www.KONKUR.IN

۱ ساختار اتم

فهرست:

بخش ۱:
ذره‌های زیر اتمی... ۲
بخش ۲:
تاریخچه‌ی تکامل نظریه‌ی اتمی ۶۹
آزمون جامع ۱۱۰



شناسنامه ی فصل:

اتم کوچک‌ترین واحد تشکیل‌دهنده یک عنصر شیمیایی است که خواص منحصر به فرد آن عنصر را حفظ می‌کند. تعریف دیگری آن را به عنوان کوچک‌ترین واحدی در نظر می‌گیرد که ماده را می‌توان به آن تقسیم کرد بدون این‌که اجزاء باردار از آن خارج شود. آرایش الکترونی نحوه‌ی جنبش الکترون‌ها در اوربیتال‌های اطراف هسته اتم را نشان می‌دهد. اصل آفبا (به معنی ساختن) یکی از اصول آرایش الکترونی است که می‌گوید: در پر شدن اوربیتال‌ها ابتدا اوربیتال‌های با انرژی پایین پر می‌شوند و سپس اوربیتال‌های با انرژی بالاتر.

آزمون / سال	۸۹	۸۸	۸۷
سراسری ریاضی	٪۸/۶	٪۸/۶	٪۸/۶
سراسری تجربی	٪۸/۶	٪۸/۶	٪۸/۶
آزاد ریاضی (نوبت صبح)	٪۸	٪۴	٪۱۶
آزاد ریاضی (نوبت عصر)	٪۱۲	٪۱۲	٪۸
آزاد تجربی	٪۱۰	٪۱۰	٪۵
آزاد پزشکی	٪۱۲	٪۸	٪۸

تعداد تست‌های مثال	تعداد تست‌های آموزش	تعداد تست‌های آزمون	تعداد کل تست‌ها
۱۱۱	۱۶۲	۱۲۸	۴۰۱

محتوا

پلکان آموزش ۲
ذره‌های زیر اتمی ۲
ایزوتوپ ۵
جرم اتمی ۸
اوربیتال ۱۲
عددهای کوانتومی ۱۷
آرایش الکترونی اتم ۲۷
پاسخ تست‌های پلکان آموزش ۵۳
پلکان آزمون ۶۲
پاسخ‌های پلکان آزمون ۶۶

بخش ۱

ذره‌های زیر اتمی، عددهای کوانتومی و آرایش الکترونی اتم

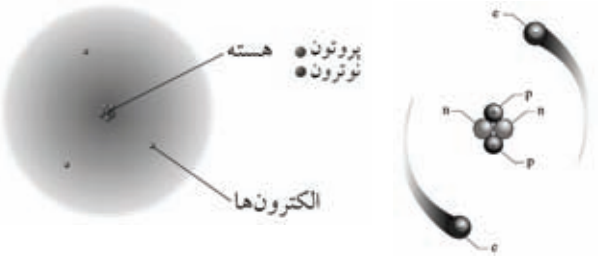
پلکان آموزش

۱ ـ ذره‌های زیر اتمی

ذره‌های زیر اتمی[۱]، ذره‌هایی هستند که در ساختار یک اتم وجود دارند. مهم‌ترین ذره‌های زیر اتمی عبارت‌اند از: **الکترون**، **پروتون** و **نوترون**. البته در ساختار اتم، ذره‌های زیر اتمی دیگری نیز وجود دارند که بحث در مورد آن‌ها خارج از محدوده‌ی این کتاب است.

۱ ـ subatomic particles

اتم از هسته‌ای بسیار کوچک ـ که پروتون‌ها و نوترون‌ها را در خود جای داده ـ و الکترون‌هایی که پیرامون آن با سرعت زیاد حرکت می‌کنند، تشکیل شده است. **الکترون** ذره‌ای است با بار منفی (−) که جرم بسیار اندکی دارد. **پروتون** ذره‌ای است با بار مثبت (+) که جرم آن ۱۸۳۷ برابر جرم الکترون است. **نوترون** ذره‌ای است که بار الکتریکی ندارد و جرم آن کمی بیش‌تر از جرم پروتون است. جرم هسته‌ی اتم تقریباً تمام جرم اتم را تشکیل می‌دهد. اتم از لحاظ الکتریکی **خنثی** است زیرا تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های آن، برابر است.



شکل «۱»

سیمای کلی یک اتم. هسته‌ای بسیار کوچک متشکل از پروتون‌های دارای بار مثبت و نوترون‌های خنثی که توسط ابری از الکترون‌های دارای بار منفی احاطه شده است.

۱ به پروتون یا نوترون، **نوکلئون** (Nucleon) یا **ذره‌ی سازنده‌ی هسته** نیز می‌گویند.

اکنون اجازه دهید به معرفی دو واژه‌ی مهم بپردازیم:

عدد اتمی (Z): عدد اتمی تعداد پروتون‌ها را در اتم مشخص می‌کند. عدد اتمی را با نماد Z نشان می‌دهند. از آن‌جا که اتم ذره‌ای خنثی است، بنابراین تعداد پروتون‌ها باید با تعداد الکترون‌ها برابر باشد. پس عدد اتمی تعداد الکترون‌های یک اتم را نیز مشخص می‌کند.

تذکر مهم: لازم است که عدد اتمی عنصرهای ۱ تا ۳۸ جدول تناوبی را حفظ باشید! این امر کمک زیادی در حل سریع‌تر تست‌های کنکور می‌نماید.

عدد جرمی (A): عبارت است از مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های یک اتم. عدد جرمی را با نماد A نشان می‌دهند:

تعداد نوترون‌ها + تعداد پروتون‌ها (عدد اتمی) = عدد جرمی

$$A = Z + N$$

۲ جرم اتم‌ها به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته‌ی آن بستگی دارد و جرم الکترون‌ها حتی اگر اتم بیش از ۱۰۰ الکترون هم داشته باشد، بر جرم اتم تأثیر چشم‌گیری نخواهد داشت. از این‌رو به مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های یک اتم، **عدد جرمی** می‌گویند.

عدد جرمی هر اتم را به‌صورت بالاوند و عدد اتمی را به‌صورت زیروندی در گوشه‌ی سمت چپ نماد شیمیایی آن می‌نویسند:

نماد شیمیایی عنصر ـــ $^{A}_{Z}X$ ـــ عدد جرمی / عدد اتمی

به‌جز اتم هیدروژن (هیدروژن معمولی یا پروتیم ($^{1}_{1}H$)) که تنها یک پروتون دارد، هسته‌ی همه‌ی اتم‌ها هم پروتون و هم نوترون دارد.

مثال ۱ **تعداد پروتون‌ها ـ الکترون‌ها ـ نوترون‌ها در عنصر $^{112}_{48}A$ به‌ترتیب کدامند؟** *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۶)*

۱) ۴۸ پروتون، ۶۴ الکترون، ۴۸ نوترون
۲) ۴۸ پروتون، ۴۸ الکترون، ۶۴ نوترون
۳) ۶۴ پروتون، ۴۸ الکترون، ۱۱۲ نوترون
۴) ۴۸ پروتون، ۶۴ الکترون، ۸۰ نوترون

طراح محترم این تست واقعاً آدم مهربون و رئوف القلبی بوده!! دیگه فکر نمی‌کنیم از این تست آسون‌تر بشه طرح کرد! عنصر $^{112}_{48}A$ دارای ۴۸ پروتون و ۴۸ الکترون است و تعداد نوترون‌ها هم از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$A = Z + N \Rightarrow 112 = 48 + N \Rightarrow N = 64$$

به یاد داشته باشید **هنگامی که یک اتم به یون تبدیل می‌شود فقط تعداد الکترون‌های آن تغییر می‌کند و تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن بدون تغییر باقی‌می‌ماند.** یک اتم با از دست دادن یک یا تعدادی الکترون، به **یون مثبت (کاتیون)** تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر یک یون مثبت نسبت به اتم خود تعداد الکترون کم‌تری دارد. برای نمونه یون Al^{3+} نسبت به اتم Al سه الکترون کم‌تر دارد، اما تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها در Al^{3+} و Al با یک‌دیگر برابر است. هم‌چنین یک اتم با گرفتن یک یا تعدادی الکترون به **یون منفی (آنیون)** تبدیل می‌شود که در این حالت یون منفی نسبت به اتم خود الکترون بیش‌تری خواهد داشت. برای نمونه یون N^{3-} نسبت به اتم N، ۳ الکترون بیش‌تر دارد، اما تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها در N^{3-} و N با یک‌دیگر برابر است.

مثال ۲ **Cd^{2+} دارای ۴۶ الکترون است، این یون چند نوترون دارد؟ (^{112}Cd)** *(المپیاد شیمی مرحله‌ی اول ۸۵ ـ ۸۴)*

۱) ۶۲ ۲) ۶۸ ۳) ۶۶ ۴) ۶۴

با توجه به این‌که یون Cd^{2+} دارای ۴۶ الکترون است می‌توان دریافت که اتم Cd دارای ۴۸ الکترون و در نتیجه ۴۸ پروتون است. از طرفی چون عدد جرمی برابر ۱۱۲ است می‌توان نوشت:

$$A = Z + N \Rightarrow 112 = 48 + N \Rightarrow N = 64$$

تعداد نوترون‌ها در Cd^{2+} و Cd با یک‌دیگر برابر است، پس یون Cd^{2+} نیز دارای ۶۴ نوترون است.

