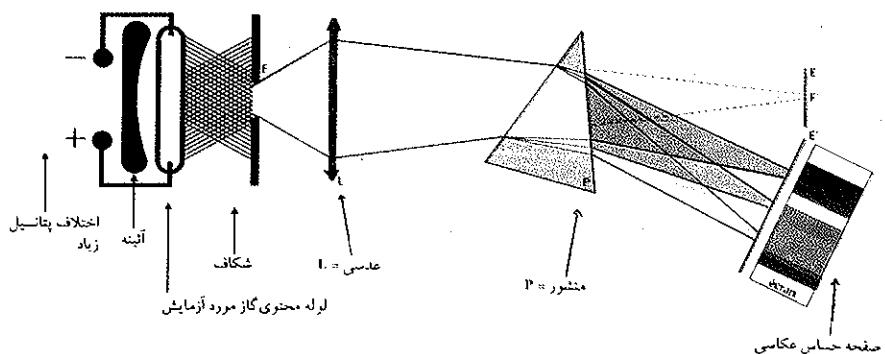
$$E_t = h\nu = \epsilon_0 + \frac{1}{2} mv^2 \Rightarrow 4/43 = \epsilon_0 + 0/2$$

$$\epsilon_0 = 4/23 \text{ eV}$$

انرژی پیوند الکترون در اتم پتاسیم

ت) اتم بوهر The Bohr atom

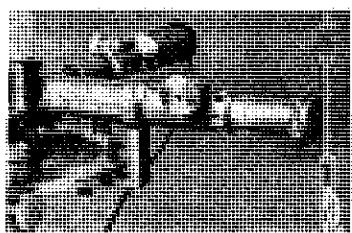
کارهای بوهر که متکی بر فرضیه کوانتاوی، درمورد ساختار اتم بود در آغاز با موفقیت بسیار رویه رو گردید. با وجود این، فرضیه بوهر زیاد هم صحیح نبود و ۱۲ سال بعد از انتشار مطروه گردید. ولی همین فرضیه بوهر بود که توانست موزلی^۱ را در تحقیقاتش برای تعیین ساختمان اتم کمک نماید. نظریه بوهر اجازه می دهد که نشر نور یا طیف اتمی را بیان نماییم. شکل (۲-۸) دستگاهی است که می توان به کمک آن طیف اتمی عنصر را بدست آورد. منبع نورانی تشکیل شده است از لوله ای که در داخل آن گاز مورد مطالعه را در فشار کم و تحت اختلاف پتانسیل زیاد قرار داده اند.



شکل (۲-۸) تصویری از طیف نگار نور مرئی

طیف هیدروژن: بمباران مولکولهای گاز به وسیله الکترونهای منتشره از کاتد در داخل محفظه شیشه ای، مولکول هیدروژن را تجزیه کرده و تولید اتم هیدروژن می نماید. عده ای از این اتمها مقداری انرژی جذب کرده، و بلا فاصله به صورت پرتوهای نورانی انرژی اضافی خود را دفع می کنند (از فرابینفش تا زیر قرمز). نورهای عبور کرده از شکاف به منشور تابیده، و در آنجا تفکیک شده، و هر دسته از نورها بر حسب فرکانس خود به صورت خطوطی به شیشه حساس عکاسی می تابند (شکل ۲-۸). این دستگاه را طیف نگار (اسپکتروگراف) گویند که در سال ۱۸۸۵ بالمر^۲ با مطالعه گاز هیدروژن مشاهده کرد که می توان فرکانس منتشره به وسیله اتمهای هیدروژن را به وسیله فرمول زیر توجیه نمود.

$$\nu = \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \times 3/29 \times 10^{15} \text{ Cycles / Sec} \quad \begin{matrix} (\text{دور}) \\ \text{ثانیه} \end{matrix}$$



نوعی طیف نگار با منشور و لوله ای
محتری گاز هیدروژن

1. Moseley (1887-1915)

2. Balmer (1825-1895)

فرمول بالمر را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

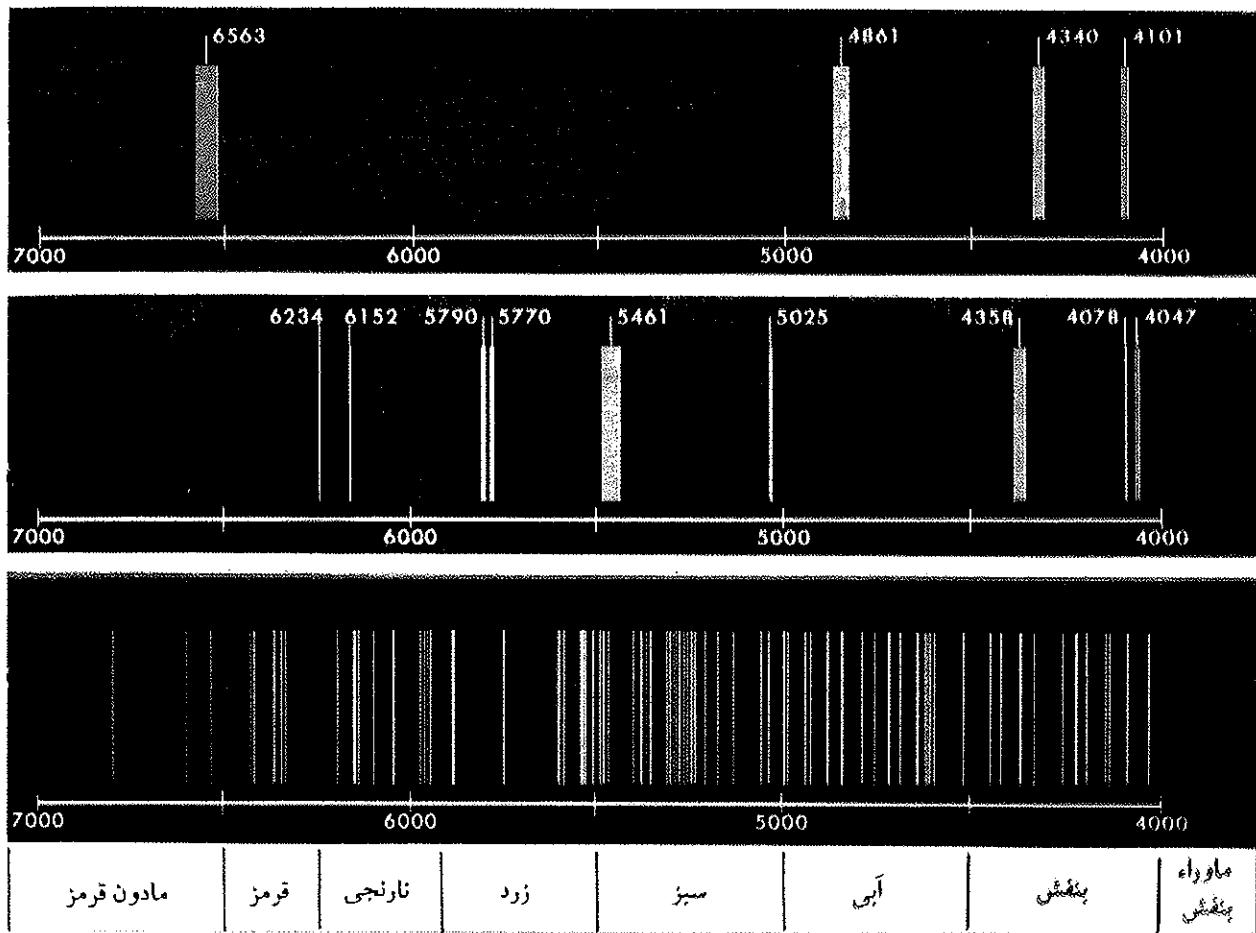
$$\nu = \frac{c}{\lambda} = c / 29 \times 10^{10} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{c / 29 \times 10^{10}}{c} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

مقدار ثابت $\frac{c}{29 \times 10^{10}}$ را ثابت Rydberg^۱ گویند و به r_H نمایش می‌دهند. اندیس H مشخص کننده هیدروژن و منظور بیان ثابت Rydberg برای طیف اتم هیدروژن می‌باشد. بنابراین، می‌توان نوشت:

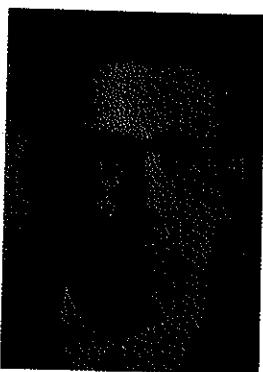
$$\frac{1}{\lambda} = r_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

که در آن n عددی کامل و بزرگتر و یا حداقل برابر با ۳ و مقدار r_H مساوی $109677/76$ می‌باشد.



شکل (۲-۹) طیف خطی چند عنصر (۱) طیف خطی هیدروژن (۲) طیف خطی اورانیم خطوط بر حسب آنگسترم A° داده شده است. $A^\circ = 10^{-8} \text{ cm}$

1. Rydberg (1854-1919)



بوهر (Bohr) در سال ۱۹۱۳ میلادی مدلی را پیشنهاد کرد که برای تفسیر نتایج تجربی از انتقال الکترون از اتم اینستاکتیو بود. این مدل این اندیشه را در نظر گرفت که الکترونها دارای جرم و سرعت هستند و در مداری دارند که از مرکز اتم دورانی می‌کنند. این مدل این اندیشه را در نظر گرفت که الکترونها دارای جرم و سرعت هستند و در مداری دارند که از مرکز اتم دورانی می‌کنند. این مدل این اندیشه را در نظر گرفت که الکترونها دارای جرم و سرعت هستند و در مداری دارند که از مرکز اتم دورانی می‌کنند.

بوهر این اندیشه را در نظر گرفت که الکترونها دارای جرم و سرعت هستند و در مداری دارند که از مرکز اتم دورانی می‌کنند. این مدل این اندیشه را در نظر گرفت که الکترونها دارای جرم و سرعت هستند و در مداری دارند که از مرکز اتم دورانی می‌کنند. این مدل این اندیشه را در نظر گرفت که الکترونها دارای جرم و سرعت هستند و در مداری دارند که از مرکز اتم دورانی می‌کنند.

در موقع تشکیل طیف هیدروژن مشاهده می‌شود که طیف مشکل از خطوط طی است. بسیار نازک با رنگهای مختلف که با نوارهای پهن و سیاه از یکدیگر مجزا شده‌اند و برخلاف طیف خورشید، طیف هیدروژن منقطع و به صورت زیر می‌باشد. دلیل وجود خطوط طیف هیدروژن بعد از مطالعه ساختمان اتم طبق نظریه بوهر برای ما روشن خواهد شد. اینک به بیان فرضیه‌های بوهر و تشریح مدل اتمی بوهر می‌پردازیم.

بوهر اتم هیدروژن را طوری تصور نمود تا بتواند تفسیر کند، چرا فرکانس پرتوهای منتشره از آنها از فرمولی به این سادگی تبعیت می‌کنند. دلایل وی به صورت زیر خلاصه می‌شود:

۱. الکترون در یک اتم فقط در حالتی وجود دارد که دارای حرکت بخصوص و مشخص و محدودی باشد. این حالت را حالت ساکن Stationary State گویند. الکترون در هریک از حالات ساکن انرژی بخصوص و محدودی دارد.

۲. موقعی که الکترون از یک حالت با انرژی بیشتر به حالتی با انرژی ضعیفتر انتقال می‌یابد، اتم از خود یک کوانتا پرتو با انرژی برابر $h\nu$ منتشر می‌کند، که عبارت از اختلاف انرژی بین دو حالت است.

۳. موقعی که الکترون در یکی از حالات فوق وجود دارد، می‌تواند بر روی مدار^۱ بخصوصی در اطراف هسته، حرکت دورانی داشته باشد.

۴. حالت حرکتی ممکن برای الکترون، حالتی هستند که به ازای آنها اندازه حرکت زاویه‌ای angular momentum^۲ الکترون مضرب صحیحی از $\frac{h}{2\pi}$ باشد. یعنی اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون ثابت است.

ث) ساختار اتم بر طبق مدل اتمی بوهر

از نظریه بوهر می‌توان نتایج زیر را گرفت:
پایداری مدار الکترونی از نظر مکانیک این است که نیروی گریز از مرکز حاصله از اندازه حرکت دورانی با نیروی جاذبه کوئنی بین الکترون و هسته برابر شود یعنی:

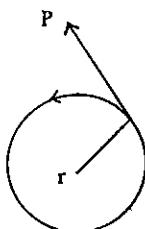
(Coulomb force = Centrifugal force)

$$\text{نیروی گریز از مرکز} = \frac{ze^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad (2-1)$$

در این فرمول m و v به ترتیب عبارتند از جرم و سرعت الکترون، r عبارت است از تعداد بارهای هسته و e واحد بینایی بار الکتریکی و z فاصله بین هسته و الکترون است. با ساده کردن عبارت فوق داریم:

$$\frac{ze^2}{r^2} = mv^2 \quad (2-2)$$

در فرضیه چهارم بوهر اندازه حرکت زاویه‌ای ($r \times p$) می‌باشد که در آن p عبارتست از



۱. مدار Orbit در لاتین به معنای خط دورانی است. اوربیتال صفت توصیفی اریت می‌باشد که در فارسی اغلب به نام لانه و در مورد وضع الکترون در اتم به نام مدار الکترونی ترجمه شده است.
۲. اندازه حرکت زاویه‌ای حاصل ضرب مقدار حرکت (P) در شعاع مسیر برای جسمی که چرخش دایره‌ای دارد، اندازه حرکت زاویه‌ای نامیده می‌شود. اندازه حرکت زاویه‌ای یک سیستم ذره‌ای مقادیر متوالی داشته و مقادیر آن عبارت از ضرایبی کامل و عددی صحیح از ثابت پلانک (h) می‌باشند.

مقدار حرکت یعنی جرم الکترون ضربدر سرعتش: $mv = P$ و نیز $\frac{h}{2\pi}$ فاصله الکترون از هسته می‌باشد.

$$p = mv$$

$$mv = n \frac{h}{2\pi} \quad \text{اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون} \quad (2-3)$$

یعنی اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون باید مضرب صحیح... و ۳ و ۲ و ۱ باشد که در فرمول $n = \frac{h}{2\pi}$ عبارتست از مضرب صحیح... و ۳ و ۲ و ۱

عبارتست از ثابت پلانک $h = 6.62 \times 10^{-34}$ جول‌سیکاند. اگر (sec.erg) اگر در روابط (۲-۲) و (۲-۳) مقدار ۷ را حذف کنیم خواهیم داشت:

$$n = \frac{\frac{n^2 h^2}{(2\pi)^2 m z e^2}}{r} \quad \text{و ۳ و ۲ و ۱} \quad (2-4)$$

بنابراین الکترون می‌تواند در روی مدارهای بخصوصی که شعاع آنها به وسیله رابطه (۲-۴) داده شده‌اند وجود داشته باشد. حال اگر مجموع انرژی الکترون یعنی انرژی جنبشی $E_p = \frac{1}{2} mv^2$ و انرژی پتانسیل $V = -\frac{ze^2}{r}$ را در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$E = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{ze^2}{r} \quad (2-5)$$

اگر طرفین رابطه (۲-۲) را ضربدر $\frac{1}{2}$ کنیم و به جای $\frac{1}{2} mv^2$ مساویش یعنی $\frac{ze^2}{r}$ را در رابطه (۲-۵) بگذاریم:

$$E = \frac{1}{2} \times \frac{ze^2}{r} - \frac{ze^2}{r} = -\frac{1}{2} \times \frac{ze^2}{r} \quad (2-6)$$

و اگر مقدار ۲ را که در رابطه (۲-۴) بدست آمده در رابطه (۲-۶) قرار دهیم:

$$E = \frac{-2\pi^2 m z^2 e^4}{n^2 h^2} \quad \text{و ۳ و ۲ و ۱ ...}$$

این رابطه نشان می‌دهد که بنا به نظریه بیان شده در فوق فقط انرژی محدودی به الکترون در داخل یک اتم می‌توان نسبت داد.

شکل (۲-۱۰) ترازهای انرژی ممکن برای ساده‌ترین اتمها یعنی هیدروژن ($z=1$) را نشان می‌دهد. با یک نگاه می‌توان دریافت که انرژی الکترون در هر تراز مربوط به ارزش n می‌شود. انرژی هر تراز منفی است زیرا انرژی هر الکترون در هر اتم کمتر از انرژی الکترونهای آزاد است. برای یک الکترون آزاد و در حال سکون انرژی را صفر فرض می‌کنیم، پایین‌ترین تراز انرژی یک اتم در حالی است که $n=1$ و به ترتیب که عدد کواتایی n اضافه می‌شود، مقدار منفی E کوچکتر می‌گردد. مادامی که $n=\infty$ است، $E=0$ و این در حالی است که اتم بونیده شده یعنی الکترونی ندارد و الکترون از هسته با یک فاصله بینهایت جدا شده است.

بنابراین فرضیه بوهر انرژی فوتونهای منتشره به وسیله یک اتم باید مساوی با اختلاف انرژی بین دو تراز باشد. برای اینکه مقدار انرژی فوتون منتشره مثبت باشد:

۱. باید الکترون از تراز بالا به تراز پایین تر نقل مکان نماید.
۲. در رابطه انرژی قدر مطلق انرژی هر تراز را قرار می‌دهیم.

از چهار نظریه بوهر، اولی و دومی کاملاً درست و مطابق با نظریه مدرن کوانتمی هستند، چهارمین فرضیه نیز نا اندازه‌ای صحیح است. اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون ثابت می‌باشد، ولی نه کاملاً آنطور که بوهر پیشنهاد کرده است. به مر حال سومین نظریه کاملاً نادرست و در نظریه جدید کوانتمی نمایان نمی‌گردد.

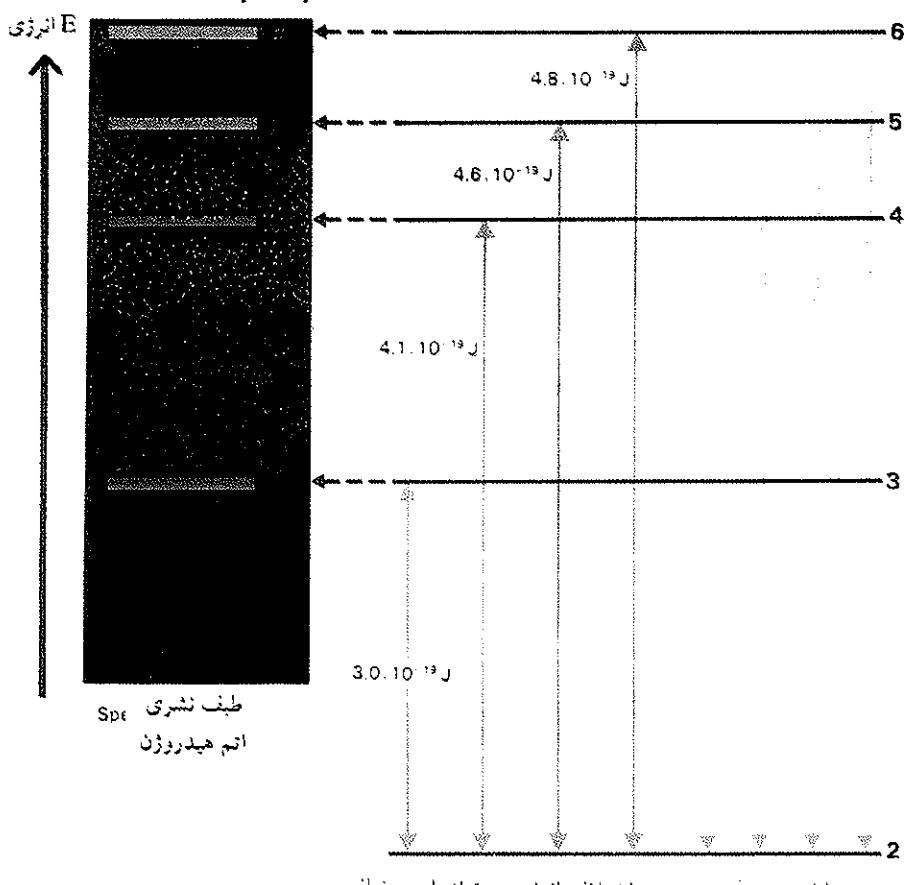
h را ثابت پلانک گویند و ارزش آن بر حسب ژول برابر است با:
 $h = 6.62 \times 10^{-34}$ ژولیه در ژول

اگر E_f انرژی تراز نهایی و n_i به ترتیب شماره ترازهای آغازی و پایانی باشند به طوری که:

$$n_i > n_f$$

$$h\nu = |E_f - E_i| = \frac{2\pi^2 m e^3}{h^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$\nu = \frac{2\pi^2 m e^3}{h^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$



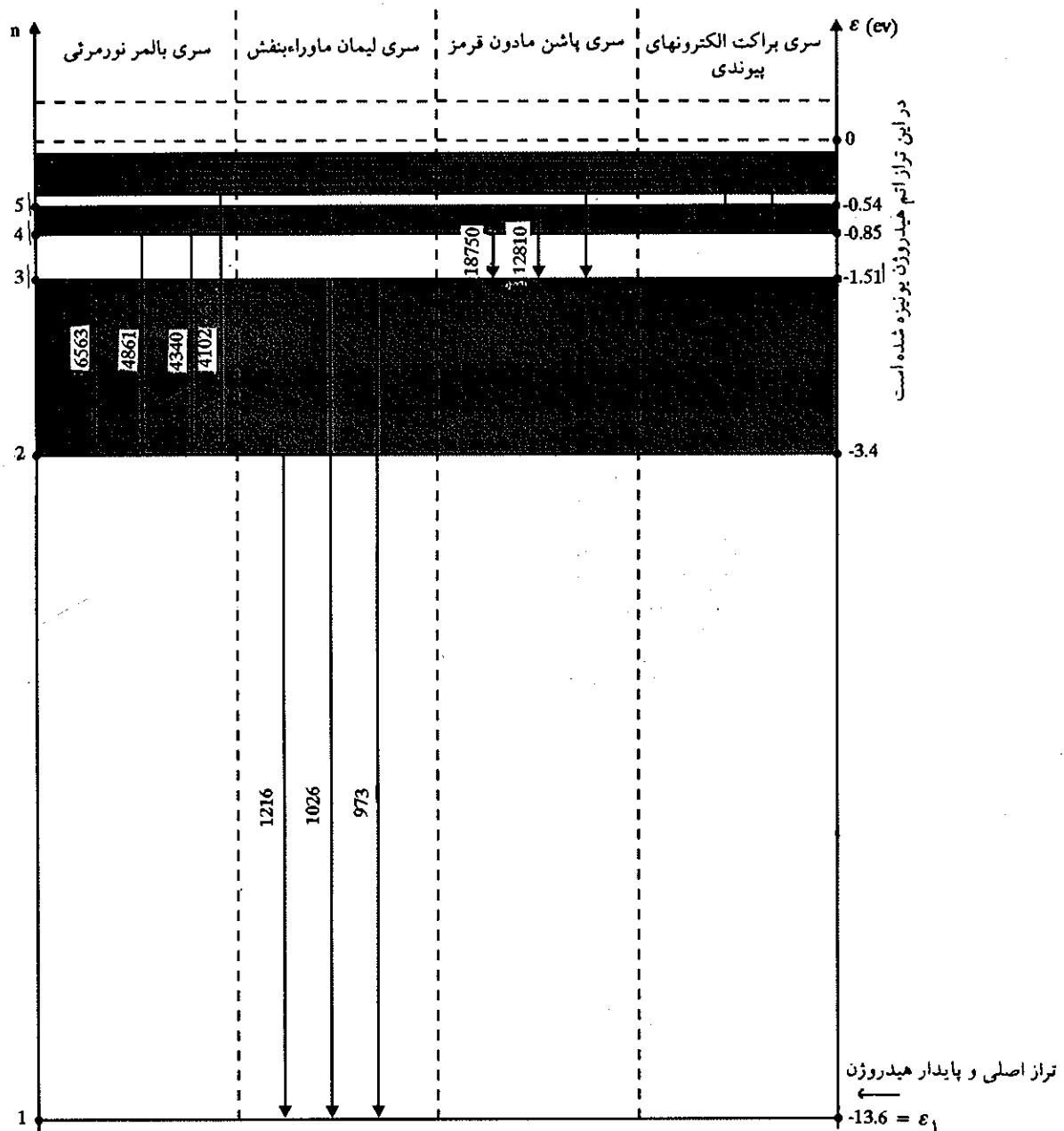
شکل (۲-۱۰) طیف نشری اتم هیدروژن در نور مریس (سری بالمر Balmer) و اختلاف انرژی هر تراز بر حسب ژول

اگر فرض کنیم $2 = n_f$ و مقدار ثابت خارج از پرانتر را حساب کنیم مشاهده می‌کنیم که فرمول تجربی بالمر در مورد اتم هیدروژن کاملاً درست بوده است.

$$\nu = \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \times 3/29 \times 10^{15} \text{ Cycles/sec}$$

و یا به عبارت دیگر فرضیه بوده با طیف اتم هیدروژن مطابقت دارد و نیز اگر فرض کنیم که عدد کواترایی تراز پایانی برابر با یک باشد، فرمول بوده یک سری خطوط در طیف پیش‌بینی می‌کند که عبارتند از: انتقال ترازهای $2 \geq n_i \geq 1$ به تراز 1 و $n_f = 3$ باشد می‌توان یک سری خطوط در طیف اتم مشاهده نمود در این حال $4 \geq n_i \geq 1$ است.

شکل (۲-۱۱) انتقالاتی پیش‌بینی شده بین ترازهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۱) انتقال الکترون اتم هیدروژن از ترازهای بالا به ترازهای پایین

فرمول بولز برای اتمهای دیگر که یک الکترون دارند مثل (He^+ و Li^{++}) استعمال کرده و مشاهده کردند که پیش‌بینی بولز مربوط به طیف هیدروژن کاملاً درست بوده است. کلیه اتمهایی که تبدیلاتی از تراز دوم به تراز اول تحمل می‌کنند از خود فوتونی به انرژی $h\nu$ منتشر می‌سازند و دسته فوتونهایی که بدین ترتیب منتشر شده‌اند هم انرژی (تک انرژی) بوده و فرکانس آنها عبارتست از:

$$\nu_1 = \frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{h^3} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

و به همین ترتیب فرکانس پرتوهای هم انرژی (تک انرژی) برای ترازهای دیگر عبارتست از $\nu_6 = \nu_3$ به نحوی که:

$$\nu = \frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{h^3} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots$$

رابطه فوق را می‌توان بر حسب تعداد موجهای مربوطه‌اش به صورت زیر نوشت:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} \quad \bar{\nu} = \frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{ch^3} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

و بدین ترتیب اگر مقدار ثابت قبل از پرانتر را حساب کنیم، ارزش عددی آن تقریباً معادل ارزش عدد r_H (ثابت ریدبرگ) حاصله از تجربه است.

$$r_H = \frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{ch^3} = 109740 \text{ cm}^{-1}$$

$$r_H = 109677/76 \text{ cm}^{-1}$$

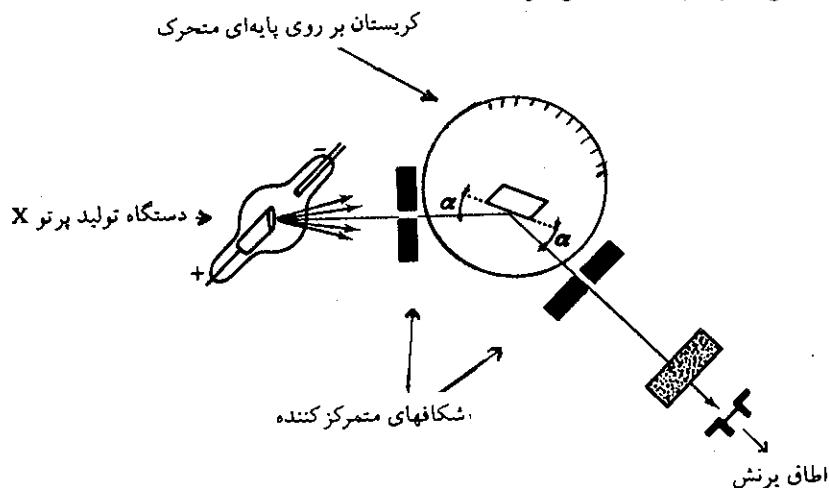
همانطوری که قبلاً گفته شد بمباران مولکولهای گاز هیدروژن به وسیله الکترونهای منتشره از کاتد، مولکول هیدروژن را تجزیه و تولید اتم هیدروژن می‌نماید. عده‌ای از این اتمها مقداری انرژی جذب کرده و در اثر افزایش انرژی حالت تحریکی پیدا می‌نمایند. یعنی از تراز پایدار خود به ترازهای بالاتر منتقل می‌شوند ولی این انتقال موقع بوده و در فاصله زمانی بسیار کوتاه با دفع پرتوهای نوری مختلف از خود دفع تحریک می‌نمایند، عمل اخیر عبارتست از رجعت الکترون به ترازهای پایین تر. پرتوهای منتشره از اتمهای تحریک شده را به صورت زیر دسته‌بندی نموده‌اند:

۱. اگر انتقال الکtron از ترازهای بالا (... و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ = n) به تراز اول باشد، انرژی پرتو منتشره از اتم تقریباً زیاد و مشخصات پرتو X را داشته و قلمرو فرابینفش خواهد بود. این دسته پرتو را سری لیمان Lyman خوانند. طول موج این پرتوها بین ۹۷۳ تا ۱۲۱۶ آنگستروم است (همانطور که در شکل (۲-۱۱) داده شده است).
۲. اگر انتقال از ترازهای (۶ و ۵ و ۴ و ۳ = n) بر روی تراز دوم باشد، انرژی پرتو منتشره متوسط و مشخصات نور مربی را دارد. این دسته را سری بالمرگویند. طول موج این پرتوها بین ۴۱۰۲ تا ۶۵۶۳ آنگستروم است.
۳. و نیز اگر انتقال از ترازهای بالاتر (... و ۶ و ۵ و ۴ = n) به تراز سوم باشد انرژی پرتو منتشره ضعیف و مشخصات آن نزدیک به ناحیه زیر قرمز است. این دسته را سری Pashen نامند. و طول موج پرتوهای منتشر بین ۱۷۸۵۰ تا ۱۷۸۱۰ آنگستروم است.
۴. و بالاخره اگر انتقال از ترازهای بالاتر از ۴ = n به تراز چهارم باشد، انرژی پرتوهای منتشره بسیار ضعیف و مشخصات آن پایین تر از ناحیه زیر قرمز است. این دسته را سری Pfund خوانند. مشخصات این چهار سری در شکل (۲-۱۱) گنجانده شده است.

ج) طیف پرتو X و عدد اتمی

طیفهای قابل رویت اتمها نتیجه تعریض الکترونهایی است که پیوند آنها نسبت به سایرین مستقر می‌باشد. با وجود این در شرایط نهایی تحریک الکترونیکی، اتم می‌تواند پرتو X از خود منتشر سازد (پرتوهایی به انرژی زیاد که حاصل از تحول در انرژی الکترونهای نزدیک هستند).

شکل (۲-۱۲) یک طیف نگار پرتو X را نشان می‌دهد. موقعی که یک آند فلزی را به وسیله الکترونهایی که سرعت زیاد دارند بمباران کنیم پرتو X از آند منتشر می‌شود که مشخص کننده ماده تشکیل دهنده آند می‌باشد. می‌توان طول موج پرتو X را با اندازه گرفتن زاویه θ یا زاویه شکست پرتو X در موقع عبور از بلور اندازه گرفت. مقدار زاویه θ بر طبق فرمول براک^۱ $d\lambda = 2dsin\theta$ مناسب با طول موج پرتو X می‌باشد. این فرمول در فصل پنجم همین کتاب اثبات و تفسیر خواهد شد.



شکل (۲-۱۲) تصویری از طیف نگار پرتو X

در سال ۱۹۱۲ Moseley طیف پرتو X را برای کلیه عناصر تشکیل داد یعنی با عوض کردن آند در هو آزمایش متوجه شد که طیف بدست آمده مشخص و مشخص کننده عنصر تشکیل دهنده آند است و نیز موجه شد که فرکانس پرتو X مناسب با جرم اتمی عنصر به کار برده شده در آند زیاد می‌شود. Moseley با استفاده از مدل اتمی Bohr و rutherford موجه شد که فرکانس پرتو X باید مشخص کننده بار هسته اتم نظر دهنده باشد. بنابراین، توانست نتایج خود را در یک فرمول تجربی بگنجاند:

$$\nu = c(Z - B)^{\frac{1}{2}}$$

در این فرمول B و c برای کلیه عناصر مقادیر ثابتی هستند و Z عدد کاملی است که مقدارش بتدریج در جدول تناوبی از عنصری به عنصر دیگر به اندازه یک واحد اضافه می‌شود موزلی از آزمایشها خود نتیجه گرفت که Z عدد اتمی و یا به عبارت دیگر تعداد بارهای هسته اتم است.

دیدیم که بنابر نظریه بوهر فرکانس پرتوهای منتشره از اتم یک الکترونی مناسب با Z^2 (مربع تعداد بارهای هسته) بود ولی موزلی گفت که فرکانس پرتو X مناسب با $(Z - B)^{\frac{1}{2}}$ است نه با Z^2 ، زیرا الکترونها در اتم سعی دارند خود را نسبت به تأثیرات هسته محافظت کنند و همینطور برای کلیه الکترونها بار مؤثر هسته عبارتست از $(Z - B)$ و در مورد طیف پرتو X این توجیه کاملاً مطابق عقیده امروزی است. نتیجه‌ای که موزلی از مطالعات خود گرفت این بود که کلیه خواص اصلی شیمیایی یک اتم به علت بارهسته است نه جرم اتمی آن.

1. William-Henry-Bragg (1862-1942)

۲-۲ مکانیک کوانتومی Quantum Mechanics

اولین انقلاب علمی قرن بیستم با انتشار نسبیت خاص اینشتاین و نسبیت عام در سالهای ۱۹۰۵ و ۱۹۱۶ انجام گرفت.
دوسین انقلاب علمی مکانیک موجی بود که بنیانگذار آنرا می‌توان پلانک و سپس دویری دانست. این دو انقلاب اعظم اشکالات علمی زمان را برطرف نمودند و علم و صنعت را به سوی پیشرفت و تکامل کنونی سوق دادند.

مقدمه: ممکن است شکفت آور باشد که بگوییم نظریه بوهر با وجود موقفيتهای بسیار جالب اولیه خود پس از گذشت ده سال از انتشارش مطرود گردید. گرچه نظریه بوهر توانست طیف اتمهای یک الکترونی را توجیه کند با وجود این قادر به توجیه صحیحی از طیف عناصر چند الکترونی نبود. در اوایل سالهای (۱۹۲۰-۱۹۳۰) فیزیک نظری بادو اشکال مهم مواجه گردید: اولی مربوط بود به دو نظریه مختلف درباره طبیعت نور، نظریه موجی نور (طبیعت فوتونی نور) و دومنی عبارت بود از عقیده کوانتایی یا پیمانهای بودن انرژی که می‌باشند آنرا به صورت مسئله‌ای که از مکانیک نیوتون فراموش شده است در آن گنجاند، لذا لزوم وجود مکانیک جدید (مکانیکی که قادر به بیان مسئله ذره و موج و نمایش کوانتایی انرژی به صورت یک اصل اساسی باشد) به نظر می‌رسید.

الف) دوگانگی موج و ذره Wave-Particle Duality

اولین کام در مرور پیدایش مکانیک موجی جدید به وسیله لویی دوبری^۱ در سال ۱۹۲۴ برداشته شد. مدت مديدة علماء عقیده داشتند که پرتوهای الکترومغناطیسی عبارتند از پدیده‌های موجی مطلق، با وجود این اینشتاین خاطر نشان کرد که در بعضی تجارب این موجهای الکترومغناطیسی خاصیت ذره‌ای (فوتونی) از خود نشان می‌دهند (اثر فوتونیکی صفحه ۴۳ ملاحظه شود).

پدیده‌هایی که به یک موج نسبت داده می‌شوند عبارتند از شکست و تداخل. همانطور که گفته شد تأثیر این دو پدیده مربوط به مقدار طول موج و ابعاد جسمی است که این موج با آن برخورد می‌کند بنابراین، لازم است مقدار طول موج نسبت داده شده به ذره را دانست. دوبری با تکیه به روابط اینشتاین در مورد انرژی و فرکانس یک فوتون، توانست روابط زیر را بنویسید:

$$\begin{aligned} h\nu &= E & \nu &= \frac{E}{h} \\ c = \nu\lambda & & \nu &= \frac{c}{\lambda} \\ \frac{E}{h} &= \frac{c}{\lambda} \\ E &= \frac{hc}{\lambda} \end{aligned} \tag{2-7}$$

از نظریه نسبی اینشتاین می‌توان رابطه بین مقدار حرکت نور، سرعت و انرژی آن را به طریق زیر محاسبه کرد:

$$E = mc^2 \quad \frac{E}{c} = m.c$$

مقدار حرکت عبارتست از حاصلضرب جرم در سرعت یعنی:

$$P = m.c$$

$$\frac{E}{c} = P \quad E = P.c \tag{2-8}$$

1. Louis De Broglie (1892-1987) فرانسه

از اتحاد روابط (۲-۷) و (۲-۸) خواهیم داشت:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c} = P$$

برای یک ذره با جرم m و سرعت v مقدار حرکت عبارتست از:

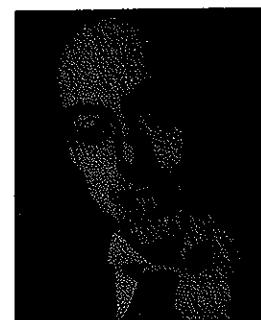
$$P = m.v$$

$$\frac{h}{\lambda} = m.v$$

$$\lambda = \frac{h}{m.v}$$

و از آنجا:

(۲-۹)



این معادله رابطه بین طول موج و مقدار حرکت یک فوتون را تشریح می‌کند. دو بروی اظهار داشت که می‌توان به کلیه ذراتی که دارای مقدار حرکت $P = m.v$ می‌باشند طول موجی مطابق رابطه (۲-۹) نسبت داد.

جدول (۲-۱) نتیجه محاسبات طول موج نسبت داده شده به ذراتی مانند الکترون و هلیم و اتم گزنوون (Xe) را طبق رابطه (۲-۹) نشان می‌دهد.

هرچه جرم و سرعت ذره بیشتر باشد طول موجش کوتاهتر است. بنابراین، موقعی که یک دسته الکترون به یک بلور برخورد می‌کنند باید، انکسار پیدا نمایند و این موضوعی است که برای اولین بار در سال ۱۹۲۷ یعنی سه سال بعد از نشر عقیده دو بروی آشکار و بالاخره منجر به عمومیت دادن فرضیه دو بروی و پیدایش مکانیک موجی شد که امروزه به طور جهانی شناخته شده است.

طول موج $\times 10^{-10}$ (A°) Wave Length	Velocity Cm/sec	جرم بر حسب گرم mass gram	ذره Particle
61	1.2×10^7	9.1×10^{-28}	الکترون در K
12	5.9×10^7	9.1×10^{-28}	الکترون با انرژی یک eV
1.2	5.9×10^7	9.1×10^{-28}	الکترون با انرژی صد eV
0.71	1.4×10^5	6.6×10^{-24}	اتم هلیم در K
0.12	2.4×10^4	2.2×10^{-22}	اتم گزنوون در K

جدول (۲-۱) طول موج ذرات Wave Lengths Of Particles

نتیجه اینکه قبول می‌کنیم که هر ذره فوتون، الکترون و نوترون دارای طبیعت دو گانه می‌باشند. در بعضی از آزمایشها خواص موجی بودن ذره و در عده‌ای دیگر خواص ذرهای آن ظاهر می‌شود و در این حال کاملاً شبیه به یک ذره عمل می‌کنند و از آنجا مفهوم جمله دوگانگی موج و ذره Wave-Particle Duality آشکار می‌شود.

ب) اثبات تجربی فرضیه لویی دو بروی - آزمایش داویسون و ژرمن

Germer , Davisson

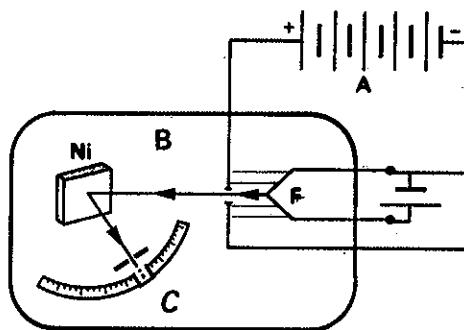
بررسی تجربی فرضیه دو بروی بدین ترتیب عملی است که ثابت نماییم یک دسته

لویی دو بروی فیزیکدان مشهور فرانسوی و پایه گذار مکانیک موجی ای است. بروی اظهار داشت که نور و یا ذرات با انرژی بالاطبیعت دوگانه دارند گاهی مانند موج عمل می‌کنند و گاهی مانند ذره. در خاطراتش می‌نویسد:

"اعداد کاملی که در نظریه بروه به چشم می‌خورند مرا شدیداً تحت تأثیر قرار داده بود زیرا همین اعداد را در محاسبات مربوط به امواج و روزنانه آنها در محل تقاطع مشاهده می‌کنیم و این سبب شد که فکر کشم در درون نظریه بروه مسئله‌ای در رابطه با موج پنهان گشته است"

صحت نظریه بروی بلافاصله به وسیله آزمایش داویسون و ژرمن مورد تأثیر فرار گرفت. بروی برنده جایزه نوبل سال ۱۹۲۹ شد و عضو دایمی آکادمی علوم پاریس بود. کتابهای بسیاری در فیزیک نظری و فیزیک برای همه نوشته است. لویی دو بروی در سال ۱۹۸۷ در فرانسه فوت شد.

الکترون مشابه به یک موج منتشر می‌شوند. بدین منظور داویسون^۱ و ژرمر^۲ دستهای الکترون بسرعت ۷ مشخصن (به کمک یک رشته سیم گرم شده، تعییه گردیده بین دو الکترود با اختلاف پتانسیل ۷) تهیه نمودند و پدیده شکست را به کمک الکترونهای مذکور اثبات کردند. شکل (۲-۱۳) به طور خلاصه آزمایش داویسون و ژرمر را نمایش می‌دهد. قسمت A عبارتست از منبع الکترونها، متشکل از دو الکترود.



شکل (۲-۱۳) اثبات تجربی شکست الکترون

۱. کاتد یا الکترود منفی عبارتست از یک رشته سیم مقاوم که در اثر اختلاف پتانسیل موجود در دو سر آن تا درجه حرارت زیاد گرم شده و درنتیجه تولید الکترون می‌نماید.
۲. آند یا الکترود مثبت که جاذب الکترون بوده و سوراخی در وسط آن تعییه شده است. الکترونهای منتشره از کاتد در اثر اختلاف پتانسیل زیاد ۷ انژی جنبشی برابر با:

$$\frac{1}{2} mv^2 = Ve \quad (2-10)$$

کسب کرده و به آند می‌رسند. دسته الکترونهایی که مسیر آنها در مقابل شکاف است از آن عبور نموده و در فضای B که در آن خلاء نسبتاً مطلق تهیه شده وارد می‌شوند. در این ناحیه چون دسته الکترونها تحت نیرو یا اصطکاکی قرار ندارند، لذا سرعت آنها ثابت و مشخص و برابر با ۷ خواهد بود. جرم الکترون مشخص و مقدار سرعت آن از رابطه (۲-۱۰) بدست خواهد آمد و به کمک آن مقدار حرکت $P = mv$ که در رابطه لوینی دوبروی وجود دارد محاسبه و در نتیجه طول موج متنسب به الکترون به طور نظری محاسبه خواهد شد. اگر ۷ در حدود ۵۰ کیلووات باشد، طول موج متنسب به الکترون طبق محاسبات زیر در حدود ۰/۰۵۴ آنگسترم (یا $10^{-10} \times 5/4$ سانتیمتر) خواهد بود.

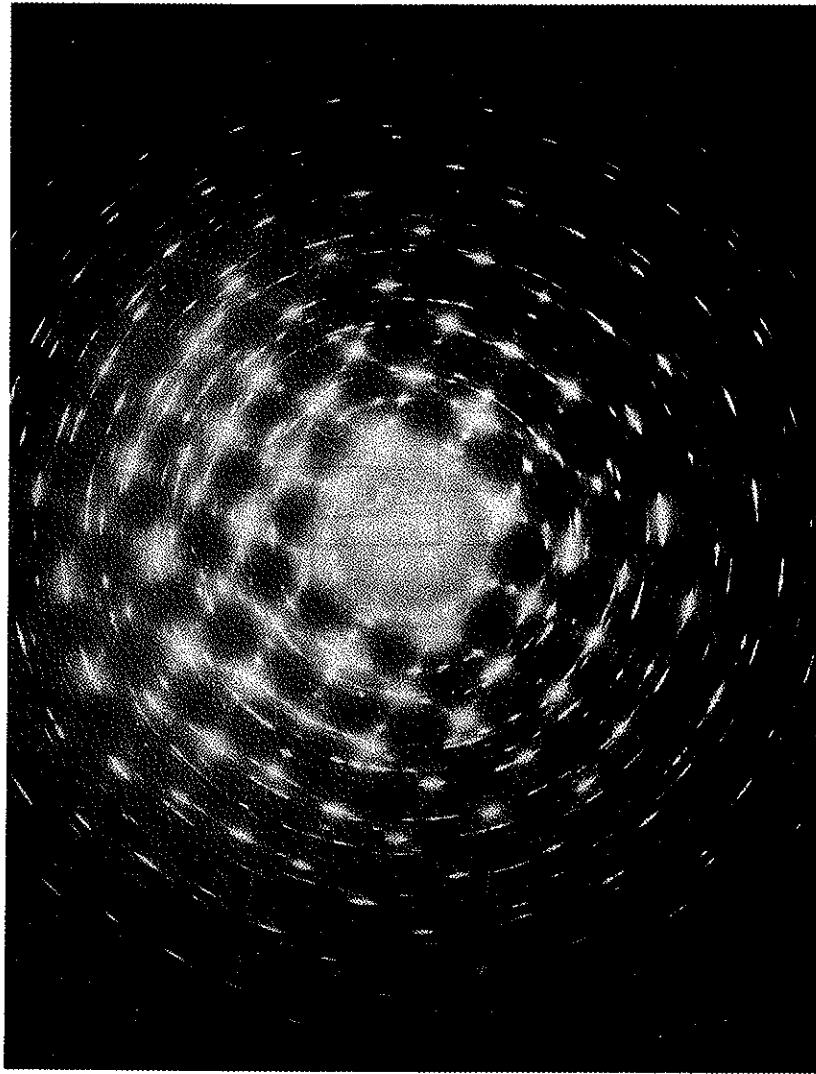
$$\frac{1}{2} mv^2 = Ve = 5000 eV$$

$$1 eV = 1/66 \times 10^{-12} erg$$

$$\frac{1}{2} mv^2 = 1/66 \times 5 \times 10^{-12} erg$$

$$m v^2 = 6/1 \times 10^{-28} gram$$

$$m^2 v^2 = 1/66 \times 10^{-7} \times 9/1 \times 10^{-28}$$



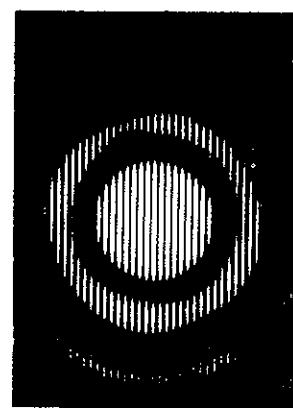
انکسار الکترون بر روی بلور نقره در حالت فلزی

$$mv = \sqrt{1/66 \times 9/1 \times 10^{-35}} = 1/23 \times 10^{-17} \text{ g.cm/sec}$$

$$h = 6/62 \times 10^{-27} \text{ erg.sec}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6/62 \times 10^{-27}}{1/23 \times 10^{-17}} = 5/4 \times 10^{-10} \text{ cm}$$

اگر بتوان به کمک تجربه ثابت نمود که طول موج متناسب به الکترون همین مقدار می‌باشد، فرضیه دوبروی درست و تأیید خواهد شد. برای انعکاس پرتوی به طول موج 10.54 Å آنگسترم، باید فاصله بین شبکه‌های بلور جسم منعکس کننده در حدود آنگسترم باشد. خوشبختانه قوانین انعکاس برای پرتوهایی که طول موج آنها کوتاه می‌باشد همان قوانین انعکاس نور مریی است. لذا اگر زاویه پرتو را نسبت به سطح منعکس کننده، θ بنامیم زاویه انعکاس با همین سطح برابر θ خواهد بود و مقدار این زاویه طبق رابطه برآگ می‌نماید.



داویسون و ژرمن ثابت نمودند که بازتاب الکترونها به وسیله یک بلور، انکساری مشابه امواج نوری ایجاد می‌نماید.

می‌باشد. بنابراین، اگر زاویه θ برای بلور مشخصی که فاصله بین شبکه‌ای (d) آن معلوم است اندازه گرفته شود، مقدار λ از رابطه برآگ محاسبه خواهد شد.

داویسون و ژرمراز بلور نیکل استفاده نمودند (قسمت B شکل ۲-۱۲) و به کمک یک دستگاه تشخیص دهنده (مثلاً آتاق یونش) متوجه نصب شده در ناحیه C شکل (۲-۱۳)، انحراف الکترونها را نسبت به مسیر اولیه اندازه گرفته و درنتیجه زاویه θ را مشخص نموده و بعد به کمک رابطه برآگ $\lambda = 2ds\sin\theta$ طول موج الکترونها را به طور تجربی محاسبه کرده و بدین ترتیب به کمک تجربه نشان دادند که رابطه لویس دوبروی $\frac{h}{mv} = \lambda$ کاملاً درست می‌باشد، زیرا لاندای محاسبه شده به روش تجربی عیناً برابر با لاندای محاسبه شده از راه نظری بود.