مثال ۳ **یون‌های X^{2-}_{z} و Y^{3-}_{z-1} تعداد نوترون‌های یک‌سانی دارند. در صورتی‌که عدد جرمی عنصر X برابر ۷۹ باشد، عدد جرمی عنصر Y کدام است؟**

۱) ۷۹ ۲) ۷۸ ۳) ۸۰ ۴) ۳۹

با توجه به این‌که تعداد نوترون‌ها در X^{2-} و Y^{3-} با هم برابر است می‌توان دریافت که تعداد نوترون‌ها در X و Y نیز با هم برابر است. از طرفی چون تعداد پروتون‌های (عدد اتمی) Y_{z-1} یک واحد کم‌تر از X_z است می‌توان دریافت که عدد جرمی Y_{z-1} نیز یک واحد کم‌تر از عدد جرمی X_z است. یعنی عدد جرمی Y برابر ۷۸ می‌باشد.

مثال ۴ **پراکسیدها ترکیباتی هستند که شامل یون دو اتمی O^{2-}_{2} می‌باشند. تعداد الکترون‌های این یون کدام است؟ ($_8O$)**

۱) ۱۶ ۲) ۱۰ ۳) ۱۸ ۴) ۱۴

یون O^{2-}_{2} دارای دو اتم اکسیژن است که در حالت عادی هریک ۸ الکترون دارند. با توجه به این‌که این یون دارای ۲ بار منفی است می‌توان نوشت:

تعداد الکترون‌ها در O^{2-}_{2} = $(2\times8)+2=18$ الکترون

مثال ۵ **یون PO_4^{3-} چند پروتون دارد؟**

۱) ۴۲ ۲) ۴۷ ۳) ۷۹ ۴) ۸۲

کافی است عددهای اتمی اتم‌های موجود در PO_4^{3-} را جمع کنیم:

$$\text{تعداد پروتون‌های } PO_4^{3-} = 1(p) + 4(O) = 1(15) + 4(8) = 47$$

تذکر در هسته‌ی اتم‌ها، تعداد نوترون‌ها یا با تعداد پروتون‌ها **برابر** است و یا این‌که از تعداد پروتون‌ها **بیش‌تر** است (البته به استثناء هیدروژن معمولی یا پروتیم که نوترون ندارد).

مثال ۶ **عدد جرمی عنصر X برابر ۵۱ و تفاوت تعداد نوترون‌ها و پروتون‌های هسته‌ی آن برابر ۵ است. عدد اتمی این عنصر کدام است؟**

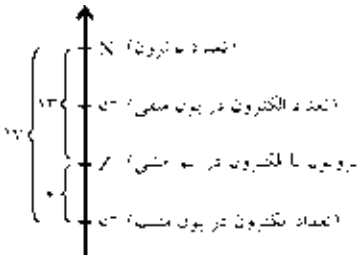
۱) ۲۱ ۲) ۲۳ ۳) ۴۶ ۴) ۲۸

همان‌طور که می‌دانید بین عدد اتمی و عدد جرمی رابطه‌ی $A = Z + N$ برقرار است. از طرفی با توجه به این‌که تفاوت تعداد نوترون‌ها و پروتون‌ها برابر ۵ است می‌توان دریافت که $N - Z = 5$ است. پس به‌جای N می‌توانیم $Z + 5$ قرار دهیم:

$$A = Z + N = Z + (Z + 5) \Rightarrow 51 = 2Z + 5 \Rightarrow 2Z = 46 \Rightarrow Z = 23$$

مثال ۷ **اگر تفاوت شمار الکترون‌ها با شمار نوترون‌ها در یون تک اتمی $^{101}X^{4+}(g)$ برابر ۱۷ باشد، عدد اتمی این عنصر و تعداد نوترون آن چند است؟**

۱) ۴۷ و ۵۴ ۲) ۴۴ و ۵۷ ۳) ۸۸ و ۷۵ ۴) ۷۶ و ۲۵



طبق نمودار روبه‌رو اتم X چهار الکترون بیش‌تر از یون X^{4+} دارد پس می‌توان گفت که در اتم X تفاوت شمار پروتون‌ها (که در واقع همان شمار الکترون‌ها است) با شمار نوترون‌ها برابر ۱۳ است ($N - Z = 13 \Rightarrow N = Z + 13$). اکنون می‌توان نوشت:

$$A = Z + N \Rightarrow 101 = Z + (Z + 13) \Rightarrow 2Z = 88 \Rightarrow Z = 44 \Rightarrow N = 57$$

مثال ۸ **یون M^{3+} دارای ۳۶ الکترون است. تفاوت تعداد نوترون‌ها و پروتون‌های هسته‌ی آن چند است؟**

۱) ۱۱ ۲) ۱۴ ۳) ۵۳ ۴) ۳۳

یون M^{3+} دارای ۳۶ الکترون است. پس اتم M دارای ۳۹ الکترون و در نتیجه ۳۹ پروتون است. با توجه به این‌که عدد جرمی این اتم معلوم است می‌توان نوشت:

$$A = Z + N \Rightarrow 89 = 39 + N \Rightarrow N = 50$$

تعداد نوترون‌ها برابر ۵۰ و تعداد پروتون‌ها برابر ۳۹ است، پس تفاوت تعداد نوترون‌ها و پروتون‌ها برابر ۱۱ ($50 - 39 = 11$) است.

مثال ۹ **عدد جرمی X^+ برابر ۲۰۰ و تعداد نوترون‌های آن ۱/۵ برابر تعداد پروتون‌هاست. تعداد الکترون‌های X را حساب کنید.**

(المپیاد شیمی مرحله‌ی اول ۸۵ ـ ۸۴)

۱) ۷۸ ۲) ۷۹ ۳) ۸۰ ۴) ۸۱

ابتدا تعداد پروتون‌ها را حساب می‌کنیم.

$$A = Z + N \xrightarrow{N=1/5Z} A = Z + 1/5Z \Rightarrow 200 = 2/5Z \Rightarrow Z = 80$$

در اتم‌های خنثی تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها برابر است، پس تعداد الکترون‌های اتم X برابر ۸۰ است.

۱ ـ در کدام‌یک از اتم‌های زیر تعداد ذرات بنیادی یا تشکیل‌دهنده آن با هم برابر است؟ *(آزاد ـ تجربی ـ ۸۵)*

۱) $^{31}_{15}P$ ۲) $^{56}_{26}Fe$ ۳) $^{27}_{13}Al$ ۴) $^{24}_{12}Mg$

۲ ـ تفاوت تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها در کدام اتم برابر ۴ است؟ *(سراسری ـ تجربی و ریاضی ـ ۷۲)*

۱) $^{56}_{26}Fe$ ۲) $^{51}_{24}Cr$ ۳) $^{27}_{13}Al$ ۴) $^{7}_{3}Li$

۳ ـ درکدام یون یا اتم، تعداد نوترون‌ها برابر تعداد پروتون‌هاست؟ *(المپیاد شیمی مرحله‌ی دوم ۸۴ ـ ۸۳)*

۱) $^{47}_{22}Ti^{3+}$ ۲) $^{7}_{3}Li$ ۳) $^{2}_{1}H$ ۴) $^{23}_{11}Na^{+}$

۴ ـ در کدام ذره‌ی زیر تفاوت نوترون و الکترون کم‌تر است؟

۱) $^{39}_{19}K^{+}$ ۲) $^{19}_{9}F^{-}$ ۳) $^{31}_{15}P^{3-}$ ۴) $^{32}_{16}S^{2-}$

۵ ـ یون X^{3+} دارای ۳۶ الکترون و ۵۰ نوترون است. عدد اتمی و عدد جرمی عنصر X به‌ترتیب کدامند؟

۱) ۳۳ و ۸۳ ۲) ۳۹ و ۸۳ ۳) ۳۹ و ۸۹ ۴) ۳۳ و ۸۹

۶ ـ در یون SO_3^{2-} چند الکترون وجود دارد؟ ($_8O$، $_{16}S$)

۱) ۲۴ ۲) ۳۲ ۳) ۴۲ ۴) ۲۶

۲ ـ ایزوتوپ

دانشمندان به کمک دستگاهی به نام **طیف‌سنج جرمی**[1]، جرم اتم‌ها را با دقت بسیار زیادی اندازه‌گیری می‌کنند. این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که **همه‌ی اتم‌های یک عنصر جرم یک‌سانی ندارند**. از آن‌جا که عدد اتمی و در واقع تعداد پروتون‌ها در همه‌ی اتم‌های یک عنصر یک‌سان است، پس **تفاوت جرم باید به تعداد نوترون‌های موجود در هسته‌ی اتم مربوط باشد**. این مطالعات به معرفی مفهوم **ایزوتوپ**[2] انجامید.

ایزوتوپ: به اتم‌های یک عنصر که عدد اتمی یک‌سان ولی عدد جرمی متفاوت دارند، ایزوتوپ گفته می‌شود.

به‌عنوان مثال، کلر دارای دو ایزوتوپ کلر ـ ۳۵ ($^{35}_{17}Cl$) و کلر ـ ۳۷ ($^{37}_{17}Cl$) است.

$^{37}_{17}Cl$: ۱۷ : تعداد پروتون‌ها ۱۷ : تعداد الکترون‌ها ۲۰ : تعداد نوترون‌ها	$^{35}_{17}Cl$: ۱۷ : تعداد پروتون‌ها ۱۷ : تعداد الکترون‌ها ۱۸ : تعداد نوترون‌ها

همان‌طور که ملاحظه می‌فرمایید تفاوت ایزوتوپ‌ها در تعداد **نوترون‌ها** است.

اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که **فراوانی ایزوتوپ‌های یک عنصر در طبیعت یک‌سان نیست.** برخی فراوان‌تر و برخی کم‌یاب‌ترند. برای مثال از هر چهار اتم کلر موجود در طبیعت، سه اتم $^{35}_{17}Cl$ و یک اتم $^{37}_{17}Cl$ است. به‌عبارت دیگر ۷۵ درصد از اتم‌های کلر را $^{35}_{17}Cl$ و ۲۵ درصد آن را $^{37}_{17}Cl$ تشکیل می‌دهد.

۱ ـ Mass Spectrometer

۲ ـ ایزوتوپ از دو واژه‌ی یونانی ***ایزو*** (به‌معنای برابر، یک‌سان) و ***توپوس*** (به‌معنای جا) گرفته شده است. بنابراین ایزوتوپ به‌معنای ***یافته شده در یک‌جا***، می‌باشد. به‌عبارت دیگر اتم‌هایی که ایزوتوپ یک‌دیگرند در جدول تناوبی جایگاه یک‌سانی داشته و همگی در یک خانه قراردارند.

۵ هرگاه عنصری دارای چند ایزوتوپ طبیعی باشد، **ایزوتوپی که فراوانی بیش‌تری دارد پایدارتر محسوب می‌شود.** به‌عنوان مثال ایزوتوپ $^{35}_{17}Cl$ که فراوانی بیش‌تری از ایزوتوپ $^{37}_{17}Cl$ دارد، پایدارتر است.

مثال ۱۰ یون M^{3+} دارای ۲۸ الکترون و ۳۹ نوترون است، کدام اتم، ایزوتوپ اتم M محسوب می‌شود؟

۱) $^{73}_{28}A$ ۲) $^{70}_{31}B$ ۳) $^{70}_{28}C$ ۴) $^{73}_{31}D$

اگر یون M^{3+} دارای ۲۸ الکترون باشد اتم خنثای آن باید ۳۱ الکترون داشته باشد. در یک اتم خنثی تعداد پروتون‌ها و تعداد الکترون‌ها یک‌سان است، یعنی عدد اتمی (تعداد پروتون‌ها) اتم موردنظر برابر ۳۱ می‌باشد. ایزوتوپ‌ها، اتم‌هایی از یک عنصر هستند که عدد اتمی یک‌سان دارند ولی تعداد

نوترون آن‌ها متفاوت است. از آن‌جا که اتم موردنظر دارای ۳۹ نوترون است. ایزوتوپ آن باید تعداد نوترون‌های متفاوتی داشته باشد. از بین $^{۷۰}_{۳۱}B$ و $^{۷۳}_{۳۱}D$، اتم B دارای ۳۹ نوترون و اتم D دارای ۴۲ نوترون است. پس $^{۷۳}_{۳۱}D$ ایزوتوپ اتم M می‌باشد ($^{۷۰}_{۳۱}B$ در واقع خود اتم M می‌باشد نه ایزوتوپ آن!)

۲ ـ ۱ ـ ایزوتوپ‌های هیدروژن

هیدروژن دارای **سه ایزوتوپ** است که هریک نام جداگانه‌ای دارند: **پروتیم** (هیدروژن معمولی، $^{۱}_{۱}H$)، **دوتریم** (هیدروژن سنگین، $^{۲}_{۱}D$) و **تریتیم** (هیدروژن پرتوزا، $^{۳}_{۱}T$)[۱].

در جدول زیر تعداد پروتون‌ها، الکترون‌ها و نوترون‌های هریک از ایزوتوپ‌های هیدروژن ذکر شده است:

نام ایزوتوپ	نماد شیمیایی	تعداد پروتون	تعداد الکترون	تعداد نوترون	
پروتیم (هیدروژن معمولی)	$^{۱}_{۱}H$	۱	۱	صفر	
(دوتریم) (هیدروژن سنگین)	$^{۲}_{۱}D$ یا $^{۲}_{۱}H$	۱	۱	۱	
تریتیم (هیدروژن پرتوزا)	$^{۳}_{۱}T$ یا $^{۳}_{۱}H$	۱	۱	۲	

جدول «۱»

ایزوتوپ‌های هیدروژن

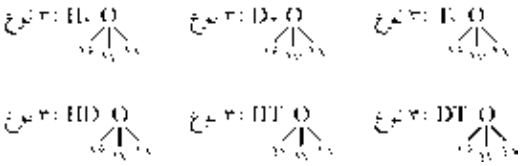
با توجه به این‌که هیدروژن دارای سه نوع ایزوتوپ است، چند نوع مولکول هیدروژن ($H_۲$) وجود دارد؟

هیدروژن، ۶ نوع مولکول دارد:

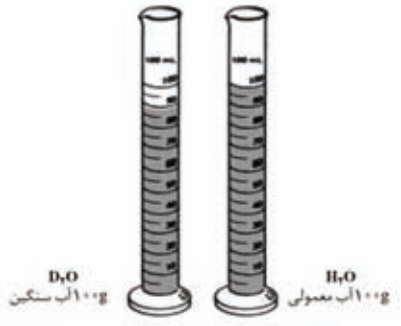
H – H D – D T – T
H – D D – T H – T

با توجه به این‌که اکسیژن سه ایزوتوپ ($^{۱۶}_{۸}O$، $^{۱۷}_{۸}O$ و $^{۱۸}_{۸}O$) و هیدروژن نیز سه ایزوتوپ دارد، در یک نمونه‌ی طبیعی آب، چند نوع مولکول آب می‌توان یافت؟

در یک نمونه‌ی طبیعی آب، ۱۸ نوع مولکول آب وجود دارد. فرمول مولکولی هریک از این ۱۸ نوع مولکول آب به‌صورت زیر است. توجه داشته باشید که هریک از فرمول‌های مولکولی که نوشته شده با توجه به ایزوتوپ‌های اکسیژن (۱۶، ۱۷ و ۱۸) می‌تواند سه حالت داشته باشد.



خواص شیمیایی یک عنصر به‌طور عمده توسط پروتون‌ها و الکترون‌های موجود در اتم آن عنصر تعیین می‌شود. از این‌رو **ایزوتوپ‌های یک عنصر خواص شیمیایی یک‌سانی دارند.** ولی برخی خواص **فیزیکی** وابسته به جرم آن‌ها ـ مانند چگالی، نقطه‌ی ذوب و جوش ـ با هم **تفاوت می‌کند.** این تفاوت در ترکیب‌های شیمیایی دارای آن‌ها نیز مشاهده می‌شود. با دقت به شکل روبه‌رو نگاه کنید.



۱ ـ ترتیب فراوانی ایزوتوپ‌های هیدروژن به‌صورت زیر است:

$^{۱}_{۱}H \gg {}^{۲}_{۱}D \gg {}^{۳}_{۱}T$

همان‌طور که مشاهده می‌شود ۱۰۰ گرم آب معمولی، ۱۰۰ میلی‌لیتر حجم اشغال کرده است. در حالی که ۱۰۰ گرم آب سنگین (D_2O)، حدود ۹۰ میلی‌لیتر حجم دارد. پس چگالی D_2O بیش‌تر از H_2O است. بنابراین اگر یک قطعه یخ (D_2O) را در آب معمولی (H_2O) بیندازیم، **در آب فرو می‌رود.**

$$\text{چگالی آب معمولی} = \frac{m}{V} = \frac{۱۰۰g}{۱۰۰mL} = ۱g.mL^{-۱}$$

$$\text{چگالی آب سنگین} = \frac{m}{V} = \frac{۱۰۰g}{۹۰mL} = ۱/۱۱g.mL^{-۱}$$

مثال ۱۱ اگر جرم‌های مساوی از آب معمولی (H_2O) و آب سنگین (D_2O) را در نظر بگیریم حجم D_2O ..... و اگر آب معمولی را به یخ تبدیل کنیم و داخل ظرف D_2O بیندازیم ..... .

۱) کم‌تر ـ در آن فرو می‌رود.
۲) کم‌تر ـ روی آن شناور می‌ماند.
۳) بیش‌تر ـ در آن فرو می‌رود.
۴) بیش‌تر ـ روی آن شناور می‌ماند.

پاسخ چگالی یا جرم حجمی D_2O نسبت به H_2O بیش‌تر است پس اگر جرم‌های مساوی از H_2O و D_2O داشته باشیم حجم D_2O **کم‌تر از** حجم H_2O خواهد بود و اگر یک قطعه یخ معمولی (H_2O) را درون آب سنگین (D_2O) بیندازیم به علت سبک‌تر بودن (داشتن چگالی کم‌تر) **روی آن شناور می‌ماند.**

پایداری ایزوتوپ‌ها
پایداری ایزوتوپ‌ها به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته بستگی دارد. برای نمونه همه‌ی هسته‌هایی که ۸۴ یا بیش از این تعداد پروتون دارند، **ناپایدار** هستند. اما برطبق یک قاعده‌ی کلی اگر برای هسته‌ای نسبت تعداد نوترون‌ها به پروتون‌ها **۱/۵ یا بیش از این باشد،** هسته‌ی یاد شده ناپایدار خواهد بود. این‌گونه هسته‌های ناپایدار بر اثر واکنش‌های تلاشی هسته‌ای به هسته‌های پایدار تبدیل می‌شوند.

تست ۶ تاکنون بیش از ۲۳۰۰ ایزوتوپ مختلف (طبیعی و ساختگی) شناخته شده است. در این میان فقط ۲۷۹ ایزوتوپ پایدار وجود دارد (ایزوتوپ پایدار ایزوتوپی است که هسته‌ی آن خودبه‌خود واپاشیده نشود. اما هسته‌ی ایزوتوپ ناپایدار خودبه‌خود دچار تلاشی می‌شود.). برخی عنصرها مانند فلوئور ($_{۹}F$)، فسفر ($_{۱۵}P$) و آلومینیم ($_{۱۳}Al$) **تنها یک ایزوتوپ پایدار دارند،** در حالی‌که برخی، از دو یا مقدار بیش‌تری ایزوتوپ پایدار برخوردارند. برای نمونه قلع ($_{۵۰}Sn$) ده ایزوتوپ پایدار دارد.