پ) اصل عدم قطعیت The Uncertainty Principle

اگر قصد تعیین وضعیت و یا محاسبه سرعت الکترون را داشته باشیم و از پرتوهای نوری برای تعیین وضعیت الکترون استفاده کنیم، قوانین عمومی نورشناسی به ما می‌فهماند که در عمل تعیین وضعیت الکترون دقت عمل برابر $\Delta x \pm \frac{\hbar}{\lambda}$ می‌باشد (یعنی برابر طول موج نور استفاده شده). اگر در تعیین وضعیت الکترون از پرتوهای نورانی که طول موج آنها بسیار کوچک است استفاده کنیم دقت عمل زیاد شده و یا به عبارت دیگر قدر مطلق اشتباه $|\Delta x|$ را کوچک کرده‌ایم. ولی آیا می‌توان مقدار حرکت الکترون را در همین حال که وضعیت آن را تعیین می‌نماییم به دست آورد؟ جواب این سؤال منفی است زیرا در موقع تعیین وضعیت الکترون خواه ناخواه مقدار حرکتش را تغییر داده‌ایم.

به کمک یک فوتون در حالی که برخورده‌یا الکترون داشته باشد می‌توان وضعیت الکترون را تشخیص داد. این فوتون اگر دارای طول موج λ باشد مقدار حرکتش برابر است با $\Delta p = \frac{h}{\lambda}$ و چون $P = mv$ پس $\Delta p = \frac{h}{\lambda}$ و در برخورد فوتون الکترون یک قسمت از این مقدار حرکت به الکترون انتقال می‌باید و درنتیجه در موقع تعیین مقدار حرکت الکترون عدم قطعیتی برابر با $\Delta p = \frac{h}{\lambda}$ حاصل می‌شود و چون در تعیین وضعیت الکترون دقت عمل برابر است $\Delta x = \frac{\hbar}{\lambda}$ لذا حاصل ضرب این دو عدم قطعیت برابر است با:

$$\Delta p \cdot \Delta x \cong \frac{\hbar}{\lambda} \lambda \cong \hbar$$

و این خلاصه‌ای از اصل عدم قطعیت هایزنبرگ¹ است که می‌گوید:

«تعیین مقدار حرکت و تعیین وضعیت یک ذره باهم غیرممکن است»

برای تعیین مسیر حرکت الکترون به طور دقیق لازم است وضعیت و مقدار حرکت الکترون با دقت هرچه بیشتر مشخص گردد ولی اصل هایزنبرگ می‌گوید که حدی در دقت وجود دارد.

برای مشخص کردن وضعیت الکترون بنا به طول موج نور استفاده شده می‌توان دقتی در حدود 5×10^{-11} سانتی‌متر (یعنی 5°) داشت (بنابراین، مقدار اشتباه در تعیین مقدار حرکت برابر خواهد بود با:

$$\Delta p \cdot \Delta x = \frac{\hbar}{\lambda} \lambda = \hbar$$

1. Werner Hisenberg (1901) آلمان

$$\Delta P = \frac{h}{\Delta x} = \frac{6.6 \times 10^{-37}}{5 \times 10^{-10}} \cong 1 \times 10^{-17} \text{ gm.cm/sec}$$

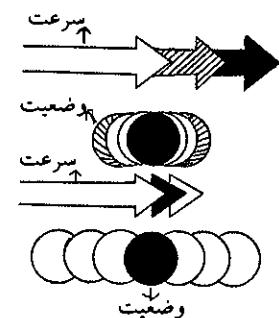
اشتباه در مقدار حرکت.

و چون جرم یک الکترون برابر است با 9×10^{-28} گرم، پس اشتباه مربوط به سرعت الکترون بوده که عبارتست از:

$$m\Delta v = \Delta P$$

$$\Delta v = \frac{\Delta P}{m} = \frac{1 \times 10^{-17}}{9 \times 10^{-28}} \cong 10^{11} \text{ cm/sec}$$

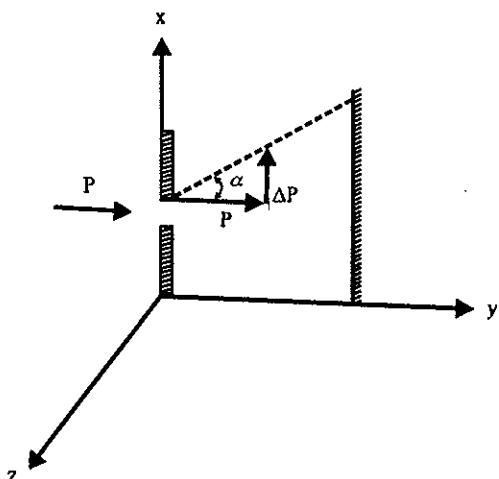
بنابراین محاسبات جزوی ملاحظه شد که در موقع تعیین وضعیت الکترون، عدم قطعیت در مورد سرعت الکترون تقریباً برابر با سرعت سیر نور بود، یعنی اشتباه برابر و یا حتی بیشتر از سرعت خود الکترون می‌باشد. پس ما به خوبی متوجه عیب نظریه سوم بوهار شدیم که می‌گفت الکترون دارای مسیر حرکت مشخص و معینی در روی مدار (اربیت) بخصوصی است.



هرچه دقت در وضعیت بیشتر باشد سرعت نامشخصتر خواهد بود و بر عکس هرچه دقت در سرعت بیشتر باشد وضعیت نامعلومتر خواهد بود.

ت) مثالی برای تعیین وضعیت یک ذره

اگر ذره‌ای به مقدار حرکت P مشخص، جرم مشخص و سرعت مشخص را از شکافی به عرض Δx در محوری مانند X تعییه شده باشد عبور دهیم می‌توان مشخصات محور X را که عمود بر مسیر حرکت ذره است با دقیقی بماندازه $\Delta X = h/\Delta P$ اندازه گرفت. بنابراین، هرچه شکاف کوچکتر باشد ΔX کوچکتر خواهد بود. موج نسبت داده شده به ذره شکستی در موقع عبور از شکاف تحمل می‌کند در یک نقطه غیرمشخص تأثیر ذره به کمک درخشناس روی صفحه‌ای که به موازات محور X است مشخص خواهد شد شکل (۲-۱۴).



شکل (۲-۱۴) آزمایشی جهت اثبات اصل عدم قطعیت.

بنابراین، ذره از مسیر خودش منحرف شده است. نتیجه اینکه مقدار حرکتش (P) بماندازه ΔP در جهت عمود تغییر کرده، بنتحوی که:

$$\frac{\Delta P}{P} = \tan \alpha \geq \sin \alpha$$

در مبحث نورشناسی طبق قانون براگ می‌دانیم در موقعی که دو موج هم فاز باشند $\lambda = b \sin \alpha$ و از آنجا:

$$\frac{\lambda}{h} = \sin \alpha = \frac{\lambda}{\Delta X} \quad \text{لذا: } h = \Delta X$$

$$\Delta P \geq \frac{\lambda}{\Delta X} \quad \Delta P \geq \frac{P\lambda}{\Delta X} = \frac{h}{\Delta X} \quad \Delta P \cdot \Delta X \geq h$$

ث) معادله شرودینگر^۱ The Schrodinger Eqnition

اروین شرودینگر نشان داد که می‌توان اصطلاح لویی دوبروی را علومیت داده و دوگانگی موج و ذره را به ذراتی که در داخل اتم پیوند شده‌اند نسبت داد (مثلاً به الکترونهای یک اتم). پایه معادله شرودینگر براساس انرژی مجاز سیستمهای فیزیکی است و محاسبه آن به کمک رابطه‌ای شبیه رابطه نظریه موجی که تابع موج Wave Equation نامیده می‌شود میسر است.

$\Psi = A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda}$ معادله موج عبارتست از دامنه یا ارتفاع موج، λ طول موج و x مختصات موج نسبت به محور X ها. اگر از رابطه تابع موج مشتق بگیریم خواهیم داشت:

$$\Psi'(x) = \frac{d\Psi}{dx} = A \frac{2\pi}{\lambda} \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$$

و مشتق مرتبه دوم آن نسبت به X عبارتست از:

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} = -A \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \quad (2-11)$$

اگر در رابطه (2-11) به جای $A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda}$ مقدار مساویش یعنی Ψ را قرار دهیم خواهیم داشت:

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} = -\frac{4\pi^2}{\lambda^2} \Psi \quad (2-12)$$

انرژی جنبشی ذره عبارتست از $E_c = \frac{1}{2} mv^2$ که m و v جرم و سرعت ذره می‌باشد. اگر طرف راست رابطه را در $\frac{m}{m}$ ضرب کنیم خواهیم داشت:

$$E_c = \frac{1}{2} \frac{m v^2}{m} \quad (2-13)$$

بنابر رابطه لویی دوبروی می‌توان به این ذره که دارای سرعت v است طول موجی نسبت داد یعنی طول موج نسبت داده شده به ذره عبارتست از:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

(پایه معادله شرودینگر متکی به طول موج متناسب به ذره و در نتیجه به کار بردن رابطه موج برای ذره است). رابطه لویی دوبروی را به توان دو رسانده:

$$m v^2 = \frac{h^2}{\lambda^2}$$

و اگر به جای $m v^2$ در رابطه (2-13) مقدار مساویش $\frac{h^2}{\lambda^2}$ را قرار دهیم:

$$E_c = \frac{1}{2} \frac{h^2}{m \lambda^2} \quad (2-14)$$

1. Erwin Schrodinger (1887-1961) اطربیش

در رابطه (۲-۱۴) مقدار λ^Y را حساب کرده و در رابطه (۲-۱۴) قراردهیم:

$$\lambda^Y = -\frac{4\pi^Y \Psi}{\frac{d^Y \Psi}{dx^Y}}$$

$$Ec = \frac{1}{2} \frac{\hbar^Y}{m} \left(-\frac{1}{4\pi^Y \Psi} \times \frac{d^Y \Psi}{dx^Y} \right)$$

$$Ec = -\frac{\hbar^Y}{8\pi^Y m \Psi} \times \frac{d^Y \Psi}{dx^Y}$$

مجموع انرژی الکترون E عبارتست از مجموع جبری انرژی جنبشی الکترون (Ec) و انرژی پتانسیلش (V).

$$Ec + V = E \quad Ec = E - V$$

$$Ec = -\frac{\hbar^Y}{8\pi^Y m \Psi} \times \frac{d^Y \Psi}{dx^Y} = E - V$$

و از آنجا:

$$\frac{d^Y \Psi}{dx^Y} = -\frac{8\pi^Y m \Psi}{\hbar^Y} (E - V)$$

و یا به صورت دیگر:

$$\frac{d^Y \Psi}{dx^Y} + \frac{8\pi^Y m \Psi}{\hbar^Y} (E - V) = 0$$

اگر طرفین را در Ψ ضرب کرده و V را به طرف چپ رابطه ببریم:

$$-\frac{\hbar^Y}{8\pi^Y m \Psi} \times \frac{d^Y \Psi}{dx^Y} + V\Psi = E\Psi$$

این عبارت رابطه شرویدینگر را در مختصات یک بعدی نشان می‌دهد و اگر این رابطه را برای یک دستگاه مختصات سه بعدی (دستگاه دکارتی) در نظر بگیریم رابطه به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$\frac{d^X \Psi}{dx^X} + \frac{d^Y \Psi}{dy^Y} + \frac{d^Z \Psi}{dz^Z} + \frac{8\pi^Y m \Psi}{\hbar^Y} (E - V) = 0$$

حرکت یک ذره در یک مسیر مشخص (مثلاً مسیر X) به وسیله معادله شرویدینگر به ترتیب فوق بیان می‌شود. مقادیر مشخص در این رابطه عبارتند از: m جرم ذره و V انرژی پتانسیل ذره نسبت به X و مقادیر نامشخص عبارتند از E انرژی کوانتیده یا انرژی مجاز ذره و Ψ تابع موج Wave Function. مادامی که این رابطه را در مورد سیستمهای حقیقی مثلاً اتم هیدروژن استعمال می‌کنیم رابطه غیرقابل حل می‌باشد مگر اینکه ارزش E مربوط به اعداد کامل یا کوانتایی باشد و بدین ترتیب انرژی کوانتیده و اعداد کوانتایی از نظریه شرویدینگر متنج می‌گردد نه از مکانیک نیوتون که بوهر در نظر گرفته بود.

۷ چیست؟

هیچ تعریف بخصوصی ندارد با وجود این مربع قدر مطلق آن یعنی $|\Psi|$ اهمیت زیادی در فیزیک دارد، یک اصطلاح ریاضی است برای پیدا کردن احتمال یک ذره یعنی عبارتست از احتمال وجود ذره متغیر از محلی به محل دیگر.

The Heyrogen Atom (۸)

با استفاده از رابطه شرویدینگر مطالعه دقیق نظری از اتم هیدروژن شده و نتایج آن کاملاً

مطابق نتایج حاصله از تجارت عملی است، بعلاوه این مطالعات صحت مکانیک موجی را ثابت کردند.

برای دریافت روابط موجود بین خواص اتم و وضعیت قرار گرفتن اتمها در جدول تناوبی و شناختن پیوندهای شیمیایی، لازم است به طور کامل وضع قرار گرفتن الکترون را در اتم هیدروژن دانست و بعد آن را عمومیت داده و وضع قرار گرفتن الکترون‌های سایر عناصر را در اتم آنها تشخیص داد. در نظریه بوهر لازم بود وجود اعداد کوانتایی را فرض کنیم ولی در مکانیک موجی مدرن این طور نیست. فقط کافی است که رابطه شرودینگر را برای اتم هیدروژن در نظر بگیریم، اعداد کوانتایی یا پیمانه‌ای خود به خود مثل یک نتیجه ریاضی ظاهر می‌شوند. چهار عدد کوانتایی، انرژی و وضعیت الکترونی اتم را مشخص می‌کنند. این اعداد بر طبق نظریه بوهر مفاهیمی مخصوص به خود و تا اندازه‌ای نادرست دارند، با وجود این در شناخت وضعیت قرار گرفتن الکترونها در اتم ما را کمک می‌نمایند، لذا آنها را همانطور که بوهر در نظر گرفته، بیان و سپس با تشریح حل معادله شرودینگر همین اعداد خود به خود حاصل و آنها را در قیافه جدید و کاملاً درست دوباره خواهیم شناخت.

۱. عدد کوانتومی اصلی (n) The Principal Quantum Number

عدد کوانتومی اصلی (n) یا ترازهای مختلف انرژی ممکن که به ازای آنها الکترون می‌تواند حول محور مستقری بگردد. n عبارتست از عددی کامل و مثبت (۱، ۲، ۳، ۴) به ازای کمترین مقدار n الکترون نیز دارای کمترین مقدار انرژی است. از کلیه اعداد مهمتر بوده زیرا که مقدار آن انرژی پیوند الکترون اتم هیدروژن و یا دیگر اتمهای یک الکترونی را که دارای بار هسته‌ای z می‌باشند مطابق رابطه زیر معلوم می‌دارد.

$$E = -\frac{2\pi^2 me^4 z^2}{n^2 h^2}$$

در این رابطه m و e به ترتیب عبارتند از جرم و بار الکترون و این رابطه از حل معادله شرودینگر حاصل شده و همان نتیجه‌ای است که بوهر از فرضیه‌هایی که چندان درست نبودند به دست آورده بود.

۲. عدد کوانتومی سمتی یا اندازه حرکت زاویه‌ای (L)

The Angular-Momentum Quantum Number

بنا به نظریه اتمی بوهر یک مدار دایره‌ای حالت استثنایی گردش الکترون به دور هسته می‌باشد. حالت عمومی عبارت از مداری‌پیشی است که هسته در یکی از کانونهای آن قرار دارد.

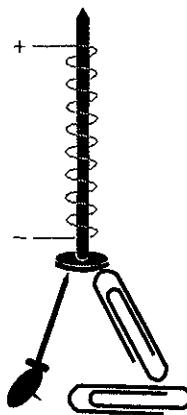
در روی یک مدار بیضی شکل سرعت الکترون نمی‌تواند ثابت باشد و از آنجا تغییرات انرژی جنبشی حاصل گشته و این تغییرات پیمانه‌ای (کوانتیده) می‌باشند، بنابراین، برای الکترون تنها بعضی از مدارهای بیضی شکل استثنایی مجاز می‌باشند. بدین ترتیب دو میان عدد کوانتومی اندازه حرکت زاویه‌ای (l) نامیده می‌شود که ضریب بیضی بودن مدار را تعیین می‌کند. زیادترین مقدار آن متناسب با اندازه حرکت زاویه‌ای خیلی زیاد است. چون الکترون دارای اندازه حرکت زاویه‌ای است حتماً دارای انرژی جنبشی حاصله از تحرک دورانی می‌باشند. پس مقدار حرکت (P = m.v) محدود می‌شود به مجموع انرژی الکترون و لذا حیرت‌انگیز نخواهد بود اگر نظریه مقدار اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون (l) را محدود به

مقدار n می‌نماید، نظریه و تجربه نشان می‌دهند که امی تواند تمام مقادیر ممکن کامل شامل صفر تا $(n=0)$ را داشته باشد یعنی $(n=0, 1, 2, \dots)$

۳. عدد کوانتومی مغناطیسی (m)

می‌توان یک الکترون را با اندازه حرکت زاویه‌ای اش شبیه جریان الکتریکی که در سیم حلقه‌ای دوری جریان دارد مجسم نمود. چون جریان الکتریکی در داخل حلقه تولید میدان مغناطیسی می‌کند، لذا می‌توان گفت تحرک الکترون در یک مدار مسدود نیز میدان مغناطیسی ایجاد می‌نماید. مقدار m مشخص کننده این مغناطیسی است و چون m حاصل از اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون می‌باشد لذا مقدار مجاز آن مربوط به ارزش عدد کوانتومی اندازه حرکت زاویه‌ای امی باشد. نظریه و تجربه نشان می‌دهند که m می‌تواند کلیه ارزش‌های عددی کامل بین -1 و $+1$ به انضمام صفر را داشته باشد. بدین واسطه ارزش m عبارتست از $(m=-1, 0, +1)$:

او (-1) و 0 ، 1 ، 2 ... \dots $0, 1, 2, \dots, (-1)$

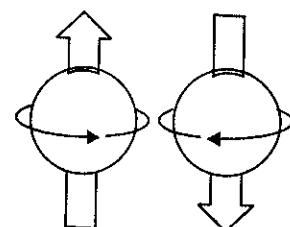


(a) مسقیعی که مدار الکتریکی در اطراف میخ آهنی در جریان است خاصیت مغناطیسی در آهن به وجود می‌آید.

۴. عدد کوانتومی اسپین (S)

The Spin Quantum Number

الکترون علاوه بر ایجاد میدان مغناطیسی حاصله از تحرک دورانی خود شبیه آهنربای کوچکی عمل می‌کند و بدین جهت گوییم که الکترون دارای اسپین است. لفت To Spin انگلیسی به معنای چرخیدن و عبارتست از اندازه حرکت دورانی یک ذره روی خودش و مقدار آن برای ذرات بنیادی کاملاً مشخص و محدود می‌باشد و ارزش آن عدد کامل یا نیمه کاملی است. ذراتی که اسپین آنها نیمه کامل می‌باشد ($\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{2}$ و غیره) Fermion نام داده می‌شوند و ذراتی که اسپین آنها عدد کامل است (1 و 2 و 3 و غیره) Boson نامیده می‌شوند. الکترون و پروتون و نوترون جزو دسته فرمیون هستند، یعنی اسپین آنها برابر با $\frac{1}{2}$ است. چون ارزش n مقدار ارا تعیین و ابه نوبه خود ارزش مجاز m را معین می‌نماید بنابراین، ممکن است ترکیبات بخصوصی از اعداد کوانتومی وجود داشته باشند. به عنوان مثال پایین ترین تراز انرژی اتم هیدروژن (حالت اصلی و پایدار) یعنی حالتی که در آن $n = 1$ است را در نظر می‌گیریم. چون ارزش امحدود به صفر و $(-1, 0, +1)$ است بنابراین، (1) نمی‌تواند بیشتر از یک مقدار داشته باشد و آن هم $= 0$ است. مقدار ارزش مجاز m را تعیین می‌کند، نظر به اینکه به ازای $(n=1)$ مقدار m معلوم می‌شود، $(2 \times 0 + 1)$ لذا ارزش مجاز m عبارتست از $(m=0, \pm 1)$ و بالاخره هرچه مقدار $n=1$ باشد $S=1/2$. بدینسان اتم هیدروژن فقط به دو صورت می‌تواند در حالت اصلی و پایدار خود وجود داشته باشد که به ترتیب عبارت از ارزش‌های $m=0$ و $m=\pm 1/2$ می‌باشد.

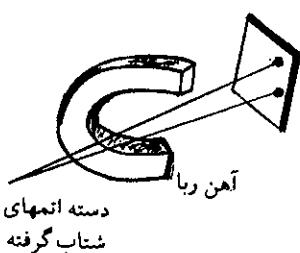


(b) الکtron نیز موقعي که به دور خود. حرکت می‌کند خاصیت مغناطیسی ایجاد می‌کند. مشابه آهن ریای بینهایت کوچکی عمل می‌کند اندازه حرکت مغناطیسی آن بر حسب گردش آن می‌تواند مقادیر $\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{2}$ - مغناطیس بود را داشته باشد.

$n \quad l \quad m \quad s$

$1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1/2$

ترکیبات دیگر متناسب با حالت تحریکی اتم هیدروژن است اگر الکترون تحریک شده (یعنی مقداری انرژی اضافی کسب کرده باشد) و به جای حالت اصلی و پایدار خود، در حالت تحریکی بسر برد، اولاً شماره تراز آن تغییر خواهد کرد، مثلاً الکترون با کسب یک کوانتا انرژی ($h\nu$) از تراز $n=1$ به تراز $n=2$ رفته است، ثانیاً عدد کوانتومی سمتی (اندازه



آزمایش اشتترن Stern و گرلاخ Gerlach پیمانه‌ای بودن اسپین را مشخص می‌کند.

در این آزمایش دسته اتمهای شتاب گرفته در حین عبور از داخل یک آهن ریا به دو دسته متضاد از هم بر حسب قطب‌های آهن ریا تقسیم می‌شوند زیرا برخی از اتمها اسپین + و برخی اسپین - دارند.

حرکت زاویه‌ای α می‌تواند مقادیر بین صفر و $(n-1)$ را داشته باشد. لذا ارزش‌های آن نیز به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$1 = 1 = (2-1) = 1$$

اگر $n=0$ باشد تنها ارزش مجاز m صفر است و نیز S دارای ارزش‌های $\frac{1}{2}$ می‌باشد و اگر $n=1$ باشد ارزش‌های مجاز m عبارتند از: $1, 0, -1$ و باز S برابر $\frac{1}{2}$ است. بنابراین، به هشت صورت مختلف الکترون اتم هیدروژن می‌تواند در حالت $n=2$ وجود داشته باشد. این هشت ترکیب اعداد کوانتمی، متناسب با یک انرژی می‌باشد، ترکیبات ممکن برای ترازهای دیگر (n ‌های مختلف) در جدول (۲-۲) گنجانده شده‌اند.

موقعی که الکترون اتم هیدروژن بیشتر تحریک شده است یعنی دو پیمانه انرژی ($h\nu$) کسب نماید به جای اینکه در تراز اصلی خود $n=1$ باشد در تراز $n=2$ قرار می‌گیرد؛ در این حالت ارزش (l) متناسب است با مقادیر $0, 1, 2$ لذا تعداد بیشتری ترکیب برای اعداد کوانتمی وجود دارد که عبارتند از 18 .

قشر	n	$0 \leq l \leq n-1$	$-l \leq m \leq +l$	تعداد ماکرویم $\frac{2l+1}{2}$ الکترون	نوع اوربیتال	$n+l$
K	1	$0(s)$	0	2	$1s^2$	1
L	2	$0(s)$ $1(p)$	0 $-1, 0, +1$	2 6	$2s^2$ $2p^6$	2 3
M	3	$0(s)$ $1(p)$ $2(d)$	0 $-1, 0, +1$ $-2, -1, 0, +1, +2$	2 6 10	$3s^2$ $3p^6$ $3d^{10}$	3 4 5
N	4	$0(s)$ $1(p)$ $2(d)$ $3(f)$	0 $-1, 0, +1$ $-2, -1, 0, +1, +2$ $-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$	2 6 10 14	$4s^2$ $4p^6$ $4d^{10}$ $4f^{14}$	4 5 6 7
0	5	$0(s)$	0		$5s^2$	5

جدول (۲-۲) ترکیبات اعداد کوانتمی و اوربیتال‌های مربوطه

اصلی در پر شدن اوربیتال اتمهای چند الکترونی حاکم است که به طور خلاصه آنها را به صورت زیر توضیح می‌دهیم.

(b) اصل طرد پاولی^۱ Pauli Exclusion Principle^۱

در یک اتم دو الکترون نمی‌توانند چهار عدد کوانتمی مشابه به هم داشته باشند. باید حداقل در اسپین متفاوت از هم باشند، اگر یکی اسپین $\frac{1}{2}$ دارد دیگری باید اسپین $-\frac{1}{2}$ داشته باشد.