مثال ۱۲ کدام عبارت نادرست است؟

۱) نسبت تعداد ذرات زیر اتمی در اتم تریتیم به تعداد ذرات زیر اتمی در یون $^{۳۲}_{۱۵}A^{۳-}$ برابر ۰/۱ است.
۲) عدد اتمی ایزوتوپ‌ها یک‌سان و عدد جرمی آن‌ها متفاوت است.
۳) با توجه به این‌که هیدروژن و اکسیژن هر کدام دارای سه ایزوتوپ هستند در یک نمونه طبیعی آب، ۱۸ مولکول H_2O وجود دارد.
۴) خواص فیزیکی وابسته به جرم، میان ایزوتوپ‌ها متفاوت است.

پاسخ تعداد ذره‌های زیر اتمی در اتم تریتیم و یون $^{۳۲}_{۱۵}A^{۳-}$ به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$^{۳}_{۱}T$ = پروتون + نوترون + الکترون = ۱ + ۲ + ۱ = ۴ تعداد ذره‌های زیر اتمی تریتیم

$^{۳۲}_{۱۵}A^{۳-}$ = پروتون + نوترون + الکترون = ۱۵ + ۱۷ + ۱۸ = ۵۰ تعداد ذره‌های زیر اتمی یون

نسبت تعداد ذره‌های زیر اتمی تریتیم به $^{۳۲}_{۱۵}A^{۳-}$ برابر $\frac{۴}{۵۰}$ است نه $\frac{۱}{۱۰}$.

۷ ـ کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد ایزوتوپ‌های هیدروژن و اکسیژن درست است؟

۱) ایزوتوپ هیدروژن سنگین را با نماد $^{۳}_{۱}T$ نمایش می‌دهند.
۲) ۱۰۰ گرم D_2O از ۱۰۰ گرم H_2O حجم کم‌تری دارد.
۳) در یک نمونه‌ی طبیعی آب، ۹ نوع مولکول آب وجود دارد.
۴) اگر یک قطعه یخ D_2O را در آب معمولی (H_2O) بیندازیم روی آن شناور می‌ماند.

۸ ـ کدام عبارت نادرست است؟

۱) ایزوتوپ‌های یک عنصر خواص شیمیایی یک‌سان دارند.

۲) در بین ایزوتوپ‌های هیدروژن، پروتیم از همه پایدارتر و تنها ذره‌ای است که نوترون ندارد.

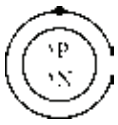
۳) پایداری ایزوتوپ‌ها به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته بستگی دارد.

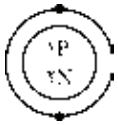
۴) قلع دارای ده ایزوتوپ پایدار، اما فلوئور، فسفر و سرب تنها یک ایزوتوپ پایدار دارند.

۹ ـ یون X^{2-} دارای ۳۶ الکترون و ۴۵ نوترون است، کدام اتم، ایزوتوپ اتم X محسوب می‌شود؟

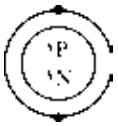
۱) $^{79}_{34}A$ ۲) $^{81}_{36}B$ ۳) $^{80}_{34}C$ ۴) $^{79}_{36}D$

۱۰ ـ کدام گزینه، نشان‌دهنده‌ی اتم تریتیم است؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

۱۱ ـ از ترکیب دو ایزوتوپ اکسیژن ($^{16}_{8}O$ و $^{17}_{8}O$) با ایزوتوپ‌های هیدروژن ($^{1}_{1}H$ و $^{2}_{1}D$) چند نوع مولکول آب حاصل می‌شود؟ *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۵)*

۱) چهار ۲) هشت

۳) شش ۴) پنج

۱۲ ـ چنان‌چه از اکسیژن ایزوتوپ‌های ^{16}O و ^{17}O و از کربن، ایزوتوپ‌های ^{12}C و ^{13}C را در نظر بگیریم، در یک نمونه‌ی طبیعی کربن دی‌اکسید چند نوع مولکول با جرم‌های متفاوت می‌توان انتظار داشت؟ *(المپیاد شیمی مرحله‌ی اول ۸۳ ـ ۸۲)*

۱) ۶ ۲) ۴ ۳) ۵ ۴) ۳

۳ ـ جرم اتمی

شیمی‌دان‌ها در سده‌های ۱۸ و ۱۹ میلادی موفق شدند که **به‌طور تجربی** جرم اتم‌های بسیاری از عنصرهای شناخته شده تا آن زمان را به‌طور نسبی اندازه‌گیری کنند. چنین آزمایش‌هایی نشان داد که برای مثال جرم یک اتم اکسیژن ۱/۳۳ برابر جرم یک اتم کربن و جرم یک اتم کلسیم ۲/۵ برابر جرم یک اتم اکسیژن است. استفاده از این نسبت‌ها در محاسبه‌های آزمایشگاهی کاری بس دشوار بود. از این رو شیمی‌دان‌ها ناگزیر شدند جرم خاصی را به یک عنصر معین نسبت دهند و سپس به کمک نسبت‌های اندازه‌گیری شده، جرم عنصرهای دیگر را محاسبه کنند.

۳ ـ ۱ ـ یکای جرم اتم (amu)

شیمی‌دان‌ها پس از دوبار تغییر در انتخاب عنصر استاندارد، سرانجام **فراوان‌ترین**[1] **ایزوتوپ کربن یعنی کربن ـ ۱۲ ($^{12}_{6}C$) را به‌عنوان استاندارد برای مقیاس جرم اتمی به‌کار بردند.** این اتم در هسته‌ی خود ۶ پروتون و ۶ نوترون دارد. دانشمندان جرم این اتم را دقیقاً برابر ۱۲/۰۰۰ در نظر گرفتند. با این حساب اتم اکسیژن که جرمی معادل ۱/۳۳ برابر جرم اتم کربن دارد، در این مقیاس جرمی برابر ۱۶/۰۰۰ خواهد داشت. جرم اتم عنصرهای دیگر نیز به همین شیوه اندازه‌گیری شد. از آن‌جا که جرم اتم‌ها به‌صورت نسبی اندازه‌گیری می‌شود، یکایی ندارد. اما به تجربه ثابت شده است که استفاده از یکایی مناسب برای جرم اتم‌ها سودمند است. از این‌رو شیمی‌دان‌ها برای جرم یک اتم یا **جرم اتمی**، amu را که کوتاه شده‌ی عبارت Atomic Mass Unit به‌معنای واحد جرم اتمی است، به‌عنوان یکای جرم اتمی معرفی کردند که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

یکای جرم اتمی (amu)[2]: یک amu برابر یک دوازدهم $(\frac{1}{12})$ جرم اتم کربن ـ ۱۲ است.

بنابراین در این مقیاس جرم اتم کربن ـ ۱۲، برابر ۱۲/۰۰۰amu و جرم اتم اکسیژن ۱۶/۰۰۰amu خواهد بود.

۱ ـ از هر هزار اتم کربن موجود در نمونه‌های طبیعی ۹۸۹ اتم آن کربن ۱۲ و ۱۱ اتم آن کربن ۱۳ است.

طی یک‌صدوپنجاه سال گذشته شیمی‌دان‌ها ابتدا **هیدروژن** و سپس **اکسیژن** را به‌عنوان استانداردی برای اندازه‌گیری جرم اتم‌ها انتخاب کردند. اما در سال ۱۹۶۱ **کربن** به این منظور برگزیده شد.

۲ ـ در سال‌های اخیر amu به دالتون (D) تغییر نام داده است. $1amu = 1Dalton = 1/66 \times 10^{-24} g$

در این مقیاس جرم پروتون و نوترون تقریباً ۱amu است. در حالی‌که جرم الکترون تقریباً یک دو هزارم ($\frac{۱}{۲۰۰۰}$) این مقدار است. در جدول «۲» ویژگی‌های این ذره‌های زیر اتمی را مشاهده می‌کنید.

نام ذره	نماد	بارالکتریکی نسبی	جرم	
			amu	g
الکترون	${}^{0}_{-1}e$	−۱	۰/۰۰۰۵	$۹/۱۰۹\times۱۰^{-۲۸}$
پروتون	${}^{1}_{1}p$	+۱	۱/۰۰۷۳	$۱/۶۷۳\times۱۰^{-۲۴}$
نوترون	${}^{1}_{0}n$	۰	۱/۰۰۸۷	$۱/۶۷۵\times۱۰^{-۲۴}$

جدول «۲»

برخی ویژگی‌های ذره‌های زیر اتمی

عدد جرمی و جرم اتمی

از آن‌جا که جرم پروتون‌ها و نوترون‌ها با هم برابر و حدوداً برابر با ۱amu است، می‌توان از روی عدد جرمی یک اتم، جرم آن‌را تخمین زد. برای مثال جرم یکی از ایزوتوپ‌های لیتیم که ۳ پروتون و ۴ نوترون دارد ($^{۷}_{۳}Li$) برابر ۷/۰۰۰amu است.

توجه داشته باشید که در جدول فوق، عددهای سمت چپ نمادها از بالا به پایین به‌ترتیب **جرم نسبی و بار نسبی ذره** را مشخص می‌کنند. برای مثال نماد ${}^{0}_{-1}e$ نشان می‌دهد که جرم نسبی الکترون برابر صفر و بار نسبی آن برابر ۱− است.

مثال ۱۳ در مورد ذره‌های زیر اتمی کدام گزینه نادرست عنوان شده است؟

۱) اولین ذره‌ی زیر اتمی شناخته شده، الکترون است.