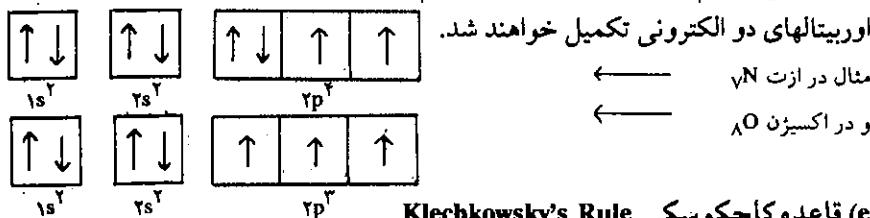
1. Wolfgang Pauli (1900-1958) سوئیس

c) اصل پایداری Stability Principle

بنابر اصل پایداری، پرشدن قشرهای الکترونی باید به طور پی در پی و به نحوی که اتس انرژی مینیمم را داشته باشد انجام گیرد. و چون با افزایش n ارزش E_n افزوده می‌شود، بنابراین باید قشرهای نزدیک‌تر به هسته در ابتدا پرشوند. ولی اگر در ترازهای $(n-1)$ و n حالتی پیش آید که الکترونها مزاحم یکدیگر شوند و یا اختلاف انرژی در این تراز نزدیک به هم باشد، الکترون بعدی می‌تواند در قشر n یعنی قبل از اینکه قشر $(n-1)$ کامل شود مستقر گرددند. جدول (۲-۲) این مسئله را در مورد پرشدن اوربیتالهای $4S^2$ قبل از پرشدن اوربیتالهای $3d^{10}$ نشان می‌دهد.

d) قاعدة هوند Hund's Rule

موقعی که تمام اوربیتالهای یک قشر هر کدام یک الکtron پذیرفته‌اند فقط در این صورت

**e) قاعدة کلچکوسکی Klechkowsky's Rule**

در موقعی تکمیل جدول آرایش اتمها باید توجه داشت که ترازها بر اساس ترتیب صعودی $(n+1)$ پر می‌شوند. در حالتی که در آن $(n+1)$ دو ارزش مشابه دارند الکترونها به ترتیب صعودی قرار می‌گیرند جدول (۲-۲) کاربردی است از اصول و قواعد فوق. مشاهده می‌شود که در قشری به انرژی E_n حرف امی تواند مقادیر $(n-1)^2$ و ... و 2 و 1 و 0 را داشته باشند و ارزش‌های m عبارتند از 5 و 3 و 1 یعنی $(2n-1)$ یا به طور مجموع $n^2 = n^2 - 1 + 3 + 5 + \dots + (2n-1)$ بنابر این یک قشر نمی‌تواند بیشتر از n^2 اوربیتال و یا $2n^2$ الکترون داشته باشد. یعنی 2 الکtron برای قشر k و 8 الکtron برای قشر L و 18 الکترون برای قشر M و بالاخره 32 الکترون برای قشر N . فلشهای واقع در ستون $(n+1)$ جدول (۲-۲) ترتیب پرشدن اوربیتالها را بر حسب قاعدة کلچکوسکی نشان می‌دهد.

ج) مکانیک موجی و احتمال وجود الکترون

مکانیک موجی احتمال وجود الکترون را در هر نقطه از فضا یا عبارت ریاضی ψ^2 نشان می‌دهد. بنابر اصل عدم قطعیت دانستنیهای ما نسب به وضعیت و سرعت الکترون محدود است ولی می‌توان به کمک ψ^2 ، احتمال وجود الکترون را در هر نقطه از فضا تعیین کرد و همین اندازه اطلاع درباره وضعیت الکترون برای تشریح ساختار الکترونی ماده کافی به نظر می‌رسد.

اصلی کلی که از قواعد پرشدن اوربیتالها بسته‌دست می‌آید این است که هر قشر الکترونی اتم نمی‌تواند بیشتر از n^2 اوربیتال و یا $2n^2$ الکترون داشته باشد.

برای اینکه معلومات خود را نسبت به نظریه وجود اوربیتال و اعداد کواتنومی روشن تر نماییم لازم است حل معادله شرودینگر را برای اتمهای یک الکترونی بررسی کنیم. جدول (۲-۳) حل معادله شرودینگر را برای ترازهای مختلف انرژی نشان می‌دهد.

توابع موج بر حسب دستگاههای مختصات قطبی کروی به مبدأ هسته بیان شده است.^۱

$$\Psi(1S) = \left(\frac{1}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{z}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{zr}{a_0}}$$

$$\Psi(2S) = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{z}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(2 - \frac{2r}{a_0}\right) \cdot e^{-\frac{zr}{a_0}}$$

$$\Psi(2px) = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{z}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2r}{a_0}\right) \cdot e^{-\frac{zr}{2a_0 \sin\theta \cos\phi}}$$

$$\Psi(2py) = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{z}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2r}{a_0}\right) \cdot e^{-\frac{zr}{2a_0 \sin\theta \sin\phi}}$$

$$\Psi(2pz) = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{z}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2r}{a_0}\right) \cdot e^{-\frac{zr}{2a_0 \cos\theta}}$$

$$a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} = 0.029 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

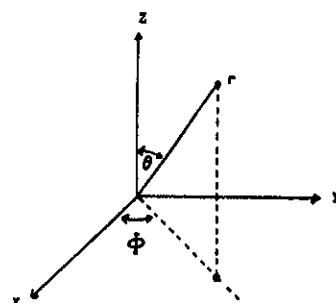
جدول (۲-۳) حل معادله شرودینگر برای اتمهای نک الکترونی

این معادلات فرضی نبوده و از حل معادله شرودینگر حاصل گشته و کافی است مریع آنها یعنی $|\Psi|$ را محاسبه نموده تا احتمال وجود الکترون در تمام نقاط مختلف فضا به دست آید. به عنوان مثال $|\Psi|$ برای یک الکترون در اوربیتال S عبارتست از:

$$a_0 = 0.029 \text{ A}^\circ \quad |\Psi|^2(1S) = \left(\frac{1}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{zr}{a_0}}$$

با گذاشتن مقادیر عددی مختلف به ازای r در این رابطه احتمال وجود الکترون (1S) را در واحد حجم (به ازای مقدار Δr) به دست می‌آوریم. یعنی اگر Δr را برابر با $A^\circ / 5$ در نظر گیریم، به اندازه X درصد احتمال وجود الکترون در واحد حجم به دست می‌آید. تنها از روی شکل رابطه می‌توانیم بفهمیم که احتمال وجود الکترون ۱S مستقل از مختصات زاویه‌ای θ و ϕ است، مضاراً اینکه با زیاد شدن Δr مقدار X به صورت یکنواخت کاهش می‌یابد و حال آنکه برای اوربیتالهای P و d و f این احتمال مستقل از مختصات زاویه‌ای θ و ϕ نمی‌باشد. به کمک مکانیک موجی می‌توان به طور دقیق احتمال وجود الکترون را در دو نقطه از

$$\begin{aligned} x &= a \cos \phi \\ a &= r \cos \alpha \\ a &= r \sin \theta \\ x &= r \sin \theta \cos \phi \\ y &= r \sin \phi \\ y &= r \sin \theta \cos \phi \\ z &= r \cos \theta \end{aligned}$$



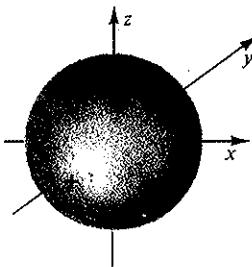
۱. مختصات قطبی کروی

فضا حساب کرد. ولی مکانیک موجی قادر به بیان چگونگی نقل مکان الکترون از یکی از این نقاط به دیگری نمی‌باشد. بنابراین، عقیده اوربیت یا مدار الکترونی می‌باید مطروه گردد و به جای آن وضعیت مکانی را که در آن مکان احتمال وجود الکترون از سایر نقاط بیشتر باشد قرار داد. در واقع تصویر مجموعه احتمال وجود یک الکترون در نقاط مختلف فضا اوربیتال یا لانه الکترونی نامیده می‌شود.

بنابر محاسبه احتمال وجود الکترون، اوربیتالهای مختلفی می‌توانند وجود داشته باشند که هر کدام از آنها متناسب با یکی از ترکیبات اعداد کوانتموی است. می‌توان اوربیتالها را بر حسب ارزش اعداد کوانتموی n و آنیز ترتیب داده و برای اینکه در مقادیر مختلف اشتباہی رخ ندهد به جای اعداد، ارزشها را به حروف نشان می‌دهند. بنابراین الکترونها بیان را که در اوربیتال $n=1$ می‌باشند به صورت S و آنها بیان را که در اوربیتالهای $n=2$ می‌باشند به p و آنها بیان را که دارای $n=3$ می‌باشند به d نمایش می‌دهند و آنیز اعداد مشخص کننده ترازها را ضریب حروف مشخص کننده اوربیتالها قرار می‌دهند. مثلاً $1s$ مشخص کننده تراز اول و اوربیتال $2s$ است (حالت اصلی و پایدار اتم هیدروژن) و $2p$ مشخص کننده تراز دوم و اوربیتال $3p$ می‌باشد. مشخصات سایر ترازها و اوربیتالها در جدول (۲-۲) صفحه ۶۴ گنجانده شده است.

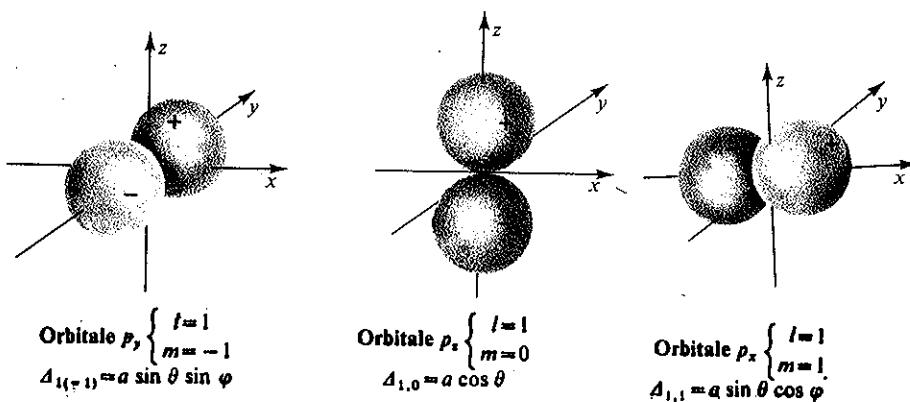
ج) شکل اوربیتالها

حل معادله شرودینگر نشان می‌دهد که به ازای کلیه مقادیر n اوربیتالهایی که برای آنها $=1$ است (یعنی اوربیتالهای $1s$) شکل اوربیتال کروی بوده و هسته در مرکز این کره قرار دارد. احتمال وجود الکترون مثل ابری کروی هسته را در شعاع مشخص و محدودی فراگرفته است.



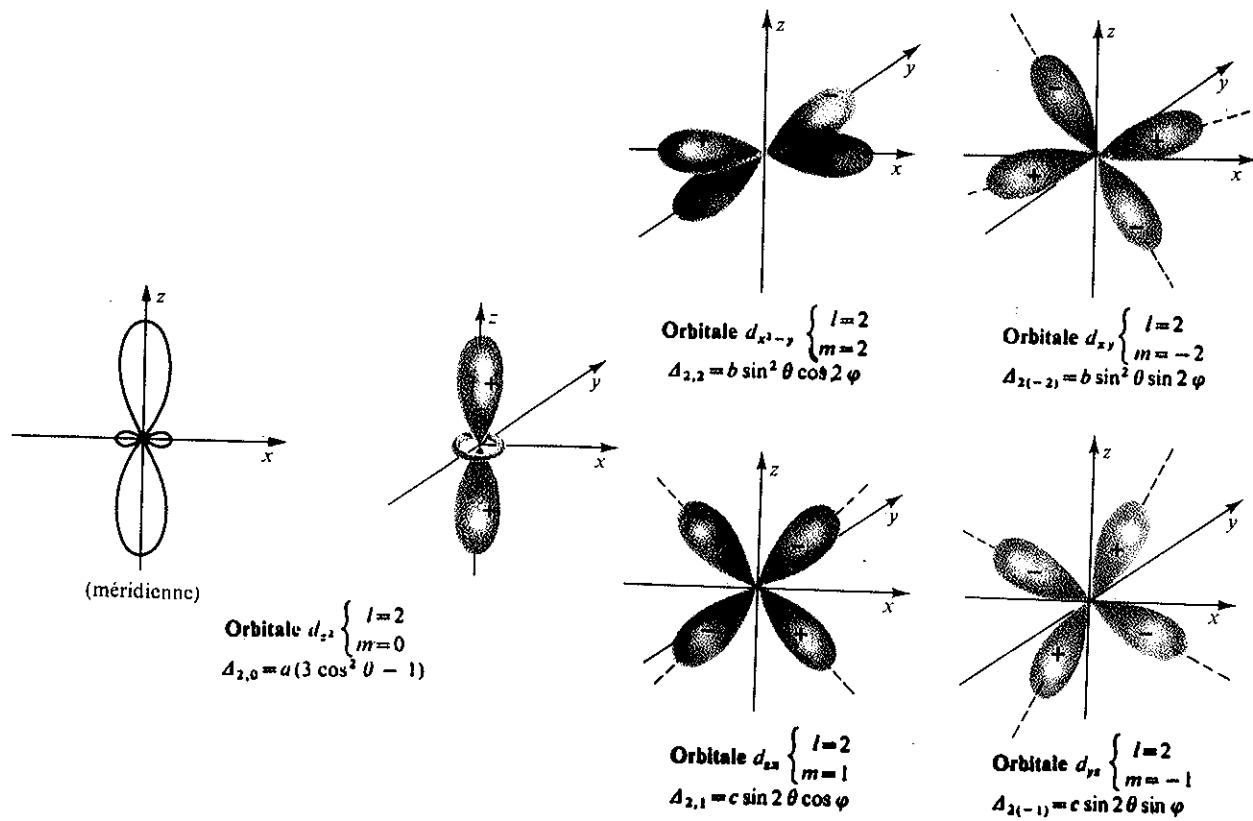
شکل (۲-۱۵) اوربیتال S

احتمال وجود یک الکترون در لانه یا اوربیتال s مستقیماً مربوط به فاصله الکترون از هسته است، ولی در مورد اوربیتالهای p این موضوع صادق نیست. سطح $|\Psi|^2$ عبارتست از دو کره شلجمی روی محوری قرینه که هسته در مرکز آن قرار دارد. چون به ازای $l=1$ مقادیر m عبارتند از $+1, 0, -1$ ، یعنی سه مقدار داشته لذا سه اوربیتال وجود دارد. این سه اوربیتال کاملاً شبیه یکدیگر بوده با اختلاف اینکه روی محورهای مختلفی نسبت به هسته قرار گرفته‌اند، اغلب این اوربیتالها را به صورت P_x و P_y و P_z نشان می‌دهند. برای یک الکترون واقع در تراز $n=3$ (تراز سوم) می‌تواند مقادیر $0, 1$ و 2 را داشته باشد. لذا، می‌تواند اوربیتالهای $3s$ و $3p$ و $3d$ را اشغال نماید. چون به ازای $l=2$ می‌تواند پنج مقدار داشته باشد بنابراین، پنج اوربیتال d وجود دارد. این اوربیتالها نیز شبیه اوربیتالهای p روی محورهای x و y و z و در بین این محورها قرار گرفته‌اند. شکل‌های



شکل (۲-۱۶) اوربیتالهای P

(۲-۱۵)، (۲-۱۶) و (۲-۱۷) به ترتیب اوربیتالهای s و p و d را نشان می‌دهند. حال که ما شکل اوربیتالها را شناختیم، به خوبی مفهوم توزیع شعاعی احتمال وجود الکترون یا radial probability distribution of the electron را درک می‌نماییم که عبارتست از احتمال وجود الکترون در هر حجم کروی به شعاع r از هسته و به ضخامت dr (ضخامت قشر کروی). به کمک محاسبه احتمال شعاعی وجود الکترون می‌خواهیم بدانیم که احتمال وجود الکترون در هر نقطه از نقاط واقع در اطراف هسته بین r و $r+dr$ چقدر است؟ بنابراین،

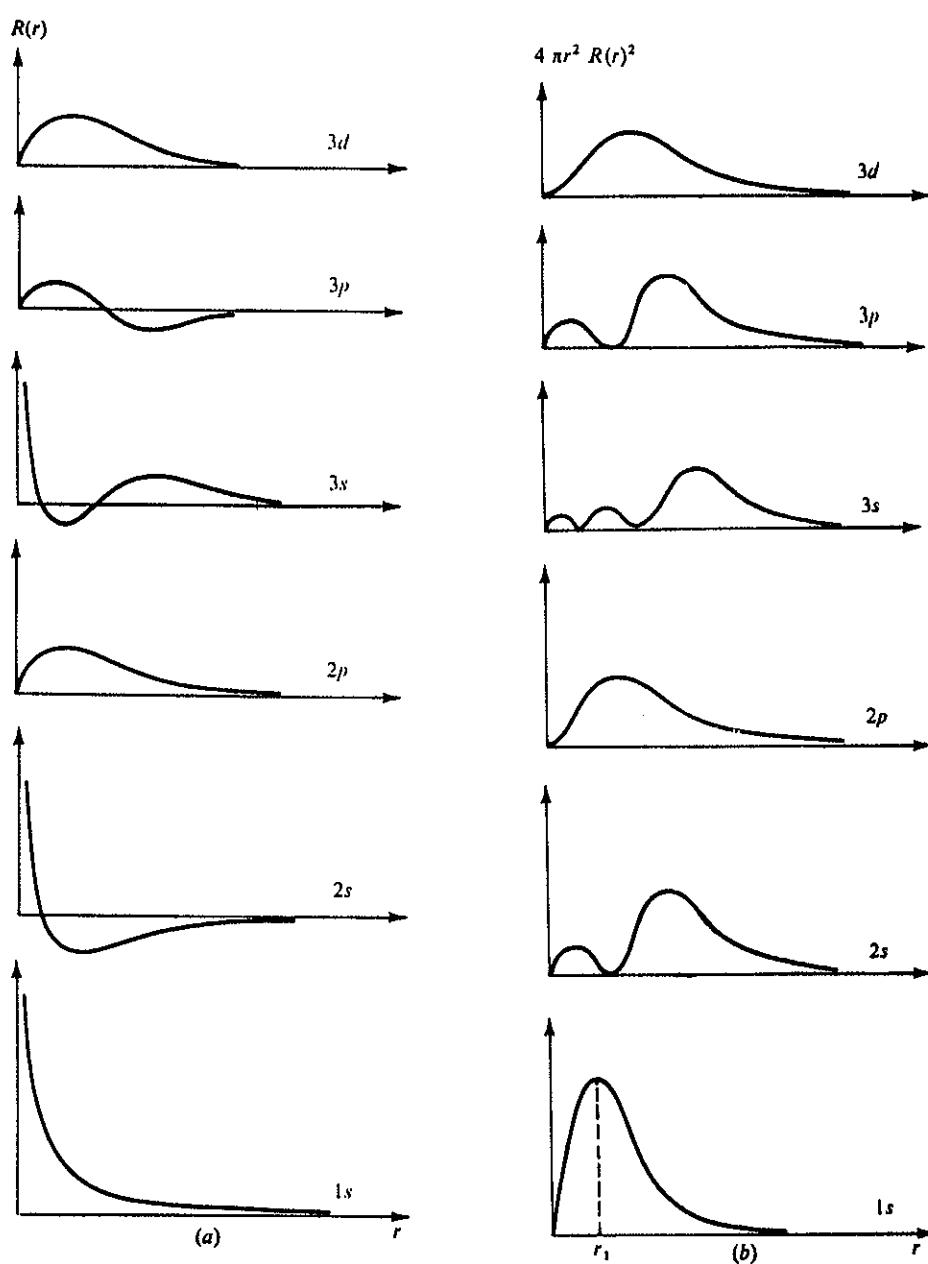


شکل (۲-۱۷) اوربیتالهای d

احتمال وجود شعاعی الکترون عبارتست از $|\Psi|^2$ ضربدر حجم یک قشر کروی یعنی:
 $4\pi r^2 \cdot |\Psi|^2 dr$

منحنیهای شکل (۲-۱۸) نشان می‌دهند که چگونه احتمال وجود شعاعی الکترون مربوط به فاصله الکترون از هسته می‌گردد.

در این منحنیها محور y ‌ها متناسب با $|\Psi|^2$ و محور x ‌ها عبارتست از شعاع اوربیتال نسبت به هسته که در مبدأ مختصات قرار گرفته است و مقیاسها همه یکسان می‌باشند. در مورد اتم هیدروژن ماکزیمم احتمال برای $A^\circ = 53/0^\circ$ است و همان شعاع مداری است که



شکل (۲-۱۸) توزیع شعاعی احتمال وجود الکترون جهت اوربیتالهای مختلف

در اتم بوهر به دست آمد. بنابراین، متوجه می‌شویم مداری که بوهر بر طبق فرضیه‌هایش به دست آورده بود مداری است که احتمال وجود الکترون در آن از سایر مدارها بیشتر است با وجود این در سایر مدارها نیز احتمالی برای وجود الکترون میسر می‌باشد. برای اتمهای چند الکترونی احتمال شعاعی (radial Probability) به ازای ارزش‌های r که مربوط به قشرهای مختلف آن است معلوم می‌شود و همانطور که در منحنیهای فوق مشاهده می‌شود مربوط به نوع اوربیتال و یا ارزش n است. طبق معادله زیر به ازای ارزش $n=1$ یا اوربیتال $1s$ مقدار متوسط r مستقیماً مربوط به شعاع الکترون از هسته است:

$$\bar{r} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2 z}$$

ولی به ازای ارزش‌های دیگر امقدار متوسط r عبارتست از:

$$\bar{r} = \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{n^2} (1 + 1) \right] \right\} \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2 z}$$

در عمل کافی است حجمی را که در آن احتمال وجود الکترون زیاد است شناخت زیرا سطحی که این حجم را محدود می‌کند اوربیتال و یا لانه الکترونی نامیده می‌شود. معمولاً موقعی که مجموع احتمال وجود الکترون در حجمی به 95 درصد می‌رسد، این حجم را اوربیتال گویند (یعنی حجمی که در آن 95 درصد شناس برای وجود الکترونی میسر است و یا بهتر حجمی که در آن 95 درصد بار الکتریکی یک الکترون منتشر است).

ح) اتمهای چند الکترونی Multi - electron Atoms

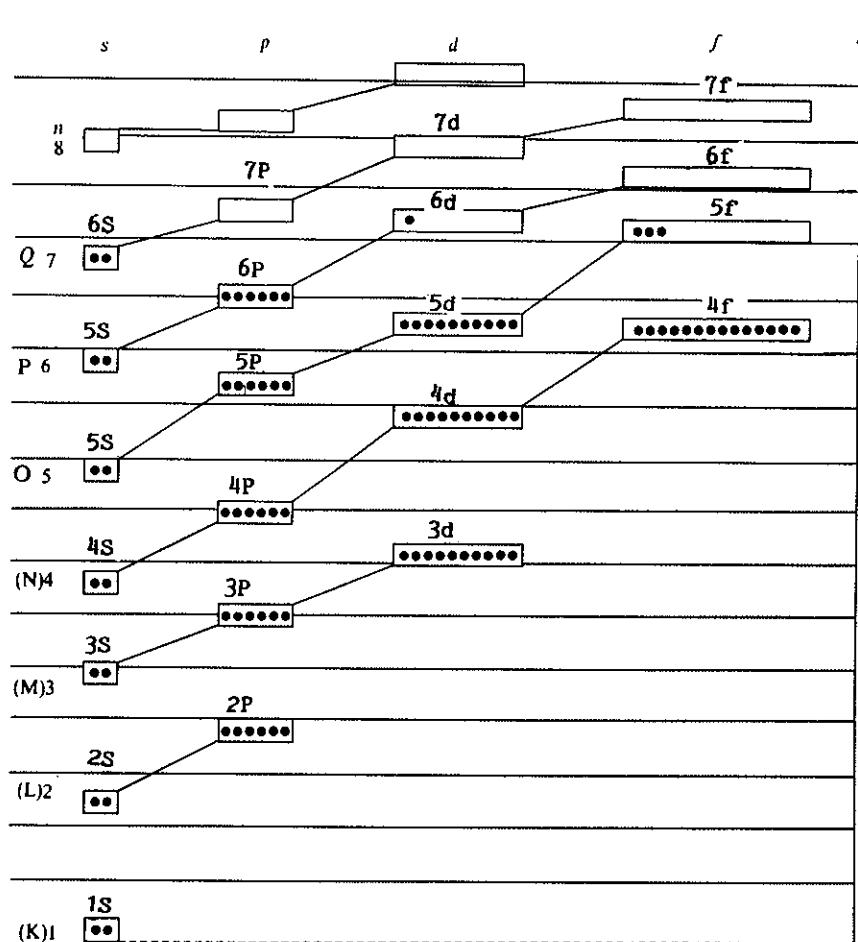
از نظر ریاضی کاربرد مکانیک موجی در مورد اتمهای چند الکترونی بسیار دشوار می‌باشد. ولی به طور تقریب قریب بیقین می‌توان اوربیتالهای الکترونی را که در مورد اتم هیدروژن مشاهده و مطالعه کردیم، در مورد اتمهای چند الکترونی در نظر گرفت. نتایج نظری این موضوع کاملاً با نتایج تجربی مطابقت می‌کند و بدین دلیل است که گفته شد، به طور تقریب قریب بیقین.