۲) نماد الکترون به‌صورت ${}^{0}_{-1}e$ و نوترون ${}^{1}_{0}n$ می‌باشد.

۳) به پروتون یا نوترون نوکلئون می‌گویند.

۴) جرم پروتون دقیقا ۱amu و جرم نوترون اندکی بیش‌تر از ۱amu است.

جرم پروتون و نوترون **تقریباً** ۱amu است نه دقیقاً ۱amu. هر دو ذره، کمی بیش‌تر از ۱amu جرم دارند.

مثال ۱۴ اگر جرم الکترون با تقریب برابر $\frac{۱}{۲۰۰۰}$ جرم هر یک از ذره‌های پروتون و نوترون فرض شود، نسبت جرم الکترون‌ها در اتم ${}^{۲z}_{z}A$، به جرم این اتم به کدام کسر نزدیک‌تر است؟ *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۹)*

۱) $\frac{۱}{۴۰۰۰}$ ۲) $\frac{۱}{۲۰۰۰}$ ۳) $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ ۴) $\frac{۱}{۵۰۰۰}$

جرم اتم به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته‌ی آن بستگی دارد و جرم الکترون‌ها در جرم اتم تأثیر چشم‌گیری ندارد. در یک اتم خنثی تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها برابر است، پس:

$$\text{عدد جرمی } {}^{۲z}_{z}A \text{ عدد اتمی} \Rightarrow \boxed{\text{تعداد } \bar{e} = Z} \Rightarrow \frac{\text{جرم الکترون}}{\text{جرم هسته (پروتون + نوترون)}} = \frac{Z\times\frac{۱}{۲۰۰۰}}{۲Z} = \frac{۱}{۴۰۰۰}$$

۳ ـ ۲ ـ جرم اتمی میانگین ایزوتوپ‌ها

چون بیش‌تر عنصرهایی که به‌طور طبیعی یافت می‌شوند بیش از یک ایزوتوپ دارند، لذا با توجه به تعداد ایزوتوپ‌ها و تفاوت در فراوانی آن‌ها، برای گزارش جرم نمونه‌های طبیعی از اتم عنصرهای مختلف، **جرم اتمی میانگین** به‌کار می‌رود.

برای تعیین جرم اتمی میانگین ایزوتوپ‌های یک عنصر از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$\boxed{M = \frac{M_۱F_۱ + M_۲F_۲ + \ldots}{F_۱ + F_۲ + \ldots}}$$

تذکر: اگر نسبت‌های فراوانی، به‌صورت درصد بیان شده باشند، مجموع $F_۱ + F_۲ + \ldots$ برابر ۱۰۰ می‌باشد.

در رابطه‌ی فوق، M جرم اتمی میانگین ایزوتوپ‌ها، $M_۱$، $M_۲$ و... جرم اتمی ایزوتوپ‌ها و $F_۱$، $F_۲$ و... نسبت فراوانی ایزوتوپ‌ها را نشان می‌دهد.

۱۵ در نئون طبیعی حدود ۱۰ درصد نئون ۲۲ و ۹۰ درصد نئون ۲۰ وجود دارد. جرم اتمی متوسط نئون کدام است؟ *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۸ ـ نوبت عصر)*

۱) ۲۰ ۲) ۲۱

۳) ۲۰/۲ ۴) ۲۱/۸

با توجه به‌صورت مسأله می‌توان نوشت:

$$M=\frac{M_1F_1+M_2F_2}{F_1+F_2}=\frac{۲۲(۱۰)+۲۰(۹۰)}{۱۰+۹۰}=۲۰/۲$$

۱۶ عنصر بور از دو ایزوتوپ $^{۱۰}_{۵}B$ و $^{۱۱}_{۵}B$ تشکیل شده است. اگر جرم اتمی میانگین بور برابر ۱۰/۸۱ باشد، درصد فراوانی ایزوتوپ سبک‌تر کدام است؟

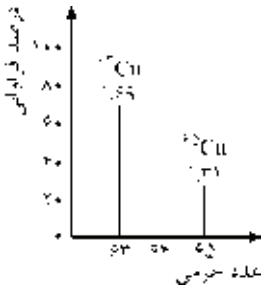
۱) ۱۹ ۲) ۸۱ ۳) ۳۲ ۴) ۶۸

اگر درصد فراوانی $^{۱۰}_{۵}B$ و $^{۱۱}_{۵}B$ را به‌ترتیب F_1 و F_2 فرض کنیم، می‌توان نوشت:

$$F_1+F_2=۱۰۰\Rightarrow F_2=۱۰۰-F_1$$

$$M=\frac{M_1F_1+M_2F_2}{F_1+F_2}=\frac{M_1F_1+M_2(۱۰۰-F_1)}{F_1+F_2}\Rightarrow ۱۰/۸۱=\frac{۱۰F_1+۱۱(۱۰۰-F_1)}{۱۰۰}\Rightarrow F_1=۱۹ \text{ درصد}$$

۱۷ دستگاه طیف‌سنج جرمی، ایزوتوپ‌های مس و هم‌چنین درصد فراوانی آن‌ها را به‌صورت نمودار روبه‌رو ترسیم نموده است. جرم اتمی میانگین مس کدام است؟



۱) ۶۴/۲۸

۲) ۶۴/۷۱

۳) ۶۳/۶۲

۴) ۶۳/۲۵

با توجه به نمودار فوق، مس دارای دو ایزوتوپ $Cu^{۶۳}$ و $Cu^{۶۵}$ است که درصد فراوانی آن‌ها به‌ترتیب برابر ۶۹٪ و ۳۱٪ می‌باشد. پس می‌توان نوشت:

$$M=\frac{M_1F_1+M_2F_2}{F_1+F_2}=\frac{۶۳(۶۹)+۶۵(۳۱)}{۶۹+۳۱}=۶۳/۶۲$$

۱۸ براساس شکل زیر، که توزیع نسبی اتم‌های کلر را در کلر طبیعی نشان می‌دهد، می‌توان دریافت که ..... درصد کلر طبیعی را ایزوتوپ $Cl^{۳۵}$ تشکیل می‌دهد، جرم اتمی میانگین کلر برابر با ..... واحد جرم اتمی است و ایزوتوپ ..... پایدارتر است. *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۵)*



۱) ^{۳۵}Cl ـ ۳۵/۵۰ ـ ۸۰ ۲) ^{۳۵}Cl ـ ۳۵/۵۰ ـ ۷۵

۳) ^{۳۷}Cl ـ ۳۵/۴۸۵ ـ ۲۰ ۴) ^{۳۷}Cl ـ ۳۵/۴۸۵ ـ ۲۵

با توجه به شکل داده شده، به ازای ۲۰ اتم کلر، ۱۵ عدد آن $Cl^{۳۵}$ است. پس درصد $Cl^{۳۵}$ در طبیعت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد } ۷۵=\frac{۱۵}{۲۰}\times ۱۰۰=\frac{\text{تعداد ایزوتوپ } Cl^{۳۵}}{\text{تعداد کل اتم‌ها}}\times ۱۰۰=\text{درصد } Cl^{۳۵} \text{ در طبیعت}$$

با بررسی جای خالی اول می‌توان دریافت که گزینه‌ی ۲ درست است. زیرا فقط در گزینه‌ی ۲، فراوانی $Cl^{۳۵}$ برابر ۷۵ درصد معرفی شده است، *پس نیازی به بررسی سایر جاهالی‌ها نیست! ولی از آن‌جا که نباید کار را نیمه‌تمام رها کرد! به‌بررسی سایر جاهالی‌ها نیز می‌پردازیم.*

برای محاسبه‌ی جرم اتمی میانگین کلر می‌توان نوشت:

$$\text{جرم اتمی میانگین کلر} = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} = \frac{۳۵(۱۵) + ۳۷(۵)}{۱۵ + ۵} = ۳۵/۵\text{amu}$$

از طرفی همان‌طور که قبلاً گفته بودیم ایزوتوپی که در طبیعت فراوان‌تر است، پایدارتر نیز می‌باشد؛ یعنی ایزوتوپ ^{۳۵}Cl پایدارتر است.

مثال ۱۹ فراوانی اتم‌های $^{۵۵}_{۲۶}Fe$ در طبیعت چهار برابر فراوانی اتم‌های $^{۵۹}_{۲۶}Fe$ است. جرم اتمی آهن طبیعی amu ..... و ایزوتوپ ..... پایدارتر است.

۱) $^{۵۵}_{۲۶}Fe$ ـ ۵۸/۲ ۲) $^{۵۵}_{۲۶}Fe$ ـ ۵۵/۸ ۳) $^{۵۹}_{۲۶}Fe$ ـ ۵۵/۸ ۴) $^{۵۹}_{۲۶}Fe$ ـ ۵۸/۲

با توجه به این‌که فراوانی ایزوتوپ $^{۵۵}_{۲۶}Fe$ چهار برابر ایزوتوپ $^{۵۹}_{۲۶}Fe$ است، می‌توان دریافت که فراوانی $^{۵۵}_{۲۶}Fe$ و $^{۵۹}_{۲۶}Fe$ به‌ترتیب برابر ۸۰٪ و ۲۰٪ می‌باشد. حال می‌توان نوشت:

$$\text{M (جرم اتمی میانگین)} = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} = \frac{(۵۵\times ۸۰) + (۵۹\times ۲۰)}{۸۰ + ۲۰} = ۵۵/۸$$

در ضمن هر ایزوتوپی که فراوانی بیش‌تری دارد، پایداری بیش‌تری نیز دارد؛ یعنی ایزوتوپ $^{۵۵}_{۲۶}Fe$ پایدارتر از ایزوتوپ $^{۵۹}_{۲۶}Fe$ می‌باشد.

۱۳ ـ نقره دارای دو ایزوتوپ با جرم‌های اتمی ۱۰۶/۹ و ۱۰۸/۹ است. اگر فراوانی ایزوتوپ سبک‌تر آن برابر با ۵۲ درصد باشد، جرم اتمی متوسط نقره، کدام است؟ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۴)*

۱) ۱۰۷/۸۴ ۲) ۱۰۷/۸۶ ۳) ۱۰۷/۸۸ ۴) ۱۰۷/۸۹

۱۴ ـ عنصر کلر در طبیعت دارای دو ایزوتوپ $^{۳۵}_{۱۷}Cl$ و $^{۳۷}_{۱۷}Cl$ است. اگر جرم اتمی میانگین کلر ۳۵/۵ باشد، درصد فراوانی $^{۳۵}_{۱۷}Cl$ و $^{۳۷}_{۱۷}Cl$ به‌ترتیب کدام است؟ (اعداد را از راست به چپ بخوانید)

۱) ۷۵ ، ۲۵ ۲) ۷۰ ، ۳۰ ۳) ۲۵ ، ۷۵ ۴) ۶۰ ، ۴۰

۱۵ ـ با توجه به شکل روبه‌رو، که توزیع اتم‌های بور را در بور طبیعی نشان می‌دهد، می‌توان دریافت که فراوانی ایزوتوپ ..... بیش‌تر، ..... پایدارتر است و جرم اتمی میانگین بور برابر با amu ..... است. *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۵ ـ خارج از کشور)*



۱) $^{۱۰}_{۵}B$ ـ $^{۱۰}_{۵}B$ ـ ۱۰/۸ ۲) $^{۱۱}_{۵}B$ ـ $^{۱۱}_{۵}B$ ـ ۱۰/۸
۳) $^{۱۱}_{۵}B$ ـ $^{۱۱}_{۵}B$ ـ ۱۰/۹ ۴) $^{۱۰}_{۵}B$ ـ $^{۱۰}_{۵}B$ ـ ۱۰/۹

۱۶ ـ اتم تالیوم دارای دو ایزوتوپ با عددهای جرمی ۲۰۳ و ۲۰۵ می‌باشد. با توجه به جدول تناوبی می‌بینیم که عدد جرمی ۲۰۴/۴ برای آن گزارش شده است. درصد فراوانی ایزوتوپ ۲۰۵ کدام است؟ *(المپیاد شیمی ملی امریکا ـ ۲۰۰۵)*

۱) ٪۱۴/۰ ۲) ٪۳۰/۰
۳) ٪۵۰/۰ ۴) ٪۷۰/۰

۱۷ ـ کدام مورد زیر نادرست است؟

۱) هر amu برابر $\frac{۱}{۱۲}$ جرم اتم کربن ـ ۱۲ است. ۲) هر ذره زیر اتمی جرمی تقریباً برابر ۱amu دارد.
۳) جرم نوترون بیش‌تر از پروتون و الکترون است. ۴) جرم یک اتم $^{۷}_{۳}Li$ برابر ۷amu می‌باشد.

۱۸ ـ کدام گزینه درست بیان نشده است؟

۱) جرم یک اتم $^{۱}_{۱}H$ = ۱amu ۲) $\frac{۱}{۱۶}$ جرم یک اتم $^{۱۶}_{۸}O$ = ۱amu
۳) $\frac{۱}{۱۲}$ جرم یک اتم $^{۱۲}_{۶}C$ = ۱amu ۴) جرم یک اتم $^{۱۲}_{۶}C$ = ۱amu

۱۹ ـ کدام مورد زیر نادرست است؟

۱) اگر جرم اتم x ، $\frac{۳}{۴}$ جرم اتم $_{۶}^{۱۲}C$ باشد، جرم این اتم ۹amu است.

۲) تنها اتمی که نوترون ندارد پروتیم است.

۳) سنگین‌ترین ذره‌ی زیر اتمی نوترون است و جرم تقریبی آن ۱amu است.

۴) پایداری ایزوتوپ‌ها به تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها بستگی دارد.

۲۰ ـ اگر یک واحد جرم اتمی (۱amu) معادل $۱/۶۶\times۱۰^{-۲۴}$ گرم و جرم یک اتم کربن ۱۲ برابر $X\times۱/۶۶\times۱۰^{-۲۳}$ گرم باشد، X کدام است؟

۱) ۱/۲ ۲) ۱۲

۳) ۰/۱ ۴) ۱۰

۲۱ ـ اگر بدانیم که جرم یک الکترون $۹/۱۰۹\times۱۰^{-۲۸}g$ گرم است. در یک گرم الکترون ..... الکترون وجود دارد.

۱) $۹/۱۰۹\times۱۰^{-۲۸}$ ۲) $۹/۱۰۹\times۱۰^{+۲۸}$

۳) $۰/۱۱۰\times۱۰^{-۲۸}$ ۴) $۰/۱۱۰\times۱۰^{+۲۸}$

۲۲ ـ جرم اتم به ..... بستگی دارد و جرم ..... بر جرم اتم تاثیر چشم‌گیری ندارد.

۱) پروتون‌ها ـ نوترون‌ها و الکترون‌ها ۲) الکترون‌ها و پروتون‌ها ـ نوترون‌ها

۳) پروتون‌ها و نوترون‌ها ـ الکترون‌ها ۴) الکترون‌ها و نوترون‌ها ـ پروتون‌ها

۲۳ ـ جرم اتمی میانگین عنصری به‌طور تقریبی ۶۹/۸ amu است. اگر این نمونه از دو ایزوتوپ به جرم‌های اتمی ۶۹ amu و ۷۱amu تشکیل شده باشد درصد ایزوتوپ سبک‌تر در نمونه چه‌قدر است؟

۱) ٪۸۰ ۲) ٪۶۰

۳) ٪۴۰ ۴) ٪۲۰

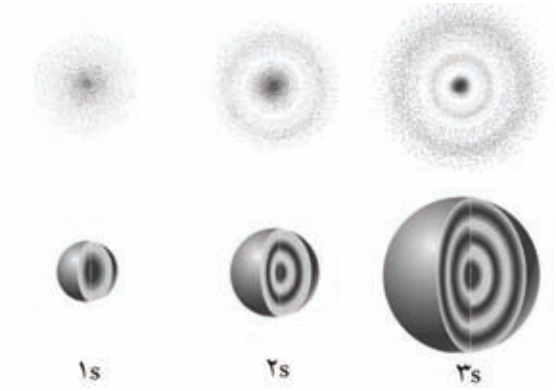
۴ ـ اوربیتال

همان‌گونه که در ابتدای این بخش گفتیم اتم از هسته‌ای بسیار کوچک ـ که پروتون‌ها و نوترون‌ها را در خود جای داده ـ و الکترون‌هایی که پیرامون آن با سرعت زیاد حرکت می‌کنند، تشکیل شده است. در سال ۱۹۶۲ اروین شرودینگر فیزیک‌دان اتریشی بر مبنای **رفتار دوگانه‌ی الکترون و با تأکید بر رفتار موجی آن مدلی برای اتم پیش‌نهاد داد.** وی در این مدل به‌جای محدود کردن الکترون به یک مدار دایره‌ای شکل، از حضور الکترون در فضایی سه‌بعدی به نام **اوربیتال** سخن به میان آورد. در هر صورت مطابق این مدل، به‌جای ترسیم مدارهایی با شعاع‌ها یا فاصله‌های معین از هسته، از احتمالات حضور الکترون در مناطق گوناگون اطراف هسته صحبت می‌کنیم. در هر لحظه‌ی خاص، وجود آن‌را در یک مکان به‌وسیله‌ی نقطه‌ای نشان می‌دهیم. این نقطه‌ها، به علت تکرار حضور، در ناحیه‌ای پیرامون هسته به‌صورت ابر نشان داده می‌شوند. هرکجا تراکم ابر الکترونی بیش‌تر باشد، احتمال حضور الکترون در آن‌جا بیش‌تر است. **شکل ابر الکترونی حاصل نیز نمایشی از شکل اوربیتال و احتمالات حضور الکترون در آن پیرامون هسته خواهد بود.**

براساس مکانیک موجی هرگز **نمی‌توان مسیر** حرکت الکترون یا **موقعیت دقیق** آن‌را در هر لحظه از زمان معین نمود و فقط می‌توان **احتمال نسبی** حضور الکترون را در اطراف هسته به دست آورد.

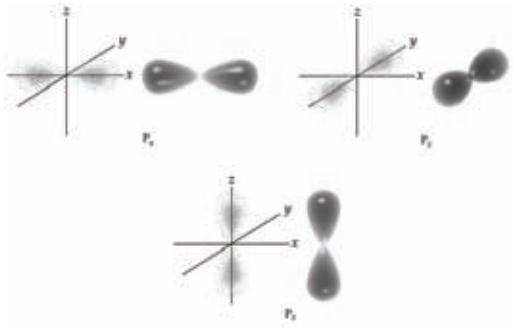
در این‌جاست که با مفهومی به نام اوربیتال آشنا می‌شویم.

اوربیتال: فضایی سه بعدی در اطراف هسته است که احتمال حضور الکترون در آن زیاد (بیش از ۹۰ درصد) است. هر اوربیتال تنها می‌تواند به‌وسیله‌ی **دو الکترون** اشغال شود.