همانطور که قبلاً بیان گردید، عدد کواتنومی اصلی n اهمیت زیادی از نظر تعیین انرژی اوربیتالها دارد و ا عدد کواتنومی ثانوی نیز تعیین کننده شکل اوربیتال و انرژی الکترون می‌باشد. در یک اتم چند الکترونی، الکترون $2p$ انرژی بیشتری از الکترون $2s$ دارد و نیز انرژی الکترون $3d$ بیشتر از انرژی الکترون $2p$ است و این نیز به نوبه خود انرژی بیشتری نسبت به الکترون $3s$ دارد. یکی دیگر از مشخصات مهم اتمهای چند الکترونی این است که هر الکترون یک سری اعداد کواتنومی مستقل و منحصر به فرد دارد، یا بهتر هر الکترون دارای یک ترکیب از اعداد کواتنومی s و m و l و m_l است که کاملاً متفاوت با اعداد کواتنومی متعلق به الکترونهای دیگر می‌باشد و این مطلب همانطور که قبلاً گفته شده عبارت از اصل طرد پاولی می‌باشد. بر این اصل هنوز نمی‌توان توجیهی داد، درست مثل دو بار الکتریکی مشابه که طبق قانون کولن یکدیگر را دفع می‌کنند و یا نیروی گرانشی چیست؟ و نمی‌توان گفت به چه دلیل. نتیجه دیگری که از اصل طرد پاولی به دست می‌آید این است که بگوییم یک اوربیتال (لانه الکترونی) نمی‌تواند بیش از دو الکترون را در خود جای دهد و نیز حتی در یک اوربیتال مشخص که دارای دو الکترون به ارزش‌های مشخص n و m_l می‌باشد، الکترونها باهم از نظر اسپین متفاوتند، یکی از آنها اسپین $\frac{1}{2}$ و دیگری اسپین $-\frac{1}{2}$ دارد و یا به طور خلاصه دو الکترون نمی‌توانند در یک اوربیتال وجود داشته باشند مگر اینکه اسپین آنها متفاوت باشد.

۲-۳ مشخصات درونی اتمها

الف) آرایش اوربیتال‌ها و جدول تناوبی

نتیجه بسیار جالبی که از نظریه ساختار الکترونی اتم می‌توان گرفت، عبارتست از فهم و درک خواص شیمیایی عناصر و توجیه خواص شیمیایی و فیزیکی آنها بر حسب تغییرات عدد اتمی و تعداد الکترون به انرژی‌های مشخص که هر یک اوربیتال‌های بخصوصی را اشغال می‌کنند، لذا باید وضع قرار گرفتن الکترونها را در اوربیتال‌های مختلف چه از نظر انرژی و چه از نظر تعداد دانست، بدین منظور ابتدا هسته‌ای به بار الکتریکی مثبت با اوربیتال‌های خالی از

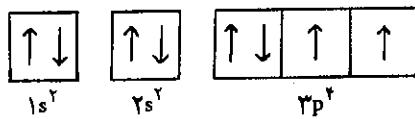


شکل (۲-۱۹) آرایش اوربیتال‌های سنگین‌ترین عنصر طبیعی یعنی اورانیم U_{۹۲} پروتون و ۹۲ الکترون دارد. خطوط افقی ترازهای انرژی را مشخص می‌کنند حتی اگر اوربیتالی مربوط به قشر ما قبل باشد و در بالای این ترازها قرار گیرد هر نمی‌گردد.

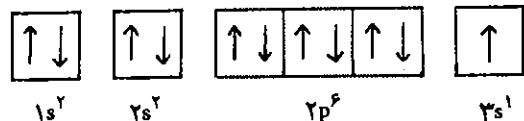
الکترون در اطراف هسته مجسم نموده و سپس به تعداد بارهای هسته، بر حسب انرژی صعودی در اوربیتال‌ها الکترون قرار می‌دهیم. با درنظر گرفتن اصل طرد پاولی (در هر اوربیتال بیش از دو الکترون جای نمی‌گیرد) شکل (۲-۱۹) که وضع اوربیتال‌ها را از نظر انرژی صعودی آنها نشان می‌دهد، رسم می‌نماییم.

این شکل، کیفیت صحیح کلیه اتمهای ساده و خنثی را نشان می‌دهد. در موقع ترسیم این شکل باید خیلی محاط بود زیرا محل هر اوربیتال چگونگی انرژی الکترون را در آن اوربیتال مشخص می‌کند. از طرف دیگر وقتی ما اوربیتال را مجسم می‌کنیم باید الکترونی در آن وجود داشته باشد یعنی اوربیتال بدون الکترون وجود خارجی ندارد و یا به عبارت دیگر تا زمانی که الکترون وجود نداشته باشد اوربیتال وجود نخواهد داشت. با چند مثال مطلب را روشنتر می‌کنیم.

اتم اکسیژن که هسته‌اش مشکل از ۸ بروتون و تعدادی نوترون (۸ یا ۹ یا ۱۰) است ۸ بار مثبت در هسته دارد، لذا برای به وجود آوردن اتم خنثی، اتم اکسیژن باید هشت الکترون داشته باشد. بنابراین، دو الکترون اوربیتال ۱s را پر می‌کنند و دو الکترون بعدی اوربیتال ۲s و بالاخره چهار الکترون دیگر بین سه اوربیتال ۲p تقسیم می‌شوند و درنتیجه می‌توان گفت که الکترونها اتم اکسیژن به صورت زیر در اتمش وجود دارند.

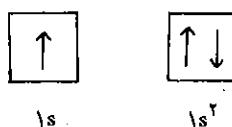


که ۱s و ۲s و ۲p مشخصات اوربیتال را نمایش می‌دهند و حال آنکه ۲ و ۳ و ۴ تعداد الکترونها را در اوربیتال‌ها نشان می‌دهند. به همین ترتیب در اتم سدیم آرایش الکترونی عبارتست از:

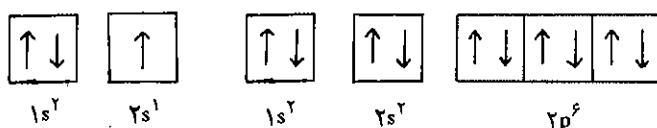


معمولًا راحت‌تر است که اگر به جای نوشتن کلیه الکترونها یک عنصر به نوشتن الکترونها ظرفیت آن عنصر اکتفا کنیم، مثلاً برای آهن (Fe) با دانستن اینکه اوربیتال‌های ۱s و ۲s و ۲p و ۳s و ۳p کاملاً پر هستند، اوربیتال‌های ظرفیتی ۳d و ۴s را می‌نویسیم. جدول تناوبی ضمیمه وضع قرار گرفتن الکترونها را برای کلیه عناصری که تا به حال شناخته شده‌اند نشان می‌دهد. جدول مذکور بر حسب آرایش الکترونی عناصر در حالت پایدار و گازی شکل تنظیم گردیده است.

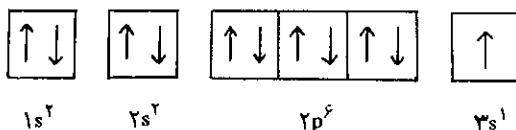
هر تناوب با یک عنصر شروع می‌شود که یک الکترون در اوربیتال ۱s دارد. در اولین تناوب دو عنصر بیشتر وجود ندارد، زیرا در اوربیتال ۱s بیش از دو الکترون نمی‌تواند وجود داشته باشد، لذا در عنصر هیدروژن اوربیتال ۱s دارای یک الکترون و در اتم هلیم (He) این اوربیتال با دو الکترون تکمیل می‌شود.



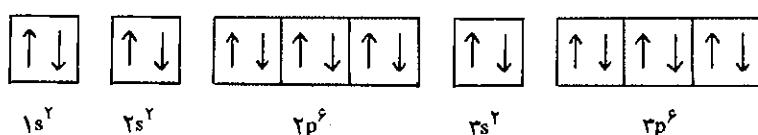
الکترون سوم اتم لیتیم (Li) باید در اوربیتال $2s$ جایگزین گردد و این عنصر اولین عنصر تناوب دوم است و چون در تراز $n=2$ یک اوربیتال $2s$ و سه اوربیتال $2p$ داریم یعنی $2(1+3)=8$ الکترون، لذا تناوب دوم با ۸ عنصر کامل می‌گردد. از لیتیم شروع گردیده و به عنصر نترون (Ne) که ترازهای $1s^2$ و $2s^2$ و $2p^6$ (یعنی $1s^2$ و $2s^2$ و $2p^6$) کاملاً پر می‌باشند ختم می‌گردد.



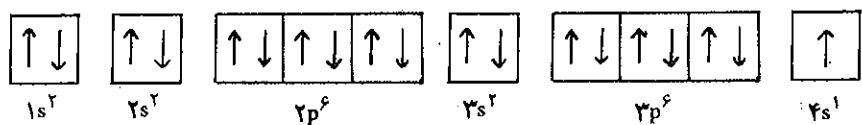
تناوب سوم از سدیم (Na) شروع می‌شود یعنی سدیم دارای همان ساختمان الکترونی Ne به اضافه یک الکترون در اوربیتال $3s$ است و این تناوب نیز با ۸ عنصر تکمیل می‌گردد، بدین صورت که از سدیم به بعد، از هر عنصر به عنصر دیگر یک الکترون اضافه می‌گردد.



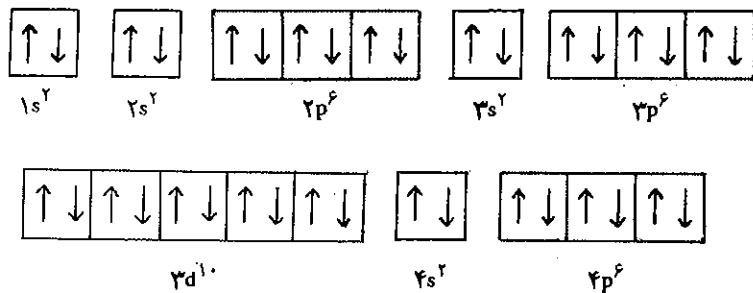
در آرگون (Ar) اوربیتالهای $3p^6$ و $3s^2$ کاملاً پر هستند بنابراین، آرگون (Ar) دارای وضعیت الکترونی زیر است.



قاعدتاً تناوب سوم می‌باشی با ۱۸ عنصر تکمیل شود نه با ۸ عنصر، پس چرا تناوب بعدی از پتانسیم (K) شروع می‌شود؟ جواب این سؤال مربوط به دقت شما در مورد انرژی اوربیتالها و فهم نمودار تراز انرژی اوربیتالهای است. اگر خوب دقت کنید متوجه می‌گردید که اوربیتال $4s$ دارای انرژی کمتری از اوربیتالهای $3d$ است و بنابر مطالعه که قبلاً گفته‌یم الکترونها سعی دارند همیشه در اوربیتالهایی مستقر شوند که از نظر انرژی کمترین مقدار را داشته باشند، لذا تا زمانی که $4s$ پر شده الکترون در اوربیتالهای $3d$ نمی‌رود و بدین جهت تناوب چهارم با پتانسیم شروع می‌شود، یعنی پتانسیم دارای همان آرایش الکترونی آرگون به انضمام یک الکترون در لانه $4s$ است. به شکل (۲-۱۹) توجه کنید.

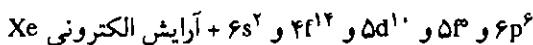


در کلسیم نیز یک الکترون اضافه شده و آن الکترون اوربیتال $4s$ را تکمیل می‌کند. وقتی که اوربیتال $4s$ تکمیل شد اوربیتالهای $3d$ از نظر انرژی کمترین مقدار را دارند، پس باید 5 اوربیتال $3d$ تکمیل شود، لذا این 5 اوربیتال با 10 عنصر تکمیل می‌گردد، بنابراین 10 عنصر وجود دارند که آنها را عناصر حد واسط Transition گویند. موقعی که $3d$ تکمیل شد الکترونها اوربیتالهای $4d$ را پرمی‌کنند و در اینجا نیز چون اوربیتالهای $5s$ انرژی کمتری از اوربیتالهای $4d$ دارند لذا این تناوب با پرشدن $4p$ تکمیل می‌شود و در کربپتون (Kt) آرایش الکترونی اتم عبارتست از:



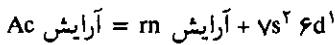
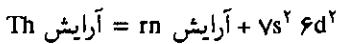
تناوب پنجم با ریبدیم (Rb) شروع می‌گردد، یعنی ریبدیم دارای آرایش الکترونی کربپتون (Kt) به اقسام یک الکترون در اوربیتال $5s$ است. استرانسیم (Sr) نیز همان وضعیت را داشته با این فرق که در اوربیتال $5s$ دو الکترون دارد (یعنی $Kt + 5s^2$) ولی در عناصر بعدی الکترونها اوربیتالهای $4d$ را که در دوره قبل پوششده بودند تکمیل می‌کنند و در اینجا باز ده عنصر حد واسط Transition وجود دارد که به ترتیب اوربیتالهای $4d$ آنها تکمیل می‌شود. بعد از این ده عنصر در عناصر بعدی الکترونها اوربیتالهای $5p$ را که انرژی آنها از $4f$ کمتر است تکمیل می‌نماید و در عنصر گزنون (Xe) اوربیتالهای $5p$ نیز با 6 الکترون پر شده و دارای آرایش الکترونی ($Kt + 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6$) می‌باشد. تناوب ششم با سزیم (Cs) شروع شده یعنی همان آرایش لکترونی گزنون (Xe) را دارد به اقسام یک الکترون در اوربیتال $6s$ و نیز باریم (Ba) دو الکترون در اوربیتال $6s$ دارا می‌باشد، ولی در عناصر بعدی الکترونها اوربیتال $4f$ را که انرژی کمتری از اوربیتالهای $5d$ و $6p$ دارند پرمی‌کنند و همان طور که قبلاً گفته شد به ازای $=3$ نام اوربیتال f بوده و برای m هفت جواب و درنتیجه 7 اوربیتال $4f$ وجود خواهد داشت که با 12 الکترون پوششده و برابر باشند، به ازای 12 عنصر به ترتیب این اوربیتالها تکمیل می‌گردند. در لاتان (La) یک الکترون در اوربیتال $5d$ اضافه می‌شود نه در اوربیتال $4f$ و این استثنایی است. در عناصر بعدی الکترونها اوربیتالهای $4f$ را پرمی‌کنند، در عنصر لوتسیم (Lu) اوربیتالهای $4f$ کاملاً پر و یک الکترون نیز در اوربیتال $5d$ دارد. این دسته عناصر را که از نظر ساختار الکترونی قشرهای خارجی کاملاً مشابه هستند خاکهای نادر گویند. بعد از عنصر لوتسیم (Lu) در عناصر بعدی به ترتیب اوربیتالهای $5d$ تکمیل می‌گردد و در اینجا نیز عیناً مانند تناوبهای قبل ده عنصر حد واسط وجود خواهد داشت که از هافنیم (Hf) شروع و به چیوه (Hg) ختم می‌شود.

چون انرژی اوربیتال‌های $6p$ کمتر از اوربیتال‌های $5f$ است لذا عنصر تالیم (Tl) یک الکترون در اوربیتال $6p$ تکمیل می‌شوند که آخرین عنصر باز یک گاز نادر است که رادن (m) نام داشته و آرایش الکترونی آن به صورت زیر می‌باشد.

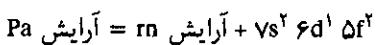


تناوب هفتم با عنصر فرانسیم (Fr) شروع می‌گردد، یعنی فرانسیم همان آرایش الکترونی رادن را به انضمام یک الکترون در اوربیتال $7s$ دارد. در عنصر رادیوم (ra) اوربیتال $7s$ با دو الکترون تکمیل و از عنصر اکتنیم (Ac) به بعد قاعده‌تاً بایستی اوربیتال‌های $5f$ که در تناوب قبلی پر نشده بود شروع به تکمیل شدن کنند، زیرا این اوربیتال‌ها انرژی کمتری از اوربیتال‌های $6d$ و $7p$ دارند، ولی باید خاطر نشان نمود که آرایش الکترونی اکتنیدها موضوعی است که تاکنون به طور کامل بررسی نشده و هنوز ابهاماتی در آن موجود است و با فرضیه‌هایی که نتیجه آنها به طور تحقیق ثابت نشده مسأله را ختم می‌کنند. بوهر موقعی که نظریه اتمی خود را تدوین می‌نمود از نظر طرز قرار گرفتن الکترونها در قشر هفتم به یک بنی‌نظمی برخورد نمود. بعد از اکتنیم (Ac) پرشدن اوربیتال‌های $5d$ و یا $5f$ دچار بنی‌نظمی خاصی می‌شد و الکترونها جدید گاهی در اوربیتال $5f$ و گاهی در اوربیتال $6d$ قرار می‌گرفتند. دلیل آن را این طور توجیه می‌نمایند که اوربیتال‌های $5f$ و $6d$ فاصله زیادی از هسته داشته و به عبارت دیگر تأثیرات هسته بر روی آنها کم و بر عکس بیشتر تحت تأثیر محیط خارج قرار می‌گیرند. با وجود این به طور تقریب و با احتمال زیاد می‌توان گفت آرایش الکترونی اکتنیدها به صورت زیر است.

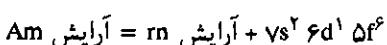
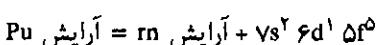
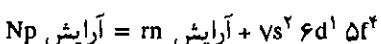
در دو عنصر اکتنیم (Ac) و توریم (Th) استثنائًا الکترونها در اوربیتال‌های $5d$ قرار می‌گیرند یعنی Ac و Th به ترتیب دارای آرایش الکترونی زیر خواهند بود:



ولی در پروتاکتنیم (Pa) دو الکترون در اوربیتال‌های $5f$ وجود دارند. اورانیم (U) و پروتاکتنیم (Pa) به ترتیب آرایش الکترونی زیر را دارند.



از اورانیم به بعد در عناصر نپتونیم (Np) و پلوتونیم (Pu) و آمریسیم (Am) آرایش الکترونی عادی است یعنی به ترتیب از هر عنصر به عنصر بعدی یک الکترون در اوربیتال $5f$ اضافه می‌گردد.



عناصر بعد از سرب که در جدول تناوبی وجود دارند از نظر خواص هسته‌ای ناپایدار

می‌باشند. عنصر بیسیمومت نیمه عمری بیشتر از عمر زمین داشته لذا در طبیعت یافت می‌شود؛ اورانیم و پروتاکتینیم و توریم نیز همین طورند ولی از اورانیم به بعد بقیه عناصر تا عنصر 108 را مصنوعاً می‌سازند زیرا این عناصر ایزوتوپی که نیمه عمرش بیشتر و یا حداقل به اندازه عمر زمین باشد ندارند و در طول عمر زمین ازین رفتگاند.^۱