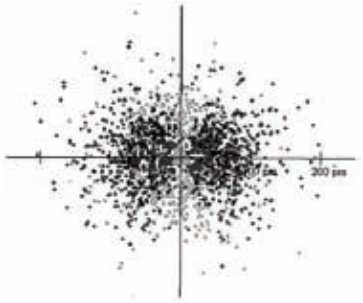


در اتم‌هایی که تاکنون شناخته شده‌اند چهار نوع اوربیتال توسط الکترون اشغال شده است که عبارت‌اند از اوربیتال‌های s ، p ، d و f . اوربیتال s **کروی شکل** است. اوربیتال‌های p که تعدادشان برابر سه است، **دمبلی شکل** هستند. این سه اوربیتال را می‌توان در امتداد سه محور x ، y و z که بر یک‌دیگر عمود هستند نشان داد؛ از این‌رو آن‌ها را به‌صورت p_x، p_y و p_z نمایش می‌دهند، شکل «۲». شکل اوربیتال‌های d و f پیچیده است و در این کتاب درباره‌ی آن‌ها صحبتی نخواهیم کرد.





شکل اوربیتال‌ها با **معادله‌های پیچیده‌ی ریاضی** مشخص می‌شود. در سال ۱۹۲۶ *روین‌شرودینگر*، معادله‌ای برای توصیف رفتار الکترون برمبنای خصلت موجی آن پیش‌نهاد کرد که به معادله‌ی شرودینگر معروف است. از حل این معادله، تعدادی تابع موجی به‌دست می‌آید. هر تابع موجی به یک حالت معین انرژی برای الکترون مربوط است و بیانگر ناحیه‌ای در اطراف هسته است که الکترون را در آن می‌توان یافت. تابع موجی یک الکترون بیان‌گر چیزی به نام اوربیتال است. به عبارت دیگر شکل اوربیتال‌ها نمودار تصویری حل ریاضی معادله‌ی شرودینگر هستند.



هنگامی‌که می‌گوییم اوربیتال S کروی است بدین‌معنی است که نمودار تابع موج اوربیتال S در دستگاه مختصات به‌صورت یک کره است، به‌گونه‌ای که الکترون ۹۰ درصد از وقت خود را در این حجم کروی سپری می‌کند. هم‌چنین وقتی می‌گوییم اوربیتال p ، دمبلی شکل است بدین معنی است که نمودار تابع موج اوربیتال p در دستگاه مختصات به‌صورت یک دمبل (یا دو کره‌ی مماس) است. نکته‌ای که در این‌جا باید به آن اشاره کرد این است که **از روی شکل اوربیتال‌ها به هیچ‌وجه نمی‌توان مسیر حرکت الکترون‌ها را پیش‌بینی نمود. زیرا براساس مکانیک موجی، اصولاً تعیین مسیر حرکت یا چگونگی حرکت الکترون امکان‌پذیر نمی‌باشد و فقط در مورد احتمال حضور الکترون در فضایی در اطراف هسته می‌توان صحبت نمود.**

برای به‌دست آوردن تصویر ساده‌ای از اوربیتال و احتمال حضور الکترون در آن، موقعیت یک پرنده در قفس را که در شکل روبه‌رو نشان داده شده است در نظر می‌گیریم. فرض کنید که از کلیه‌ی حرکت‌ها و جابه‌جا شدن‌های این پرنده هر ۱۰ دقیقه یک‌بار عکس‌برداری می‌شود. پس از گذشت یک روز موقعیت‌های مختلف این پرنده را نسبت به ظرف غذا از روی عکس‌های متعددی که از آن گرفته شده است، روی یک صفحه‌ی کاغذ منتقل می‌کنیم. مطابق شکل، محلی که بیش‌تر وقت پرنده در آن‌جا می‌گذرد پرازدحام‌تر است و رنگ تیره‌تری دارد. بدیهی است که احتمال حضور پرنده در اطراف ظرف غذا بیش‌تر است و با فاصله گرفتن از آن، این احتمال نیز کم‌تر می‌شود.

چنین تصویری احتمال حضور پرنده را در هر نقطه به دست می‌دهد، اما هرگز چگونگی جابه‌جا شدن و مسیر حرکت آن‌را مشخص نمی‌کند. **در مورد اتم نیز می‌توان احتمال نسبی حضور الکترون را در اطراف هسته‌ی اتم به دست‌آورد، اما هرگز نمی‌توان چگونگی جابه‌جا شدن الکترون‌ها را از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر مشخص یا موقعیت آن‌را در هر لحظه از زمان معین کرد.**

خلاصه:

در مورد اوربیتال‌ها باید دانست که:

۱ ـ اوربیتال فضایی سه بعدی در اطراف هسته است که احتمال حضور الکترون در آن زیاد (بیش از ۹۰ درصد) است.

۲ ـ شکل یک اوربیتال در واقع نشان‌دهنده‌ی تصویر معادله‌ی ریاضی احتمال حضور الکترون در دستگاه مختصات است.

۳ ـ شکل اوربیتال به هیچ‌وجه اطلاعاتی در مورد مسیر حرکت یا چگونگی حرکت الکترون را به ما نمی‌دهد. در واقع براساس مکانیک موجی اصولاً تعیین مسیر حرکت یا چگونگی حرکت الکترون امکان‌پذیر نیست.

۴ ـ ۱ ـ زیرلایه (تراز فرعی انرژی)

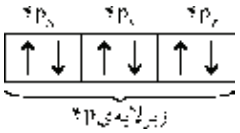
زیر لایه یا تراز فرعی به یک یا گروهی از اوربیتال‌ها گفته می‌شود که هم نوع بوده و به یک سطح انرژی تعلق دارند. در اتم‌هایی که تاکنون شناخته شده‌اند، چهار نوع زیر لایه توسط الکترون اشغال شده است که عبارت‌اند از:

۱ ـ زیرلایه‌ی s ۲ ـ زیرلایه‌ی p ۳ ـ زیرلایه‌ی d ۴ ـ زیرلایه‌ی f

۱ ـ زیرلایه‌ی s : شامل یک اوربیتال s است و حداکثر دو الکترون در آن جای می‌گیرد. به عنوان مثال زیرلایه‌ی ۴s همان اوربیتال ۴s است (ضریب ۴ در ۴s نشان‌دهنده‌ی آن است که زیرلایه‌ی موردنظر در سطح انرژی اصلی چهارم قرار دارد. در این مورد بعداً توضیح خواهیم داد.)



۲ ـ زیرلایه‌ی p : شامل سه اوربیتال p_x، p_y و p_z است و حداکثر ۶ الکترون در آن جای می‌گیرد. به‌عنوان مثال زیرلایه‌ی ۴p را می‌توان به‌صورت زیر نمایش داد:



۳ ـ زیرلایه‌ی d : شامل پنج اوربیتال d است و حداکثر ۱۰ الکترون در آن جای می‌گیرد. به‌عنوان مثال زیرلایه‌ی ۴d را می‌توان به‌صورت زیر نمایش داد:

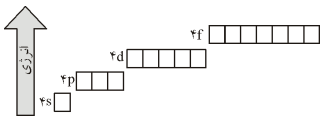


۴ ـ زیرلایه‌ی f : شامل هفت اوربیتال f است و حداکثر ۱۴ الکترون در آن جای می‌گیرد. به‌عنوان مثال زیرلایه‌ی ۴f را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:



۸ در یک سطح انرژی معین، سطح انرژی زیرلایه‌ها به‌صورت زیر است:
$s < p < d < f$: **سطح انرژی**

برای مثال سطح انرژی زیرلایه‌های ۴s، ۴p، ۴d و ۴f به‌صورت زیر است:

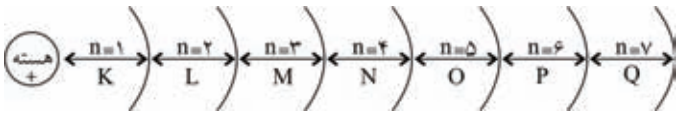


۹ مجموعه‌ای از چند زیرلایه که ضریب‌های یک‌سانی دارند، یک **لایه‌ی الکترونی** را تشکیل می‌دهند. به‌عنوان مثال، زیرلایه‌های ۴s، ۴p، ۴d و ۴f با هم، لایه‌ی الکترونی چهارم را تشکیل می‌دهند.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که هر لایه‌ی الکترونی از یک یا چند زیرلایه و هر زیرلایه از یک یا چند اوربیتال تشکیل شده است.

۴ ـ ۲ ـ لایه‌های الکترونی یک اتم

پیرامون هسته‌ی اتم حداکثر **هفت لایه‌ی الکترونی** وجود دارد. هریک از لایه‌های الکترونی را می‌توان به‌صورت لایه‌ای به دور هسته تصور نمود. این لایه‌ها در واقع ناحیه‌هایی هستند که در آن‌ها احتمال یافتن الکترون زیاد است. لایه‌های الکترونی را با نماد n (۱، ۲، ۳ ، ... و ۷) یا با حروف (به‌ترتیب K، L، M، N، O، P، Q) نشان می‌دهند.



۱۰ **تعداد زیرلایه‌های** موجود در هر لایه‌ی الکترونی برابر شماره‌ی آن لایه‌ی الکترونی است (یعنی برابر n) و **تعداد اوربیتال‌های** موجود در هر لایه‌ی الکترونی برابر n^2 می‌باشد و چون در هر اوربیتال حداکثر دو الکترون جای می‌گیرد **حداکثر تعداد الکترون‌های یک لایه‌ی الکترونی** برابر $2n^2$ است.