قبل مشاهده شد که تناوبهای چهار و پنج جمعاً به وسیله 18 الکترون تکمیل شده و در تناوب شش و هفت این تعداد به 32 رسید. همان‌طوری که در بحث قبل گفته شد در تناوب ششم عناصری که بعد از La قرار دارند چون الکترونها از هر عنصر به عنصر بعدی به اوربیتال‌های $4f$ اضافه می‌شوند و از طرفی چون این الکترونها در قشر عمیقی قرار داشته و نسبت به خارج کمتر حساسیت دارند لذا خواص شیمیایی این عناصر کاملاً شبیه همدیگر بوده و بدین علت آنها را در خانه لانتانیدها قرار داده‌اند با دلایلی تقریباً مشابه فامیل آکتینیدها، در خانه آکتینیم Ac قرار می‌گیرند لذا این دو تناوب نیز مانند تناوبهای قبل 18 خانه از جدول تناوبی را اشغال می‌کنند. بنابراین، در جدول تناوبی 18 ستون زیر هم باید موجود باشد که این ستونها را به ترتیب $1A$ و $2A$ و $3B$ و $4B$ و $5B$ و $6B$ و $7B$ و 8 و بالآخره بقیه $1B$ و $2B$ و $3A$ و $4A$ و $5A$ و $6A$ و $7A$ و $8A$ و $9A$ و $10A$ و $11A$ و $12A$ و $13A$ و $14A$ و $15A$ و $16A$ و $17A$ و $18A$ و $19A$ و $20A$ و $21A$ و $22A$ و $23A$ و $24A$ و $25A$ و $26A$ و $27A$ و $28A$ و $29A$ و $30A$ و $31A$ و $32A$ و $33A$ و $34A$ و $35A$ و $36A$ و $37A$ و $38A$ و $39A$ و $40A$ و $41A$ و $42A$ و $43A$ و $44A$ و $45A$ و $46A$ و $47A$ و $48A$ و $49A$ و $50A$ و $51A$ و $52A$ و $53A$ و $54A$ و $55A$ و $56A$ و $57A$ و $58A$ و $59A$ و $60A$ و $61A$ و $62A$ و $63A$ و $64A$ و $65A$ و $66A$ و $67A$ و $68A$ و $69A$ و $70A$ و $71A$ و $72A$ و $73A$ و $74A$ و $75A$ و $76A$ و $77A$ و $78A$ و $79A$ و $80A$ و $81A$ و $82A$ و $83A$ و $84A$ و $85A$ و $86A$ و $87A$ و $88A$ و $89A$ و $90A$ و $91A$ و $92A$ و $93A$ و $94A$ و $95A$ و $96A$ و $97A$ و $98A$ و $99A$ و $100A$ و $101A$ و $102A$ و $103A$ و $104A$ و $105A$ و $106A$ و $107A$ و $108A$ و $109A$ و $110A$ و $111A$ و $112A$ و $113A$ و $114A$ و $115A$ و $116A$ و $117A$ و $118A$ و $119A$ و $120A$ و $121A$ و $122A$ و $123A$ و $124A$ و $125A$ و $126A$ و $127A$ و $128A$ و $129A$ و $130A$ و $131A$ و $132A$ و $133A$ و $134A$ و $135A$ و $136A$ و $137A$ و $138A$ و $139A$ و $140A$ و $141A$ و $142A$ و $143A$ و $144A$ و $145A$ و $146A$ و $147A$ و $148A$ و $149A$ و $150A$ و $151A$ و $152A$ و $153A$ و $154A$ و $155A$ و $156A$ و $157A$ و $158A$ و $159A$ و $160A$ و $161A$ و $162A$ و $163A$ و $164A$ و $165A$ و $166A$ و $167A$ و $168A$ و $169A$ و $170A$ و $171A$ و $172A$ و $173A$ و $174A$ و $175A$ و $176A$ و $177A$ و $178A$ و $179A$ و $180A$ و $181A$ و $182A$ و $183A$ و $184A$ و $185A$ و $186A$ و $187A$ و $188A$ و $189A$ و $190A$ و $191A$ و $192A$ و $193A$ و $194A$ و $195A$ و $196A$ و $197A$ و $198A$ و $199A$ و $200A$ و $201A$ و $202A$ و $203A$ و $204A$ و $205A$ و $206A$ و $207A$ و $208A$ و $209A$ و $210A$ و $211A$ و $212A$ و $213A$ و $214A$ و $215A$ و $216A$ و $217A$ و $218A$ و $219A$ و $220A$ و $221A$ و $222A$ و $223A$ و $224A$ و $225A$ و $226A$ و $227A$ و $228A$ و $229A$ و $230A$ و $231A$ و $232A$ و $233A$ و $234A$ و $235A$ و $236A$ و $237A$ و $238A$ و $239A$ و $240A$ و $241A$ و $242A$ و $243A$ و $244A$ و $245A$ و $246A$ و $247A$ و $248A$ و $249A$ و $250A$ و $251A$ و $252A$ و $253A$ و $254A$ و $255A$ و $256A$ و $257A$ و $258A$ و $259A$ و $260A$ و $261A$ و $262A$ و $263A$ و $264A$ و $265A$ و $266A$ و $267A$ و $268A$ و $269A$ و $270A$ و $271A$ و $272A$ و $273A$ و $274A$ و $275A$ و $276A$ و $277A$ و $278A$ و $279A$ و $280A$ و $281A$ و $282A$ و $283A$ و $284A$ و $285A$ و $286A$ و $287A$ و $288A$ و $289A$ و $290A$ و $291A$ و $292A$ و $293A$ و $294A$ و $295A$ و $296A$ و $297A$ و $298A$ و $299A$ و $300A$ و $301A$ و $302A$ و $303A$ و $304A$ و $305A$ و $306A$ و $307A$ و $308A$ و $309A$ و $310A$ و $311A$ و $312A$ و $313A$ و $314A$ و $315A$ و $316A$ و $317A$ و $318A$ و $319A$ و $320A$ و $321A$ و $322A$ و $323A$ و $324A$ و $325A$ و $326A$ و $327A$ و $328A$ و $329A$ و $330A$ و $331A$ و $332A$ و $333A$ و $334A$ و $335A$ و $336A$ و $337A$ و $338A$ و $339A$ و $340A$ و $341A$ و $342A$ و $343A$ و $344A$ و $345A$ و $346A$ و $347A$ و $348A$ و $349A$ و $350A$ و $351A$ و $352A$ و $353A$ و $354A$ و $355A$ و $356A$ و $357A$ و $358A$ و $359A$ و $360A$ و $361A$ و $362A$ و $363A$ و $364A$ و $365A$ و $366A$ و $367A$ و $368A$ و $369A$ و $370A$ و $371A$ و $372A$ و $373A$ و $374A$ و $375A$ و $376A$ و $377A$ و $378A$ و $379A$ و $380A$ و $381A$ و $382A$ و $383A$ و $384A$ و $385A$ و $386A$ و $387A$ و $388A$ و $389A$ و $390A$ و $391A$ و $392A$ و $393A$ و $394A$ و $395A$ و $396A$ و $397A$ و $398A$ و $399A$ و $400A$ و $401A$ و $402A$ و $403A$ و $404A$ و $405A$ و $406A$ و $407A$ و $408A$ و $409A$ و $410A$ و $411A$ و $412A$ و $413A$ و $414A$ و $415A$ و $416A$ و $417A$ و $418A$ و $419A$ و $420A$ و $421A$ و $422A$ و $423A$ و $424A$ و $425A$ و $426A$ و $427A$ و $428A$ و $429A$ و $430A$ و $431A$ و $432A$ و $433A$ و $434A$ و $435A$ و $436A$ و $437A$ و $438A$ و $439A$ و $440A$ و $441A$ و $442A$ و $443A$ و $444A$ و $445A$ و $446A$ و $447A$ و $448A$ و $449A$ و $450A$ و $451A$ و $452A$ و $453A$ و $454A$ و $455A$ و $456A$ و $457A$ و $458A$ و $459A$ و $460A$ و $461A$ و $462A$ و $463A$ و $464A$ و $465A$ و $466A$ و $467A$ و $468A$ و $469A$ و $470A$ و $471A$ و $472A$ و $473A$ و $474A$ و $475A$ و $476A$ و $477A$ و $478A$ و $479A$ و $480A$ و $481A$ و $482A$ و $483A$ و $484A$ و $485A$ و $486A$ و $487A$ و $488A$ و $489A$ و $490A$ و $491A$ و $492A$ و $493A$ و $494A$ و $495A$ و $496A$ و $497A$ و $498A$ و $499A$ و $500A$ و $501A$ و $502A$ و $503A$ و $504A$ و $505A$ و $506A$ و $507A$ و $508A$ و $509A$ و $510A$ و $511A$ و $512A$ و $513A$ و $514A$ و $515A$ و $516A$ و $517A$ و $518A$ و $519A$ و $520A$ و $521A$ و $522A$ و $523A$ و $524A$ و $525A$ و $526A$ و $527A$ و $528A$ و $529A$ و $530A$ و $531A$ و $532A$ و $533A$ و $534A$ و $535A$ و $536A$ و $537A$ و $538A$ و $539A$ و $540A$ و $541A$ و $542A$ و $543A$ و $544A$ و $545A$ و $546A$ و $547A$ و $548A$ و $549A$ و $550A$ و $551A$ و $552A$ و $553A$ و $554A$ و $555A$ و $556A$ و $557A$ و $558A$ و $559A$ و $560A$ و $561A$ و $562A$ و $563A$ و $564A$ و $565A$ و $566A$ و $567A$ و $568A$ و $569A$ و $570A$ و $571A$ و $572A$ و $573A$ و $574A$ و $575A$ و $576A$ و $577A$ و $578A$ و $579A$ و $580A$ و $581A$ و $582A$ و $583A$ و $584A$ و $585A$ و $586A$ و $587A$ و $588A$ و $589A$ و $590A$ و $591A$ و $592A$ و $593A$ و $594A$ و $595A$ و $596A$ و $597A$ و $598A$ و $599A$ و $600A$ و $601A$ و $602A$ و $603A$ و $604A$ و $605A$ و $606A$ و $607A$ و $608A$ و $609A$ و $610A$ و $611A$ و $612A$ و $613A$ و $614A$ و $615A$ و $616A$ و $617A$ و $618A$ و $619A$ و $620A$ و $621A$ و $622A$ و $623A$ و $624A$ و $625A$ و $626A$ و $627A$ و $628A$ و $629A$ و $630A$ و $631A$ و $632A$ و $633A$ و $634A$ و $635A$ و $636A$ و $637A$ و $638A$ و $639A$ و $640A$ و $641A$ و $642A$ و $643A$ و $644A$ و $645A$ و $646A$ و $647A$ و $648A$ و $649A$ و $650A$ و $651A$ و $652A$ و $653A$ و $654A$ و $655A$ و $656A$ و $657A$ و $658A$ و $659A$ و $660A$ و $661A$ و $662A$ و $663A$ و $664A$ و $665A$ و $666A$ و $667A$ و $668A$ و $669A$ و $670A$ و $671A$ و $672A$ و $673A$ و $674A$ و $675A$ و $676A$ و $677A$ و $678A$ و $679A$ و $680A$ و $681A$ و $682A$ و $683A$ و $684A$ و $685A$ و $686A$ و $687A$ و $688A$ و $689A$ و $690A$ و $691A$ و $692A$ و $693A$ و $694A$ و $695A$ و $696A$ و $697A$ و $698A$ و $699A$ و $700A$ و $701A$ و $702A$ و $703A$ و $704A$ و $705A$ و $706A$ و $707A$ و $708A$ و $709A$ و $710A$ و $711A$ و $712A$ و $713A$ و $714A$ و $715A$ و $716A$ و $717A$ و $718A$ و $719A$ و $720A$ و $721A$ و $722A$ و $723A$ و $724A$ و $725A$ و $726A$ و $727A$ و $728A$ و $729A$ و $730A$ و $731A$ و $732A$ و $733A$ و $734A$ و $735A$ و $736A$ و $737A$ و $738A$ و $739A$ و $740A$ و $741A$ و $742A$ و $743A$ و $744A$ و $745A$ و $746A$ و $747A$ و $748A$ و $749A$ و $750A$ و $751A$ و $752A$ و $753A$ و $754A$ و $755A$ و $756A$ و $757A$ و $758A$ و $759A$ و $760A$ و $761A$ و $762A$ و $763A$ و $764A$ و $765A$ و $766A$ و $767A$ و $768A$ و $769A$ و $770A$ و $771A$ و $772A$ و $773A$ و $774A$ و $775A$ و $776A$ و $777A$ و $778A$ و $779A$ و $780A$ و $781A$ و $782A$ و $783A$ و $784A$ و $785A$ و $786A$ و $787A$ و $788A$ و $789A$ و $790A$ و $791A$ و $792A$ و $793A$ و $794A$ و $795A$ و $796A$ و $797A$ و $798A$ و $799A$ و $800A$ و $801A$ و $802A$ و $803A$ و $804A$ و $805A$ و $806A$ و $807A$ و $808A$ و $809A$ و $810A$ و $811A$ و $812A$ و $813A$ و $814A$ و $815A$ و $816A$ و $817A$ و $818A$ و $819A$ و $820A$ و $821A$ و $822A$ و $823A$ و $824A$ و $825A$ و $826A$ و $827A$ و $828A$ و $829A$ و $830A$ و $831A$ و $832A$ و $833A$ و $834A$ و $835A$ و $836A$ و $837A$ و $838A$ و $839A$ و $840A$ و $841A$ و $842A$ و $843A$ و $844A$ و $845A$ و $846A$ و $847A$ و $848A$ و $849A$ و $850A$ و $851A$ و $852A$ و $853A$ و $854A$ و $855A$ و $856A$ و $857A$ و $858A$ و $859A$ و $860A$ و $861A$ و $862A$ و $863A$ و $864A$ و $865A$ و $866A$ و $867A$ و $868A$ و $869A$ و $870A$ و $871A$ و $872A$ و $873A$ و $874A$ و $875A$ و $876A$ و $877A$ و $878A$ و $879A$ و $880A$ و $881A$ و $882A$ و $883A$ و $884A$ و $885A$ و $886A$ و $887A$ و $888A$ و $889A$ و $890A$ و $891A$ و $892A$ و $893A$ و $894A$ و $895A$ و $896A$ و $897A$ و $898A$ و $899A$ و $900A$ و $901A$ و $902A$ و $903A$ و $904A$ و $905A$ و $906A$ و $907A$ و $908A$ و $909A$ و $910A$ و $911A$ و $912A$ و $913A$ و $914A$ و $915A$ و $916A$ و $917A$ و $918A$ و $919A$ و $920A$ و $921A$ و $922A$ و $923A$ و $924A$ و $925A$ و $926A$ و $927A$ و $928A$ و $929A$ و $930A$ و $931A$ و $932A$ و $933A$ و $934A$ و $935A$ و $936A$ و $937A$ و $938A$ و $939A$ و $940A$ و $941A$ و $942A$ و $943A$ و $944A$ و $945A$ و $946A$ و $947A$ و $948A$ و $949A$ و $950A$ و $951A$ و $952A$ و $953A$ و $954A$ و 9

هم تناوب خود را دارند منهای چند الکترون.

F و Cl و Br و At	ستون ۷A
۱e - گاز نادر تناوب خود	
O و S و Se و Te و Po	ستون ۶A
۲e - گاز نادر تناوب خود	

گرچه شباهت ستونی در عناصری که ستونهای وسط را اشغال می‌کنند کمتر است با وجود این باز شباهت کاملاً مشخصی بین بعضی از آنها به خوبی آشکار است. مثلاً Cd و Zn و Hf و (Nb) و (Ta) و Zr تقریباً مشابه هماند.

ب) برانگیختگی و یونیدگی Excitation and Ionization

در این بخش به طور خلاصه و از نقطه نظر شیمی پدیده تحریک برانگیختگی و یونیدگی را بحث کرده و در سطور آینده به طور مفصل‌تر در بخش مربوط به طیف‌نگاری اتمها و کاربرد آن صحبت خواهیم کرد.

در حالت طبیعی یعنی موقعی که تمام الکترونها در اوربیتالهای خود گردش بخصوص خود را دارند، یک اتم مستقل و آزاد در حالتی از انرژی است که آن حالت را حالت ساکن گوییم. پایدارترین حالت، حالتی است که از نظر انرژی کمترین مقدار را دارا باشد. حال اگر به این اتم مقدار مشخصی انرژی به هر صورت که ممکن باشد وارد نماییم (مثلاً به وسیله حرارت، ضربه، یا پرتوهای الکترومغناطیسی و یا ذرات سریع)، الکترونها این انرژی را جذب کرده و به حالتی بالاتر از انرژی می‌روند. این عمل را تحریک یا برانگیختگی گویند. اگر انرژی جذب شده زیاد باشد به طوری که بتواند الکtron را از اتم جدا نماید، گویند عمل یونیدگی صورت گرفته است لذا اتم باقی‌مانده دیگر خنثی نبوده بلکه دارای بار مثبت خواهد شد یعنی به تعداد الکترونها جدا شده بار مثبت بر روی آن ظاهر خواهد شد. اگر تعداد الکترونها خارج شده از اتم باشد، اتم باقی‌مانده بار مثبت خواهد داشت، اگر علامت اختصاری عنصر X باشد در این حالت آن را به صورت X^{n+} نشان داده و یون نامیده می‌شود. اگر عنصر منحصرأ الکترونها ظرفیتی خود را از دست داده باشد یون حاصل را کاتیون گویند. بر عکس بعضی از اتمها مایلند تعدادی الکtron جذب نمایند، این الکترونها در قشر آخر عنصر مستقر شده و اتم باز در این حالت از نظر الکتریکی خنثی نبوده و به تعداد الکترونها جذب شده بار منفی در آن ظاهر می‌شود در این حال عنصر را به صورت X^{n-} مشخص کرده و آن را آئیون گویند.

a) انرژی یونش Ionization energies

انرژی یونش عبارت است از حداقل انرژی که باید به یک اتم داد تا یکی از الکترونها آن جدا شود، که مقدار آن برابر با تفاوت انرژی الکtron جدا شده با انرژی الکtron آزاد است (انرژی الکtron آزاد صفر فرض می‌شود). در عمل یونش اصطلاحات اولین و دومین و سومین و... انرژی یونش را به کار می‌برند.

اولین انرژی یونش عبارت است از مقدار انرژی لازم برای جدا کردن الکترونی که انرژی پیوند آن از سایر الکترونها اتم کمتر باشد و یا انرژی خود الکtron بیشتر از سایر الکترونها

اولین انرژی یونش فلزات فلیباپی کمترین مقدار را نسبت به سایر عناصر دارد و به همین دلیل ترکیبات یونی مشابه کلرور سدیم را به وجود می‌آورند.

باشد. دومین انرژی یونش لازم برای جدا کردن دومین الکترون از اتم می باشد و به همین ترتیب برای سومین و... اولین انرژی یونش کمترین مقدار و در حدود چند الکترون ولت می باشد.

آزمایش مقادیر مختلف انرژی یونش برای عناصر مختلف قواعد زیر را نتیجه می دهد:
 الف) برای هیدروژن اولین انرژی یونش برابر با 13.6 eV است که چون تنها الکترون اتم هیدروژن است و به هسته نزدیک می باشد نسبتاً زیاد است.

برای H_2 اولین انرژی یونش برابر با $5/2\text{ eV}$ (الکترون $2s$) ولی برای دو الکترون اوریتال $1s$ (دومین و سومین) انرژی یونش به ترتیب عبارتست از $75/9\text{ eV}$ و $122/4\text{ eV}$. نتیجه آن که مقدار نسبی آن به مرتبه کمتر از انرژی لازم برای جدا کردن الکترون $1s$ اتم هیدروژن است.
 در ستون فلزات قلیایی (۱A) اولین انرژی یونش عبارت است از:

${}_1\text{H}$	13.6	eV
${}_3\text{Li}$	$5/2$	eV
${}_{11}\text{Na}$	$5/1$	eV
${}_{19}\text{K}$	$4/3$	eV
${}_{37}\text{Rb}$	$4/2$	eV
${}_{55}\text{Cs}$	$3/9$	eV

ملحوظه می شود که انرژی یونش با زیاد شدن عدد اتمی کم می شود. علت آن این است که با اضافه شدن عدد اتمی فاصله آخرین الکترون از هسته دورتر شده و نیز الکترونهای باقی مانده به صورت پرده ای تأثیرات هسته را روی الکترونهای قشر آخر کم می نماید.
 ب) در یک تناوب اولین انرژی یونش با اضافه شدن عدد اتمی اضافه می شود. اولین انرژی یونش غالب عناصر در جدول (۲-۴) داده شده است.

${}_1\text{H}$ 13.6					${}_1\text{He}$ 24.6
${}_3\text{Li}$ 5.4	${}_2\text{Be}$ 9.3				
${}_6\text{Na}$ 5.1	${}_7\text{Mg}$ 7.6				
${}_19\text{K}$ 4.3	${}_20\text{Ca}$ 6.1	${}_3\text{Sc}$ 6.6	${}_4\text{Ti}$ 6.8	${}_5\text{V}$ 6.7	${}_6\text{Cr}$ 6.78
${}_37\text{Rb}$ 4.2	${}_40\text{Sr}$ 5.7	${}_5\text{Y}$ 6.4	${}_6\text{Zr}$ 6.8	${}_7\text{Nb}$ 6.9	${}_8\text{Mo}$ 7.1
${}_55\text{Cs}$ 3.9	${}_8\text{Ba}$ 5.2	${}_9\text{La}$ 5.6	${}_10\text{Hf}$ 7.1	${}_11\text{Ta}$ 7.9	${}_12\text{W}$ 8.0
${}_89\text{Fr}$ (?)	${}_90\text{Ra}$ 5.3				
		${}_1\text{B}$ 8.3	${}_2\text{C}$ 11.3	${}_5\text{N}$ 14.5	${}_6\text{O}$ 13.8
		${}_7\text{Al}$ 6	${}_8\text{Si}$ 8.1	${}_9\text{P}$ 10.5	${}_10\text{S}$ 10.4
		${}_11\text{Ga}$ 6.0	${}_12\text{Ge}$ 7.9	${}_13\text{As}$ 9.8	${}_14\text{Se}$ 8.75
		${}_15\text{In}$ 5.8	${}_16\text{Sn}$ 7.3	${}_17\text{Sb}$ 8.6	${}_18\text{Te}$ 8.0
		${}_19\text{Tl}$ 6.1	${}_20\text{Pb}$ 7.4	${}_21\text{Bi}$ 7.3	${}_22\text{Po}$ 8.4
		${}_23\text{At}$ (?)			
		${}_24\text{Ac}$ 6.9			

جدول (۲-۴) انرژی اولین یونش عناصر

همانطور که از جدول فوق استنباط می شود هر قدر قشر خارجی به پرشدن نزدیک شود، پایداری اتم بیشتر می گردد و به همین سبب گازهای نادر به سختی یونیده می شوند.
 ج) برای یک عنصر انرژیهای یونش متوالی بدترینج زیاد می شود ولی این زیاد شدن

طبق قاعده صحیحی نیست، ولی با توجه به ساختار الکترونی اتم می‌توان علت آن را به صورت زیر بیان نمود، اتمهایی که در قشر آخر خود کمتر از چهار الکtron دارند متمایل به از دست دادن الکترونهای این قشر بوده و برای آنها ساختار الکترونی گاز نادر ماقبلشان مناسب‌تر است.

$_{11}^{23}\text{Na}$ (اولین ستون)	۵/۱ ev	۴۷ ev	۷۲ ev	۹۹ ev
$_{12}^{24}\text{Mg}$ (دومین ستون)	۷/۶ ev	۱۵ ev	۸۰ ev	۱۰۹ ev
$_{13}^{25}\text{Al}$ (سومین ستون)	۶ ev	۱۸/۸ ev	۲۸/۴ ev	۱۲۰ ev

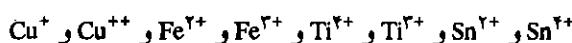
برای سدیم اولین الکترون به سهولت جدا می‌شود و در مورد Mg^+ دو الکترون و در مورد آلمینیم سه الکترون مدار آخر به سهولت جدا می‌شوند.

یادآوری - در یک تناوب اولین اثری یونش با اضافه شدن عدد اتمی اضافه می‌شود. طبق این تعریف اولین اثری یونش بریلیم (Be^+) باید کمتر از اولین اثری یونش بر (B^-) باشد ولی عملأ همان‌طور که در جدول (۲-۴) مشاهده می‌شود این طور نیست. دلیل این عدم تبعیت، تکمیل بودن اوربیتال $2s^2$ در بریلیم (Be^+) است که باید $9/3$ الکترون ولت صرف جدا کردن یکی از الکترونهای $2s^2$ این اتم شود، حال آنکه در بر (Be^+) اولین الکترون قابل دسترس الکترون فرد $2P_x^+$ است که زودتر از الکترون جفت شده $2s^2$ از اتم جدا می‌شود. در تناوب سوم نیز همین موضوع در مورد منیزیم ($_{12}^{24}\text{Mg}^+$) و آلمینیم ($_{13}^{25}\text{Al}^+$) صادق است. اولین اثری یونش آلمینیم (Al^+) طبق تعریف باید بیشتر از اثری یونش منیزیم (Mg^+) باشد ولی به دلیلی که در مورد Be^+ و B^- گفته شد این طور نیست، در مورد Mg^+ برابر با $7/6$ الکترون ولت ولی در مورد Al^+ برابر با 6 الکترون ولت است. و اما در مورد N^+ و O^- : در ازت $2P_x^+$ ، $2P_y$ ، $2P_z$ هر کدام یک الکترون دارند و وضعیت این سه اوربیتال کاملاً قرینه و در حال تعادل هستند و حال آنکه در اکسیژن یک الکترون در اوربیتال $2P_x^+$ اضافه می‌شود (یعنی $2P_x^+$) که دیگر با سایرین قرینه و در حال تعادل نیست لذا این الکترون سهولت از سایرین جدا می‌شود.

در عمل یونش، کاتیونهایی حاصل می‌شود که آرایش الکترونی گازهای نادر را دارند. در مورد Li^+ اوربیتال $1s^1$ باقی‌مانده که آرایش آن مشابه آرایش He است و در مورد Na^+ و Mg^{++} و Al^{+++} آرایش الکترونی شبیه Ne ، $1s^2$ ، $2s^2$ و $2p^6$ می‌باشد. بنابراین، تمایل اتمها به یون شدن به‌ نحوی است که آخرین قشر الکترونی آنها، آرایش اشباع شده شبیه گازهای نادر پیدا کنند.

چون ساختار الکترونی گازهای نادر تکمیل شده و به صورت قشرهای ۲ یا ۸ و یا n الکترونی است لذا به سختی یونیته می‌شوند.

تمام فلزات قلایایی با از دست دادن یک الکترون یونیته شده و آرایش آنها شبیه گازهای نادر تناوب ماقبلشان شده و کاتیونهای یک ظرفیتی که پایدار است می‌سازند، و نیز کلیه فلزات قلایایی خاکی با از دست دادن ۲ الکترون یونیته شده و آرایشی شبیه گازهای نادر تناوب قبل از خود را پیدا نموده و تولید کاتیونهای دو ظرفیتی می‌کنند. به علت وجود قشرهای زیرین تکمیل نشده در عناصر حد واسط یونش آنها نامشخص است، در مورد این عناصر، یونش با از دست دادن تعداد غیر مشخصی الکترون انجام می‌گیرد و در نتیجه امکان دارد که تولید چند کاتیون پایدار و یا ناپایدار بنمایند. مانند:



جدا کردن الکترون از یک اوربیتال تکمیل شده با دو الکترون دشوارتر از کنند الکترون از اوربیتال نیمه پر است.

(b) محاسبه انرژی یونش

برای محاسبه انرژی یونیزاسیون می‌توان از فرمول بالمر:



$$\nu = RH \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

استفاده نمود. در عمل یونش الکترون جدا شده از اتم الکترونی است که در بالاترین ترازهای انرژی اتم قرار دارد. بنابراین انرژی آزاد شده با علامت عکس در حین رجعت الکترون از تراز بینهایت (∞) بر روی تراز مذکور است. مثلاً محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن به صورت زیر انجام می‌گیرد.

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{C} = RH \left[\frac{1}{(1)^2} - \frac{1}{(\infty)^2} \right]$$

$$RH = 1/0.968 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$$

$$\nu = CR_H \quad h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$$

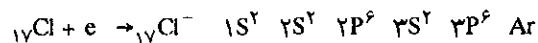
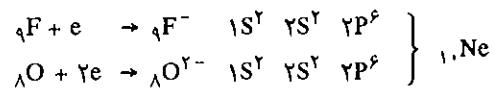
$$E = h\nu = ChR_H = 3 \times 10^{11} \times 6.62 \times 10^{-27} \times 1/0.968 \times 10^5$$

$$\text{ارگ} = 2/17 \times 10^{-11}$$

$$E = 12/6 \text{ ev}$$

(c) الکترون خواهی Electron-Affinity

عناصری که در ستونهای راست جدول تناوبی قرار دارند به سختی یونیده شده و مقدار زیادی انرژی باید برای کندن الکترونها آنها صرف نمود تا به کاتیونی بدل شود که از نظر آرایش الکترونی وضعیت گاز نادر تناوب قبل از خود را داشته باشد. بر عکس این عناصر مایلند الکترونها یعنی جذب نموده تا به آرایش گاز نادر هم تناوب خود برسند.



تشکیل چنین آئیونی مقداری انرژی ایجاد می‌نماید که مقدار آن عبارت از تفاوت انرژی حالت پایانی و آغازی اتم است. اتم خنثی آرایش ناکامل داشته و در حالتی با انرژی بالاست، ولی بر عکس بعداز جذب الکترون آرایش کامل مشابه آرایش کامل گازهای نادر پیدا خواهد نمود، انرژی حالت اخیر پایین تر از حالت آغازی است. به عنوان مثال انرژی به وجود آمده در اثر این تبدیل را در مورد چند عنصر ذکر می‌کنیم.

آنیون	انرژی ev	آنیون	انرژی ev	آنیون	انرژی ev
H^-	-0.7	F^-	-4.1	Cl^-	-2.8
Br^-	-2.5	I^-	-3.1	O^-	-2.3
S^-	-2.5	S^{2-}	-4	O^{2-}	-6.5

در مورد O^- و S^- مقدار انرژی منفی است یعنی باید به ترتیب $6/5$ و 4 الکترون ولت انرژی به O^- و S^- بدهیم تا الکترون ثانوی را جذب نماید و تبدیل به O^{--} و S^{--} شوند، و این به علت نیروی دافعه دو الکترون جذب شده است. در سری هالوژنهای مشاهده می‌شود که الکترون خواهی عناصر با اضافه شدن عدد اتمی کم می‌شود. بنابراین، الکترون خواهی عناصر در ستونهای عمودی با اضافه شدن عدد اتمی کم می‌شود و از طرف دیگر در یک تناوب (ردیف افقی) با اضافه شدن عدد اتمی الکترون خواهی زیاد می‌گردد.

d) الکتروپوزیتیوی و الکترونگاتیوی Electronegativity and electropositivity

عناصری که میل به از دست دادن یک و یا چند الکترون دارند، تبدیل به کاتیون گشته و لذا عناصر الکتروپوزیتیو Electropositif نامیده می‌شوند، و بر عکس عناصری که میل به جذب یک و یا چند الکترون دارند تبدیل به آئیون شده و عناصر الکترونگاتیو نام می‌گیرند. مشخصات یک عنصر الکتروپوزیتیو بستگی به انرژی یونش آن عنصر دارد. الکتروپوزیتیوترین عناصر، عنصری است که انرژی یونش آن نسبت به سایرین کمترین مقدار را دارد. بنا به مطالبی که قبلًا گفته شد و دقت در مورد جدول تناوبی مشاهده می‌گردد که انرژی یونش عناصر در ستونهای عمودی با زیاد شدن عدد اتمی کم می‌شود و نیز در یک ردیف افقی انرژی یونش به ازای زیاد شدن عدد اتمی زیاد می‌شود. بنابراین، عنصر فرانسیم باید الکتروپوزیتیوترین عناصر باشد ولی چون این عنصر در طبیعت وجود ندارد لذا سزیم را الکتروپوزیتیوترین عناصر معرفی می‌کنند.

سزیم (Cs) الکتروپوزیتیوترین عناصر و فلوئور (F) الکترونگاتیوترین عناصر می‌باشند.

الکترون خواهی یک عنصر عبارتست از تمايل این عنصر به جذب الکترون بنابراین، مشخصات عناصر الکترونگاتیو بستگی به الکترون خواهی (یا تمايل به جذب الکترون) دارد و نیز همانطور که قبلًا گفتیم در یک ستون عمودی الکترونگاتیو از بالا به پایین کم می‌شود و در یک تناوب (ردیف افقی) الکترونگاتیو از چپ به راست اضافه می‌شود. بنابراین، فلوئور (F) الکترونگاتیوترین عناصر می‌باشد. طبیعی است که این دو صفت با یکدیگر نسبت عکس دارند. یک عنصر که خیلی الکترونگاتیو می‌باشد خیلی کم الکتروپوزیتیو است و بر عکس عنصری که خیلی الکتروپوزیتیو است بسیار کم الکترونگاتیو می‌باشد. بنابراین، اگر واحدی برای الکترونگاتیو عناصر در نظر گرفته شود طبیعی است که عکس این واحد الکتروپوزیتیو عناصر را مشخص می‌کند.

در سال ۱۹۳۹ پاولینگ¹ واحد نسبی برای الکترونگاتیو عناصر تنظیم نمود کمترین مقدار آن برای Cs و یا $Fr = e^0 = 0/eV$ و بیشترین مقدار آن برای فلوئور برابر با $e = 4/1 eV$ بود. بنابراین، عنصری که الکترونگاتیوی اش کمترین مقدار را دارد الکتروپوزیتیوترین عناصر می‌باشد. تابلوی (۲-۵) جدول الکترونگاتیوی پاولینگ را نشان می‌دهد.

این جدول همان جدول تناوبی به استثنای گازهای نادر است که فقط به علت صفر بودن الکترونگاتیوی این گازها در جدول گنجانده نشده‌اند. نتیجه‌ای که از این جدول می‌توان گرفت آن است که عناصر مستقر در خانه طرف راست و گوشش فوقانی جدول خیلی الکترونگاتیو هستند و الکترونگاتیوی آنها تقریباً $e \geq 2 eV$ است. این دسته از عناصر شبیه

1. Linus Carl. Pauling (1901)

I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B			I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	Gaz rares	
H 2.20																	He	
Li 0.97 1.47 0.98 1.57 0.94 1.46	8e											B 2.01 2.04 2.01	C 2.50 2.55 2.63	N 3.07 3.04 2.33	O 3.50 3.44 3.17	F 4.10 3.98 3.91		Ne
Na 1.01 1.23 0.93 1.31 0.93 1.32	Mg											Al 1.47 1.61 1.81	Si 1.74 1.90 2.44	P 2.06 2.19 1.81	S 2.44 2.58 2.41	Cl 2.83 3.16 3.00		A
K 0.91 0.82 0.80	Ca 1.04 1.00	Sc 1.20 1.36	Ti 1.32 1.54	V 1.45 1.63	Cr 1.56 1.66	Mn 1.60 1.55	Fe 1.64 1.83	Co 1.70 1.88	Ni 1.75 1.91	Cu 1.75 1.90 1.36	Zn 1.68 1.65 1.49	Ga 1.82 1.81 1.95	Ge 2.02 2.01	As 2.20 2.18 1.75	Se 2.48 2.55 2.23	Br 2.74 2.96 2.76	Kr	
Rb 0.89 0.82	Sr 0.99 0.95	Y 1.11 1.22	Zr 1.22 1.33	Nb 1.23	Mo 1.30 2.16	Tc 1.38	Ru 1.42 2.28	Rh 1.45 2.20	Pd 1.36 1.93 1.36	Ag 1.42 1.48 1.4	Cd 1.48 1.49 1.78	In 1.72 1.78 1.80	Sn 1.72 1.96 1.65	Pb 1.82 2.05 2.10	Te 2.01 2.21 2.56	I	Xe	
Cs 0.86 0.79	Ba 0.97 0.89	La 1.08 1.10	Ce 1.06 1.12	Pr 1.07 1.13	Nd 1.07 1.14	Pm 1.07	Sm 1.07 1.17	Eu 1.01 1.20	Gd 1.11 1.10	Tb 1.10 1.22	Dy 1.10 1.23	Ho 1.10 1.24	Er 1.11 1.25	Tm 1.11 1.27	Yb 1.08 1.27	Lu		
			Hf 1.23	Ta 1.33	W 1.40 2.36	Re 1.46	Os 1.52	Ir 1.55 2.28	Pt 1.44 2.28	Au 1.42 2.54	Hg 1.44 2.00	Tl 1.44 2.04	Pb 1.66 2.33	Bi 1.67 2.02	Po 1.76 2.02	At 1.98	Rn	
Fr 0.86	Ra 0.97	Ac 1.00	Th 1.11	Pa 1.14	U 1.22 1.38	Np 1.22 1.36	Pu 1.28	Am 1.28	Cm 1.2	Cf 1.2	Es 1.2	Fm 1.2	Md 1.2	No 1.2	Lw 1.2			
I	II	III	IV	II	II	II	II	II	II	II	II	III	IV	III	II	I		

جدول (۲-۵) جدول الکترونگاتیو نسبی پاولینگ. این جدول به سه طریق مختلف اندازه گیری شده است که نتایج هر سه روش داده شده است اعداد ردیف اول و میان نتایج حاصله از روش پاولینگ است.

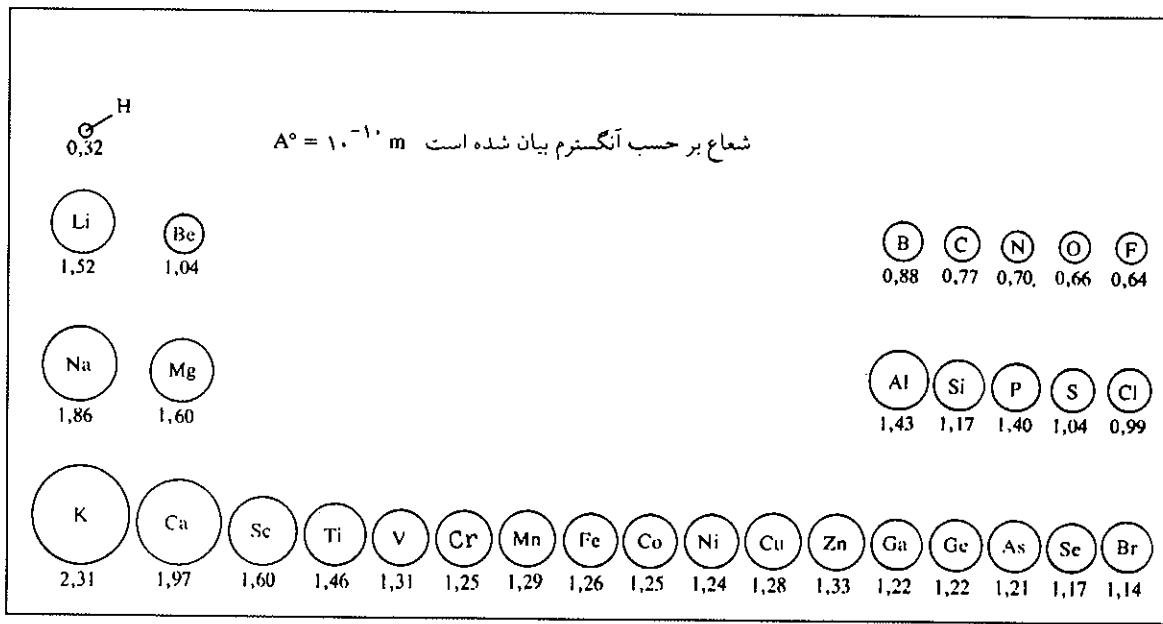
فلزات Nonmetals نامیده می شوند و حال آنکه بقیه فلزات Metals نام دارند و بخصوص در گوشة پایین و چپ جدول فلزاتی قرار گرفته که خیلی الکتروپوزیتیو هستند. هیدروژن وضعیت حد واسط را داراست کمی الکترونگاتیو و کمی الکتروپوزیتیو می باشد.

$$e = 2/1 \text{ ev}$$

(e) شعاع اتمی و شعاع یونی (Atomic and Ionic Radius)

شعاع اتمی عناصر بر حسب ساختار الکترونی آنها متفاوت از یکدیگر بوده و این تفاوت تناوبی می باشد. همانگونه که از شکل (۲-۲۰) استنباط می شود با افزایش عدد اتمی در هر ستون از جدول تناوبی شعاع اتمی نیز افزایش می یابد و این افزایش طبیعی

است زیرا تعداد قشرها از تناوبی به تناوب دیگر اضافه شده است ولی بر عکس در یک تناوب (خط افقی) با افزایش عدد اتمی شعاع اتمی نزول می‌نماید و دلیل آن تکمیل شدن اوربیتالهای یک قشر و رسیدن به آرایش نزدیک به گاز نادر تناوب مربوطه است.



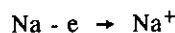
عمل یونش تغییرات مهمی در شعاع اتمی عناصر می‌دهد. به طور واضح شعاع کاتیون یک عنصر کوچکتر از شعاع اتم همان عنصر است و بر عکس شعاع آئیون یک عنصر به طور آشکار بزرگتر از شعاع اتمی همان عنصر است. مثالهایی که در جدول (۲-۶) داده شده است مشخص کننده این تفاوت می‌باشد.

شعاع کاتیون	شعاع اتم	شعاع آئیون	شعاع اتم
Li^+ ۰/۸ Å	Li ۱/۵ Å	Cl^- ۱/۸	Cl ۱ Å
Na^+ ۱ Å	Na ۱/۹ Å	O^{2-} ۱/۴ Å	O ۰/۷ Å
K^+ ۱/۳ Å	K ۲/۳ Å	S^{2-} ۱/۸۴ Å	S ۱/۲۷ Å
Rb^+ ۱/۵ Å	Rb ۲/۴ Å	S^{6+} ۰/۲۹ Å	S ۱/۲۷ Å
Cs^+ ۱/۶ Å	Cs ۲/۶ Å	N^{7-} ۱/۷۱ Å	N ۰/۹۲ Å
Ca^{2+} ۱ Å	Ca ۱/۷ Å	N^{5+} ۰/۱۱ Å	N ۰/۹۲ Å
	Fe^{2+} ۰/۷ Å	Fe ۱/۲ Å	
	Fe^{3+} ۰/۶ Å	Fe ۱/۲ Å	

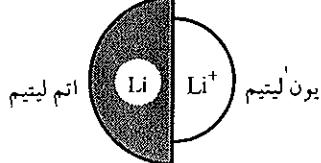
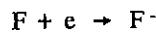
جدول (۲-۶) (جدول مقایسه شعاع بونی و شعاع اتمی)

(۲) قدرت اکسیدگی و کاهندگی

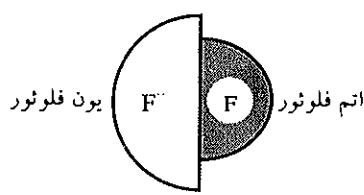
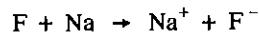
مادامی که یک عنصر الکترون از دست می‌دهد گویند عنصر اکسید شده است.



در این عمل عنصر سدیم اکسید شده است.
بر عکس اگر عنصر الکترون جذب نماید گویند عنصر احیا شده است.

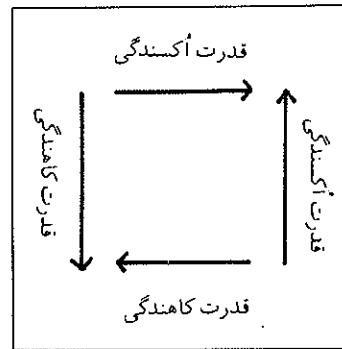
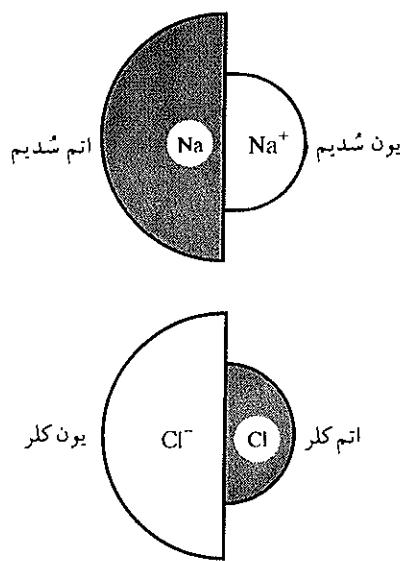


در عمل اخیر عنصر فلور احیا شده است.
اگر دو عمل فوق با هم توأم شود گویند واکنش اکسایش و کاهش انجام گرفته است.



سدیم کاهنده و فلور اکسنده بر عکس، سدیم اکسیده شده و فلور احیا گردیده است.
(مراجعه شود به فصل مربوط به اکسایش و کاهش در همین کتاب).
جسم یا عنصر اکسنده قوی ماده‌ای است که می‌تواند به سهولت الکترون جذب نماید
ولی بر عکس کاهنده قوی ماده‌ای است که به سهولت الکترون از دست می‌دهد. این دو
خلاصت به طور آشکار بستگی به انرژی یونش و الکترون خواهی عناصر دارد. تغییرات
قدرت اکسندگی و یا کاهنده‌گی عناصر در جدول تناوبی به صورت فلش در شکل (۲-۲۱)
نشان داده شده است.

بنابر شکل (۲-۲۱) فلور اکسنده‌ترین و بر عکس فرانسیم و یا سریزیم کاهنده‌ترین
عناصر می‌باشند.



اشکال فرق به خوبی تغییرات شعاع
کاتیون و آئیون را در مقابل شعاع اتم
مربوطه شان مشخص می‌کنند و
مشاهده می‌شود که شعاع کاتیون
کوچکتر از شعاع اتمشان و بر عکس
شعاع آئیون بزرگتر از شعاع اتم
مربوطه اش می‌باشد.

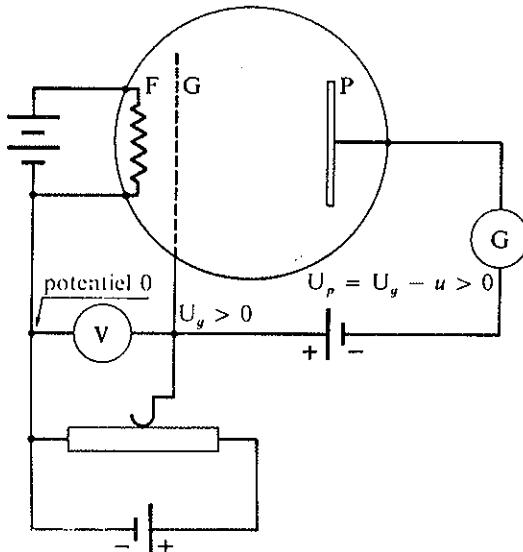
شکل (۲-۲۱) نمودار توانایی اکسایش و احیا

پ) تعیین توازن‌های انرژی در اتمهای سنگین تو از هیدروژن
در دستگاهی مطابق شکل (۲-۲۲) الکترونهای منتشره از رشته سیم گرم شده F به وسیله شبکه G شتابی می‌گیرند، زیرا پتانسیل شبکه G بیشتر از پتانسیل رشته سیم F است به نحوی که $V_G - V_F > 0$. و نیز پتانسیل G قابل تغییر است و می‌توان آنرا به دلخواه اضافه کرد.

اغلب الکترونها از سوراخهای موجود در شبکه از آن گذشته و به صفحه p که اختلاف پتانسیل مختصرآ نسبت به شبکه G منفی ولی به هر حال پتانسیل بیشتری از رشته سیم F دارد، می‌رسند. صفحه p الکترونها را متوقف و کماکان آنها را جذب می‌کند. سرعتی که

الکترونها بین F و G کسب کرده‌اند برای جذب آنها در p کافی است. یک میکرو آمپرسنج شدت جریان به وجود آمده در صفحه p را اندازه می‌گیرد.

بخارات گازی تک اتمی

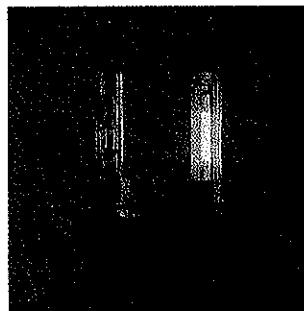


شکل (۲-۲۲) نمودار وسیله‌ای برای تعیین ترازهای انرژی در گازی تک اتمی

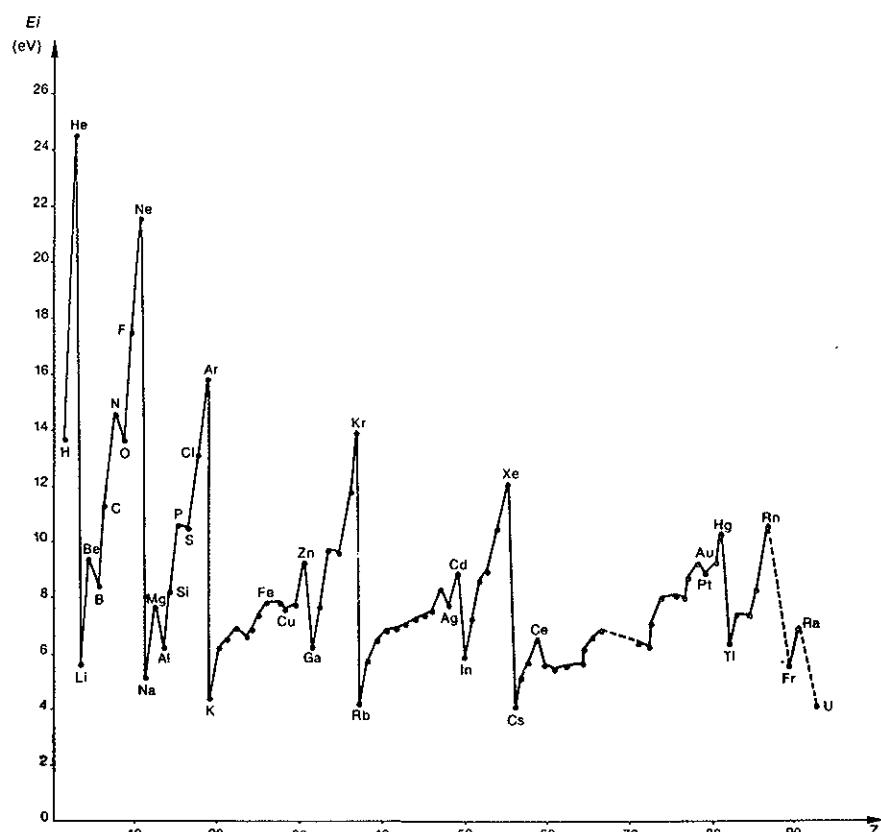
در محفظه شیشه‌ای گاز تک اتمی مثلاً بخارات جیوه و یا سدیم را تحت فشار بسیار کم وارد می‌نمایند. برخی از اتمها در مسیر الکترونها قرار گرفته و تصادمی با آنها دارند. با افزایش پتانسیل شبکه G شدت جریان به تدریج اضافه می‌شود (در شرایطی که $V_G - V_p > 0$) همیشه مثبت باقی بماند) تعداد الکترونها برای رسیدن به p بیش از بیش افروده شده و حتی اگر برخی از آنها با اتمهای گاز موجود در محفظه ضربه برگشت پذیر داشته‌اند، عملآبا انرژی جنبشی اولیه خود به صفحه p می‌رسند [برخورد الکترونها با اتمهای سنگین گاز کم و بیش کشسان (elastic) بوده و انرژی جنبشی آنها تقریباً دست نخورده می‌ماند]. زمانی که انرژی الکترونها معادل با یک پیمانه (quanta) انرژی لازم برای تحریک اتمهای بخار و رساندن آنها به حالت اولین مرحله تحریک است، شدت جریان مشاهده شده بر روی میکرو آمپرسنج یک مرتبه سقوط ناگهانی می‌کند، در چنین حالتی ضربه بین الکترونها و اتمهای گازی ناکشسان بوده و الکترون مقدار زیادی از انرژی خود را به اتم ضربه خورده و تحریک شده منتقل می‌کند و خود الکترون دیگر قادر به رسیدن به صفحه p نیست. در این حالت صفحه p فقط الکترونها بیکار نیز کم است جذب می‌کند و همین دلیل افت ناگهانی شدت جریان است.

اختلاف پتانسیل شبکه G را باز زیادتر و زیادتر می‌کنیم. مشاهده می‌شود که افت پی در پی شدت جریان متناسب با انتقال هر یک از ترازهای اصلی اتمهای بخار و رسیدن آنها به ترازهای برانگیخته بالاتر است. شدت جریان اندازه‌گیری شده در هر سقوط معادل با یکی از ترازهای انرژی اتمهای گازی می‌باشد. تغییرات اختلاف پتانسیل را در این آزمایش می‌توان آنقدر ادامه داد که اتمهای گاز کاملاً یونیده شوند. اتمهای گاز ضربه خورده به یکی از حالات برانگیخته رسیده و چون این وضعیت برای آنها غیرقابل تحمل است (در زمانی کمتر از

^{۱۰} ثانیه) پیمانه انرژی کسب کرده بعد از برخورد را به صورت فوتون نوری پس می‌دهند و به حالت پایدار اولیه خود بر می‌گردند. این دو عمل را برازگیختگی و والانگیختگی گویند. یک طیف‌نگار مقدار دقیق انرژی فوتونهای منتشره را تعیین می‌کند که تعداد آنها دقیقاً متناسب با افت شدت جریان مربوطه خواهد بود. با افزایش مداوم انرژی الکترونها طیف‌نگار خطوط متعددی را نشان می‌دهد و از آنجا ترازهای مختلف انرژی اتم گازی به دست می‌آید. اگر پتانسیل G باز هم اضافه شود و بمباران اتمهای گاز ادامه پیدا کند زمانی می‌رسد که طیف‌نگار یک طیف پیوسته نشان خواهد داد. با اندازه‌گیری طول موج ابتدایی این طیف متوالی می‌توان فرکانس و سپس انرژی این تراز را که انرژی یونش اتمهای گازی موجود در محفظه است بدست آورد که آنرا اولین انرژی یونش اتمهای گاز می‌نامند. اگر بمباران اتمهای گازی به وسیله فوتونهای فرابنفش و یا پرتو X انجام گیرد ضربه‌های وارد شده به اتمهای گاز الکترونها عمیق‌تر از الکترون ظرفیت را می‌کنند. با جذب کردن این الکترونها و قرار دادن آنها در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی می‌توان انرژی آنها را



دو نوع لامپ طیفی. لامپ روشن منشکل از بخارات جیوه است و لامپ خاموش از بخارات سدیم تشکیل شده است.



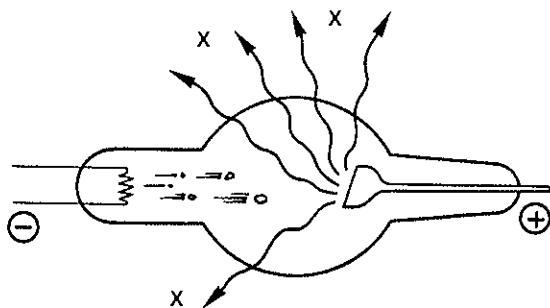
شکل (۲-۲۳) انرژی اولین یونش عناصر بر حسب عدد اتمی آنها

محاسبه نمود، E_{hv} . انرژی فوتون فرابنفش یا پرتو X که برای کندن الکترون به کار برد شده مشخص و مقدار آن برابر $h\nu$ است. با توجه به رابطه $E_{\text{hv}} = E_i + E_e$ و از آنجا $E_i = h\nu - E_e$ عبارتست از انرژی یونش اتم گازی ضربه خورده است. رابطه بین اولین انرژی یونش و خواص شیمیایی در شکل (۲-۲۳) به صورت ترسیمی داده شده است. انرژی اولین یونش در محور افقی و عدد اتمی در محور عمودی، تناوبی بودن خواص شیمیایی را مطابق آنچه در جدول تناوبی دیده می‌شود نشان می‌دهد.

در این منحنی مشاهده می‌شود که اولین انرژی یونش گازهای نادر بسیار بالا و از آنجا عدم تمايل به ترکیب شیمیایی آنها با هم و یا با عنصر دیگر آشکار می‌شود و نیز مشاهده می‌شود که انرژی یونش آنها بالافزایش Z تنزل می‌کند زیرا الکترونهای قشر آخر در اتمهای سنگین وابستگی کمتری به هسته دارند.

(a) طیف نگاری پرتو X و درک ترازهای انرژی

فهم ترازهای انرژی در اتمها و مولکولها، بسیار بارور و در توضیح پدیده‌های شیمی فیزیکی اهمیت فراوان دارد. پرتوهای X را به دلیل آنکه سالهای مديدة طبیعت آنها نامعلوم بود (X) نام نهادند. این پرتوها را از بمباران الکترونی مواد و یا ترکیبات عناصر مختلف با الکترونهایی که انرژی فراوان دارند به دست می‌آورند. شکل (۲-۲۴) به طور خلاصه دستگاه تولید پرتو X را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۲۴) لوله Coolidge برای تولید پرتو X. الکترونهایی که سرعت بسیار زیاد کسب کرده‌اند به آند که از مواد مختلف درست شده اصابت کرده و اتمهای ضربه خورده از خود پرتو X منتشر می‌کنند.

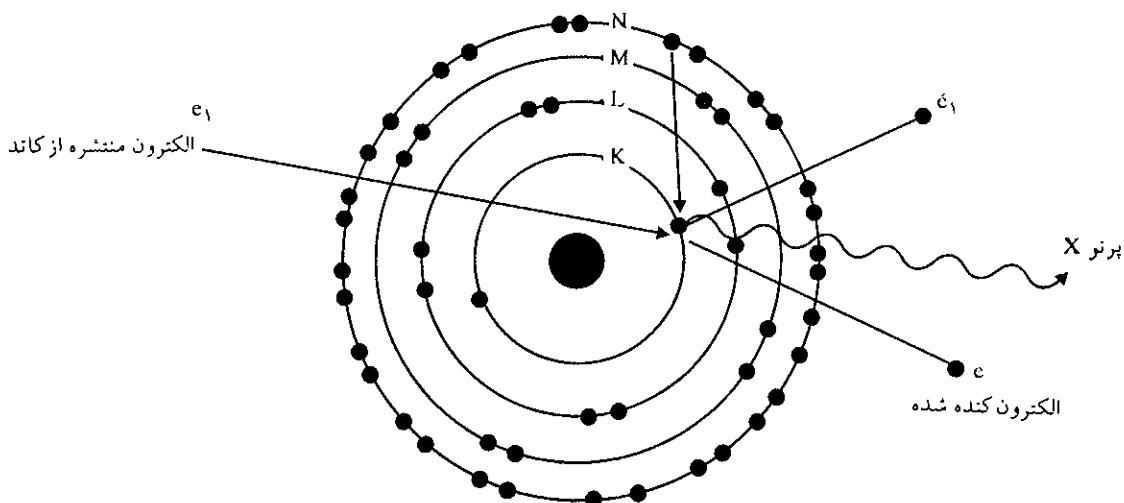
(b) طیف نشری

با اندازه‌گیری طول موج پرتوهای X مستقره از یک ماده وجود طیف پیوسته در بسامدهای بالا مشاهده می‌شود. بر روی این طیف پیوسته طیفهای خطی (ناپیوسته) منطبق می‌باشد. از تابش پرتوهای X بر روی بلورهایی با فاصله بین شبکه‌ای مشخص می‌توان طول موج پرتو X را اندازه گرفت. از بلورهایی که فاصله بین شبکه‌ای آنها در حدود آنگستروم است (10^{-8} cm) باید استفاده کرد. مثلاً بلور سدیم کلرید فاصله بین شبکه‌ای در حدود ۳ آنگستروم دارد و بسیار مناسب می‌باشد. تکنیکهای مختلفی در تولید پرتو X ممکن است پیش آید.

۱) اتم ضربه خورده یک کوانتا انرژی کسب کرده و به تراز بالا می‌رود و چون این حالت ناپایدار است لذا در برگشت به حالت اصلی خود فوتونهای X با انرژی بسیار زیاد منتشر می‌کند.

(معمولًاً ترازهای انرژی یک اتم را از نزدیکترین قشر به هسته به ترتیب K و L و M و N و O و Q معرفی می‌کنند)

۲) اغلب الکترونها متشtere از کاتد انرژیشان بیشتر از انرژی پیوند الکترون قشر K ای فلز یا ترکیب مورد آزمایش قرار داده شده در آند است. لذا آنرا از اتم جدا می‌کنند. در این حالت حفره‌ای در قشرهای عنصر مورد آزمایش به وجود می‌آید شکل (۲-۲۵). حفره مزبور بلافاصله بهوسیله یکی از الکترونها قشرهای بالاتر مثلًاً M یا N پر می‌شود، این جابجایی مصادف با انتشار یک پرتو X می‌باشد.

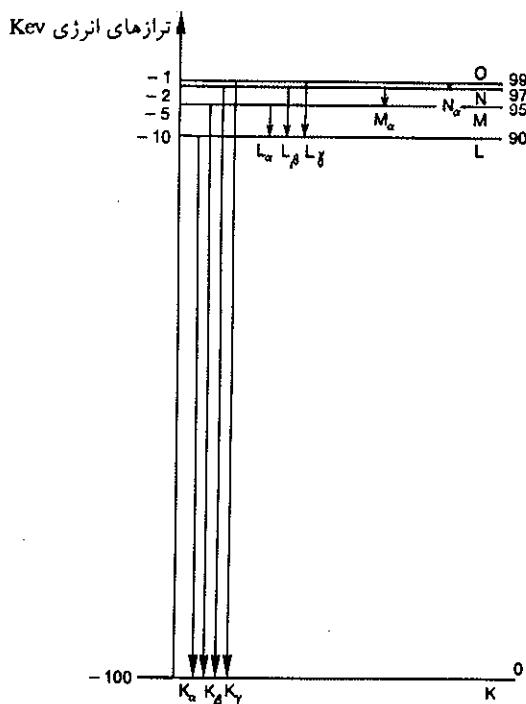


شکل (۲-۲۵) تجسمی از چگونگی انتشار پرتو X از یک اتم ضربه خورده

در شکل (۲-۲۶) نمودار ترازهای انرژی اتم را به طور ایجاز نشان می‌دهیم باید توجه داشت که نمودار ترازهای انرژی اتمها بسیار پیچیده و هر یک از ترازهای نشان داده شده در این نمودار، خود متشکل از چندین تراز دیگر است. و ضمناً باید خاطر نشان کرد که انرژی پرتوهای X هرگز نمی‌تواند انرژی بیشتری از الکترون پرتاب شده داشته باشند به نحوی که $E_e < E_X$. ضمناً ارزش انرژی داده شده در محور افقی حدود انرژی ترازها را مشخص می‌کنند. در حقیقت هر اتمی ترازهای انرژی مشخص و مخصوص به خود دارد و ارزش آنها با افزایش عدد اتمی نزول می‌نماید.

۴) جذب پرتو X

یک ماده می‌تواند پرتوهای X را که انرژی آنها معادل پیمانه‌های انرژی مجاز ترازهای



شکل (۲-۲۶) نمودار ساده شده از ترازهای انرژی یک اتم چند الکترونی ارزشها تقریبی بوده و قدر مطلق انرژیها از اتمی به اتم دیگر فرق می‌کند.

$$E_{K\alpha} = |100| - |10| = 90 \text{ kev}$$

$$K_\beta = |100| - |5| = 95 \text{ kev}$$

$$K_\gamma = |100| - |2| = 98 \text{ kev}$$

$$L_\alpha = |10| - |5| = 5 \text{ kev}$$

اتمی اش است جذب نماید. این پدیده مشابه جذب پرتوهای نوری توسط اتمها می‌باشد با این فرق که پرتوهای X به وسیله الکترونهای مستقر در قشرهای عمیق اتم جذب می‌شوند. موادی که عدد اتمی آنها Z خیلی بزرگ است ترازهای انرژی متعددی دارند و درنتیجه قادرند پرتوهای X را که از یک طیف پیوسته حاصل شده جذب نمایند (طیف پیوسته عبارت است از تعداد زیاد پرتوهایی با انرژیها و یا طول موجهای نزدیک بهم که درنتیجه خطوط طیفی آنها تقریباً بر یکدیگر منطبق می‌شوند).

از این پدیده در پرتونگاری به وسیله پرتو X استفاده می‌شود. اغلب پرتوهای X تابیده شده بر بدن شخص مورد معاينه توسط اتمهای فسفر (P) یا کلسیم (Ca) موجود در استخوانها جذب می‌شوند و حال آنکه اتمهای اکسیژن ازت کربن و هیدروژن (O, C, N, H) موجود در قسمتهای گوشتی بدن کمتر این پرتوها را جذب می‌کنند.

اگر پرتوهای X انرژی بسیار زیادی داشته باشند، جذب آنها به وسیله اتمها توأم با کندن الکترون قشرهای عمیق می‌باشد. با دانستن انرژی فوتون X و اندازه گیری انرژی جنبشی الکترون کنده شده می‌توان انرژی پیوند اتم ضریبه خورده را اندازه گرفت. $E_e + E_b = E_{(x)}$ که در آن E_e انرژی جنبشی الکترون کنده شده و E_b انرژی پیوند الکترون به اتم است. اندازه گیری انرژی پیوند یک الکترون پیوندی در مولکولها اطلاعات دقیقی از چگونگی پیوند مولکولها به دست می‌دهد.

(d) طیف پرتو ۷

هسته اتمها نیز می‌توانند ترازهای انرژی اصلی و برانگیخته داشته باشند. اختلاف بین این ترازها در حدود میلیون الکترون (Mev) می‌باشد. جهش مجاز از یک تراز برانگیخته بالا به تراز اصلی پایین‌تر هسته همراه با انتشار پرتوهای γ می‌باشد و حال آنکه جهش مجاز در ترازهای درونی اتمها همانطور که دیدیم مصادف با انتشار پرتوهای نورانی و یا ماکزیمم پرتوهای X با انرژیهای در حدود 5 kev تا 100 kev می‌باشد.

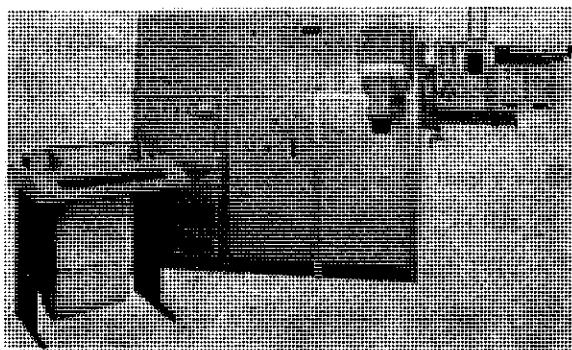
(e) طیف مولکولی

در مورد مولکولها ترازهای انتقالی مجاز نیز مشاهده شده متنه این جهشها همراه با انتشار فوتونهایی واقع در ناحیه زیر قرمز با انرژیهای در حدود $10^{-4}\text{ to }10^{-2}$ الکترون ولت است. مشاهده شده است که مولکولها در قلمرویی بسیار بسیار دورتر از زیر قرمز می‌توانند فوتونهایی منتشر و یا جذب کنند. طیف جذبی و یا نشری این مولکولها را با طیف نگارهای بینهایت حساس (که می‌توانند نوارهای مربوطه را تجزیه کرده و خطوط بسیار ظریف نزدیک بهم را هویدا و تراز انرژی آنها را معین کند) تشخیص می‌دهند. این طیفها مربوط به حرکتهای ارتعاشی Vibration و یا چرخشی rotation کوانتایی مولکولها می‌باشند. در مورد حرکتهای نوسانی، خطوط طیفی انرژیهای در حدود $10^{-4}\text{ to }10^{-2}$ الکترون ولت دارند و حال آنکه حرکتهای چرخشی در قلمرو ده هزارم (10^{-4}) الکترون ولت، خطوطی بر روی طیف نگار ظاهر می‌سازند.

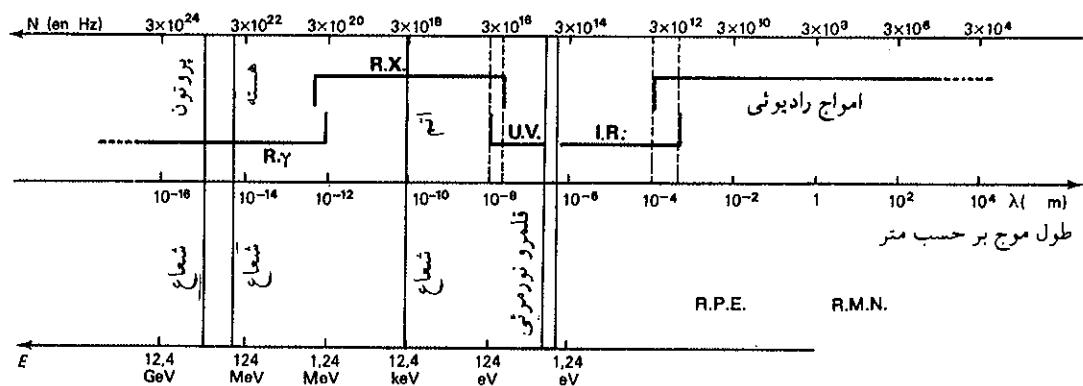
(f) رزونانس EPR و رزونانس N.M.R

در ترکیبات می‌توان ترازهای انرژی بازهم بسیار نزدیک بهم پیدا نمود. با استفاده از خواص الکترونها و یا نوکلئونها (هسته‌ها) و تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر روی مولکولها، جهشها را رزونانس پارامغناطیسی الکترون E.P.R. گویند. و نیز در انرژیهایی واقع در $10^{-4}\text{ to }10^{-2}$ الکترون ولت جهشها را درون هسته اتمها به نام رزونانس مغناطیسی هسته N.M.R می‌توان ایجاد کرد. در طیفبینی و درک ترازهای انرژی با ۵ حالت گفته شده در فوق آشنا شدیم و دیدیم که ترازهای انرژی کوانتایی اتمها، هسته اتمها و مولکولها در گستره بسیار وسیعی از انرژی یعنی در بین $10^{-4}\text{ to }10^{-2}$ الکترون ولت واقع شده است. خطوط طیفی واقع شده در این گستره وسیع امکانات بسیار زیادی در اختیار مانهاده تا ساختار هسته اتمها، اتمها و مولکولها و ترکیبات متعدد شیمیایی موجود در طبیعت و یا سنتز شده به وسیله بشر را تشخیص دهیم. امروزه به کمک ار迪ستاتورهای بسیار قوی و طیف‌سنجهای بسیار حساس می‌توان تمام خطوط واقع شده در این گستره وسیع را با دقت بسیار از هم تمیز داد. پیشرفت در دستگاههای الکترونیکی و ساختن طیف‌سنجهای حساس کار شیمیستها و بیو شیمیستها و کلیه علومی که با عناصر و مولکولهای آنها سروکار دارند ساده نموده است. برای تجزیه کیفی و یا کمی مواد معدنی یا فلزات یا تجزیه انواع و اقسام مولکولها و ترکیبات معدنی یا آلی و یا تجزیه خون و ادرار و... امروزه بدون احتیاج به عملیات شیمیایی خسته کننده و اجرای اعمالی از قبیل رسوب دادن و کلسینه کردن و وزن کردن و... فقط به کمک طیف‌بینی می‌توان سریعاً و با دقت بسیار زیاد کیفیت و کمیت ماده مورد نظر را مشخص کرد. در نیمة اول قرن بیستم تجزیه کیفی و کمی به طریق آزمایشگاهی

انجام می‌گرفت در دو دهه ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ روش‌های متکی بر طیفسنجی جرمی و یا تجزیه بوسیله پرتوزاکردن در اوج شهرت و موفقیت خود بودند ولی اکنون روش‌های طیفبینی خواه در قلمرو پرتوهای لا یا X و یا فرابنفش و زیر قرمز جایگزین همه روش‌های پیشین شده است و در واقع قیافه آزمایشگاههای شیمی تجزیه که سابق بر این، شباخت به آشپزخانه‌ها را داشت عوض شده و دستگاههای الکترونیکی و ابزارهای طیف نگاری جایگزین قرع و انقب و کوره و ترازووها شده‌اند. سابق بر این قسمت اعظم معلومات ما در علم شیمی متکی بر محفوظات ما بود ولی اکنون چنین نبوده و فهم ساختار الکترونی اتمها ما را از حفظ کردن مشخصات شیمیایی فرد فرد عناصر و ترکیبات آنها بی‌نیاز کرده است. در سالهای ۱۳۳۸ تا ۱۳۴۲ که لیسانس شیمی را در دانشکده علوم دانشگاه تهران می‌گذراندیم حداقل می‌بایستی بیش از دو هزار صفحه مطلب درباره شیمی آلی حفظ کنیم اما قسمت اعظم این محفوظات در چند ماه بعد از امتحانات از خاطر می‌رفت و حال آنکه امروزه شیمی آلی که به نظر سخت‌ترین و خسته‌کننده‌ترین بخش شیمی است به مدد شناخت نظریه‌های مکانیک موجی درباره پیوندهای شیمیایی جلوه‌ای دیگر به خود گرفته و فهم و منطق جایگزین محفوظات شده است. جدولهای وسیع که ترازوهای انرژی عناصر مختلف و یا ترکیبات آنها را در گستره وسیعی از انرژی یا طول موج بر حسب حروف الفبا ای آنها مشخص می‌کند در آزمایشگاهها در دسترس همگان قرار دارد و با توجه به آنها و مقایسه با طیفی که از دستگاه طیفبین و چاپگر ضمیمه به اردیناتور آن خارج می‌شود، بدون تردید، کیفیت و کمیت عنصر یا ترکیب را می‌توانیم تشخیص بدھیم.



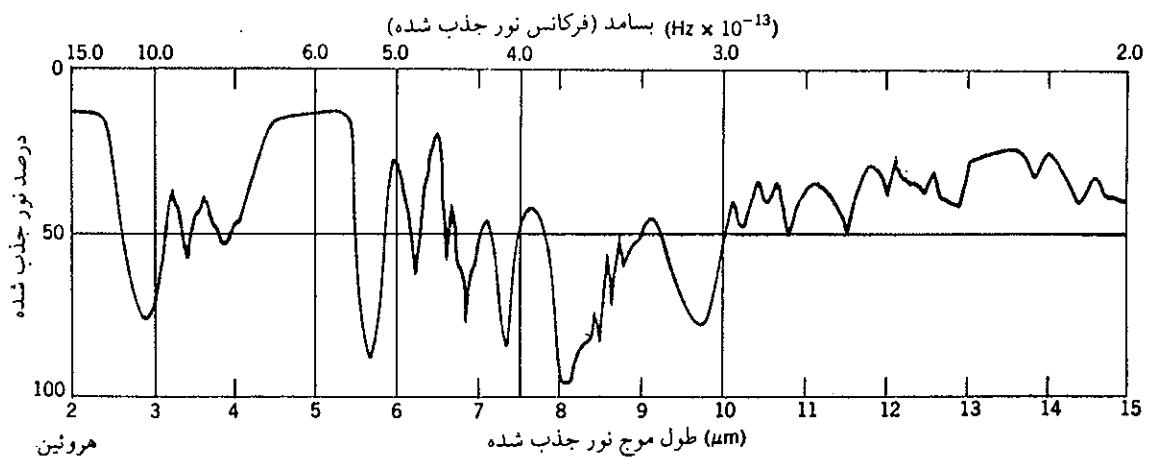
شکل (۲-۲۷) دستگاه طیفبینی که در صنعت متالورژی برای تجزیه فلزات به کار برده می‌شود. دستگاه تجزیه کننده داده‌ها، تبدیل فوتون به الکترون و بر عکس را به عهده دارد. نسبت درصد هر عنصر در نمونه به کمک یک اردیناتور محاسبه می‌شود. این دستگاه در چند ثانیه نسبت درصد نمونه جامد یا مایعی را که به درستی تهیه شده به دست می‌دهد.

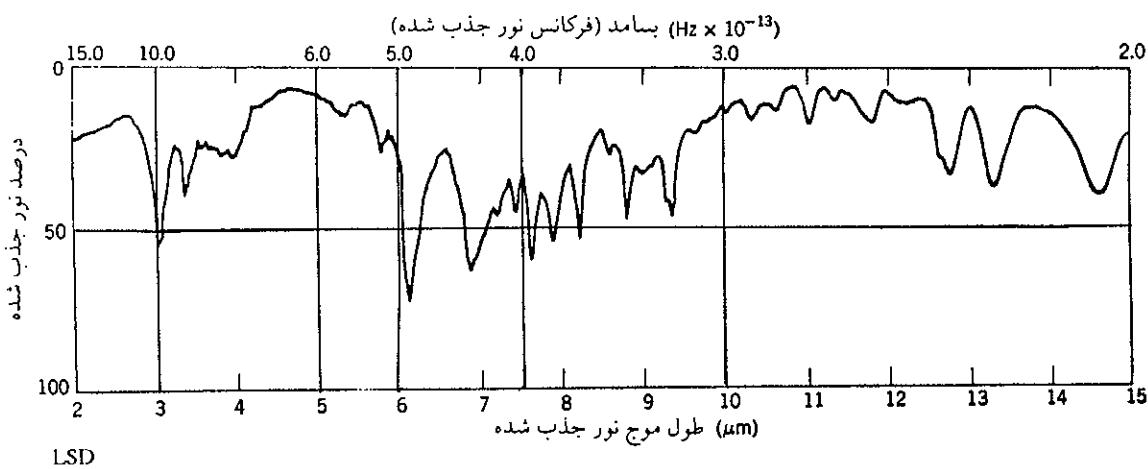


شکل (۲-۲۸) قلمرو پرتوهای منتشره با جذب شده به وسیله ترازهای مختلف هسته اتمها، اتمها یا مولکولها بر حسب الکترون ولت و طول موج بر حسب متر و بسامد (Hz) بر حسب هرتز (HZ).

$$IR = \text{زیرقرمز} , UV = \text{فرابینکش} , RX = \text{پرتو} \gamma$$

به عنوان مثال کاربرد طیف‌نگار را در مورد تشخیص دو نوع ماده مخدوش روئین و LSD که از رزونانس مولکولهای آنها در اثر طیف جذبی بدست آمده است می‌دهیم. طیف اول مربوط به طیف جذبی در مولکول هروئین است و طیف دوم مربوط به طیف جذبی در مولکول LSD می‌باشد. در محور افقی درصد نور جذب شده و در محور عمودی طول موج نور جذب شده بر حسب میکرو متر داده شده است، در بالای طیف بسامد نور جذب شده بر حسب $10^{-13} \times Hz$ داده شده است.





تمرین (۲-۹) به کمک فرضیه‌های بوهر ثابت کنید که انرژی الکترون در یک اتم منفی است.

تمرین (۲-۱۰) بدون مراجعه به جدول تناوبی آرایش الکترونی Ra^{++} و Rn^{++} و Fr^{+} و Cl^{-} و O^{--} و Al^{13} و Ne و Ca^{++} و F^{-} و Ar^{+} و Ti^{2+} و K^{+} را مشخص نموده و بگویید کدام یک از اینها با هم ایزوالکترونیک^۱ (هم الکترون) می‌باشد؟

تمرین (۲-۱۱) بدون مراجعه به جدول تناوبی عدد اتمی گازهای نادر را مشخص کنید. با دانستن اینکه قشر نهایی کلیه این عناصر بجز هلیم دارای آرایش $\text{n}P^6$ و $\text{s}S^2$ می‌باشد.

تمرین (۲-۱۲) عدد اتمی عنصری 10^4 است، آرایش الکترونی این عنصر را بر حسب انرژی صعودی الکترونها بش مشخص کنید.

تمرین (۲-۱۳) چرا سدیم در ترکیباتش به صورت Na^+ است و Na^{++} نیست؟

تمرین (۲-۱۴) بدون مراجعه به جدول تناوبی، بگویید عناصری که عدد اتمی آنها به ترتیب ۳ و ۱۴ و ۸ و ۱۷ و ۳۷ و ۵۶ می‌باشد متعلق به چه گروهی از جدول تناوبی هستند.

تمرین (۲-۱۵) با استفاده از جدول تناوبی ضمیمه اوین انرژی یونش کلیه عناصر را بر حسب عدد اتمی آنها بر روی یک برگ کاغذ شترنجی می‌لیمتری وسیع منتقل نموده و نقاط بدست آمده را تفسیر کرده و بگویید آیا می‌توان به کمک منحنی فوق تناوبی بودن عناصر را تأیید کرد یا نه؟

تمرین (۲-۱۶) در نظریه موجی نور، شدت نور عبارت بود از مربع ارتفاع ماکزیمم Maximum Amplitude میدانهای الکترونی و مغناطیسی، در نظریه ذرهای شدت نور به چه چیز بستگی دارد؟

تمرین (۲-۱۷) خطوط درخشان طیف نشی بخار جیوه متناسب با طول موجهای ۱۶۵۰ و ۲۵۲۶ و ۳۶۵۰ و ۵۴۶۰ و ۷۳۴۶ آنگسترم است. انرژی متناسب با هر یک از این خطوط را مشخص نماید و نیز بگویید خطوط مذبور در چه ناحیه‌ای از طیف الکترومغناطیسی قرار دارند.

تمرین (۲-۱۸) در طیف نگار پرتو X آند تشکیل شده از مس، پرتو منتشره از آند بعد از برخورد به بلوری به فاصله بین شبکه‌ای یک آنگسترم شکستی برابر با ۲۵ درجه حاصل می‌نماید. انرژی پرتو منتشره از آند را حساب کنید.

تمرین (۲-۱۹) برای گذار الکترون اتم هیدروژن از تراز اول به تراز چهارم چه مقدار انرژی لازم است و فرکانس پرتوی که این عمل را نجام می‌دهد چقدر باید باشد؟ اگر رجعت الکترون مزبور در دو مرحله انجام گبرد، یعنی ابتدا به تراز دوم و بعد به تراز اول جهش کند انرژی و فرکانس پرتوهای منتشره را حساب کنید.

تمرین (۲-۲۰) انرژی یونش یک مول اتم هیدروژن را ابتدا بر حسب الکترون ولت و سپس بر حسب کیلو کالری بر مول حساب کنید.

تمرین (۲-۲۱) اگر الکترون اتم هیدروژن در تراز چهارم باشد، چه ترکیباتی از اعداد کوانتمی به آن تعلق می‌گیرد؟ اوربیتالهای مربوطه را مشخص نماید.