به‌عنوان مثال در لایه‌های الکترونی اول، دوم و سوم تعداد زیرلایه‌ها، اوربیتال‌ها و هم‌چنین حداکثر تعداد الکترون‌های موجود در هر لایه به‌صورت زیر است:

$n=1$ ← **تعداد اوربیتال‌ها** $= n^2 = 1^2 = 1 \Rightarrow$ **حداکثر تعداد الکترون‌ها** $= 2n^2 = 2(1)^2 = 2$ $n=1$ ← **تعداد زیرلایه‌ها** $= 1 \Rightarrow 1s$
$n=2$ ← **تعداد اوربیتال‌ها** $= n^2 = 2^2 = 4 \Rightarrow$ **حداکثر تعداد الکترون‌ها** $= 2n^2 = 2(2)^2 = 8$ $n=2$ ← **تعداد زیرلایه‌ها** $= 2 \Rightarrow 2s, 2p$
$n=3$ ← **تعداد اوربیتال‌ها** $= n^2 = 3^2 = 9 \Rightarrow$ **حداکثر تعداد الکترون‌ها** $= 2n^2 = 2(3)^2 = 18$ $n=3$ ← **تعداد زیرلایه‌ها** $= 3 \Rightarrow 3s, 3p, 3d$

در جدول «۳»، تعداد زیرلایه‌ها و اوربیتال‌هایی که می‌توان در هر لایه‌ی الکترونی پیدا کرد و هم‌چنین حداکثر تعداد الکترون‌هایی که در هر لایه‌ی الکترونی می‌تواند قرار بگیرد، آمده است:

لایه‌ی الکترونی	تعداد زیرلایه	زیرلایه‌های موجود	تعداد اوربیتال‌ها (n^2)	حداکثر تعداد الکترون‌ها ($2n^2$)
n = ۱	۱	۱s	۱	۲
n = ۲	۲	۲s ۲p	۴	۸
n = ۳	۳	۳s ۳p ۳d	۹	۱۸
n = ۴	۴	۴s ۴p ۴d ۴f	۱۶	۳۲
n = ۵	۵	۵s ۵p ۵d ۵f ۵g	۲۵	۵۰
n = ۶	۶	۶s ۶p ۶d ۶f ۶g ۶h	۳۶	۷۲
n = ۷	۷	۷s ۷p ۷d ۷f ۷g ۷h ۷i	۴۹	۹۸

تذکر: اوربیتال‌های ۶f، ۷p، ۷d و ۷f در عنصرهای شناخته شده پر نشده‌اند.

جدول «۳»

تعداد زیرلایه‌ها، اوربیتال‌ها و الکترون‌های موجود در لایه‌های الکترونی

۱۱ اوربیتال‌های g، h و i در حالت پایه‌ی هیچ عنصر شناخته شده‌ای به‌کار برده نمی‌شوند. به‌بیان دیگر در آرایش الکترونی هیچ عنصر شناخته شده‌ای، الکترون وارد اوربیتال‌های g، h و i نمی‌شود. از این‌رو فقط با اوربیتال‌های s، p، d و f سروکار داریم.

مثال **یک لایه‌ی اصلی اتمی که دارای اوربیتال‌های s، p، d و f می‌باشد حداکثر چند الکترون می‌تواند داشته باشد؟** *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۶)*

۱) هشت ۲) سی و دو ۳) هجده ۴) سی و شش

زیرلایه‌های s، p، d و f به‌ترتیب حداکثر ۲، ۶، ۱۰ و ۱۴ الکترون در خود جای می‌دهند که در مجموع ۳۲ الکترون می‌شود.

مثال **شکل اوربیتال S به‌صورت کروی است، بنابراین در اوربیتال S ..... .**

۱) فاصله‌ی الکترون تا هسته ثابت است. ۲) حرکت الکترون به دور هسته، متقارن است.

۳) احتمال حضور الکترون در اطراف هسته، کروی است. ۴) مسیر حرکت الکترون به دور هسته، کروی است.

هنگامی‌که می‌گوییم اوربیتال S کروی است بدین معنی است که اگر معادله‌ی ریاضی مربوط به احتمال حضور الکترون را برای اوربیتال S رسم کنیم در دستگاه مختصات ریاضی، یک کره به‌دست می‌آید. شکل اوربیتال هیچ اطلاعاتی درباره‌ی فاصله‌ی الکترون تا هسته، مسیر یا چگونگی حرکت الکترون در اطراف هسته را به ما نمی‌دهد. در واقع این ویژگی‌ها اصلاً قابل تعیین کردن نیستند.

مثال **سطح انرژی اصلی پنجم به‌ترتیب، حداکثر شامل چند زیرلایه و چند الکترون است؟**

۱) ۵ و ۵۰ ۲) ۱۶ و ۵۰ ۳) ۵ و ۳۲ ۴) ۳ و ۳۲

سطح انرژی اصلی پنجم (یا لایه‌ی الکترونی پنجم) حداکثر دارای ۵ زیرلایه و ۵۰ الکترون (از رابطه‌ی $2n^2$ استفاده کنید) است.

مثال **هر اوربیتال 2P ، حداکثر چند الکترون گنجایش دارد؟**

۱) ۶ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۱

هر اوربیتال گنجایش حداکثر ۲ الکترون را دارد.

۵ ـ عددهای کوانتومی[۱]

در نظریه‌ی کوانتومی، هر الکترون در اتم یک شماره‌ی شناسنامه دارد. این شماره‌ی شناسنامه مجموعه‌ای از چهار عدد کوانتومی است. به بیان دیگر برای مشخص کردن آدرس یک الکترون در اتم، به مجموعه‌ای از چهار عدد کوانتومی نیاز است. این عددها عبارت‌اند از:

۱ ـ *عدد کوانتومی اصلی* (n)

۲ ـ *عدد کوانتومی اوربیتالی* (l)

۳ ـ *عدد کوانتومی مغناطیسی* (m_l)

۴ ـ *عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین* (m_s)

اکنون اجازه دهید درباره‌ی هریک از عددهای کوانتومی فوق به بحث بپردازیم. ابتدا با عدد کوانتومی اصلی (n) آغاز می‌کنیم.

۱ ـ شرودینگر، پس از انجام محاسبه‌های بسیار پیچیده‌ی ریاضی نتیجه گرفت، همان‌گونه که برای مشخص کردن مکان یک جسم در فضا به سه عدد (طول، عرض و ارتفاع) نیاز است، برای مشخص کردن هریک از اوربیتال‌های یک اتم نیز به چنین داده‌هایی نیاز داریم. شرودینگر به این منظور از سه عدد n ، l و m_l استفاده کرد که عددهای کوانتومی خوانده می‌شوند. عددهای کوانتومی n ، l و m_l از حل معادله‌ی شرودنیگر به‌دست می‌آیند. عدد کوانتومی چهارم (m_s) برای توصیف حرکت الکترون به‌کار می‌رود و جهت‌گیری الکترون را مشخص می‌کند.



البته الکترون‌هایی که شناسنامه ندارند

می‌توانند کارت ملی یا

گواهینامه رانندگی ارائه کنند

عدد کوانتومی اصلی (n)

براساس مدل کوانتومی اتم، در اطراف هسته‌ی اتم تعدادی لایه‌ی الکترونی وجود دارد به گونه‌ای که در هریک از این لایه‌ها، تعداد مشخصی الکترون می‌تواند قرارگیرد. **عدد کوانتومی اصلی (n)** مشخص می‌کند که الکترون در کدام لایه‌ی الکترونی قرار گرفته است. مقادیر مجاز برای عدد کوانتومی اصلی (n) عددهای صحیح مثبت ۱، ۲، ۳ و... هستند.

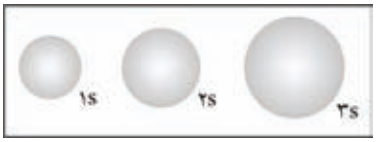
$$n = ۱,۲,۳,...$$

با افزایش n ، سطح انرژی لایه‌ی الکترونی نیز **افزایش** یافته و فاصله‌ی آن از هسته‌ی اتم **بیش‌تر** می‌شود. پیرامون هسته حداکثر **هفت لایه‌ی الکترونی** مشاهده شده است.

n تعداد زیرلایه‌های هر لایه‌ی الکترونی را نیز مشخص می‌کند. برای مثال در لایه‌ی الکترونی n = ۲ ، دو زیرلایه و در لایه‌ی الکترونی n = ۳ ، سه زیرلایه وجود دارد.

عدد کوانتومی اصلی (n) **اندازه‌ی** اوربیتال اتمی را نیز مشخص می‌کند. یعنی هرچه n بزرگ‌تر باشد اوربیتال نیز بزرگ‌تر است. برای مثال اوربیتال ۲s از ۱s بزرگ‌تر و اوربیتال ۳s از ۲s بزرگ‌تر است:

اندازه‌ی اوربیتال : ۱s < ۲s < ۳s



مثال ۱۴ **کدام مطلب در مورد عدد کوانتومی اصلی درست نیست؟**

۱) سطح انرژی لایه‌های الکترونی را نشان می‌دهد.

۲) اندازه‌ی نسبی ابر الکترونی را نشان می‌دهد.

۳) تعداد زیرلایه‌های هر لایه را مشخص می‌کند.

۴) می‌تواند مقادیر صفر تا ۷ را اختیار کند.

پاسخ عدد کوانتومی اصلی (n) مقادیر ۱ تا ۷ را اختیار می‌کند نه صفر تا ۷ را!

عدد کوانتومی اوربیتالی (l)

دومین عدد کوانتومی، **عدد کوانتومی فرعی یا عدد کوانتومی اوربیتالی (l)** نام دارد. همان‌طور که گفتیم هر لایه‌ی الکترونی از یک یا چند زیرلایه تشکیل شده است و **عدد کوانتومی اوربیتالی (l) نوع زیرلایه (یا نوع اوربیتال) را مشخص می‌کند.** در هر لایه‌ی الکترونی، l می‌تواند مقادیر صحیح ۰ تا $n-1$ را دربرگیرد.

$$l = ۰, ۱, ..., (n-۱)$$

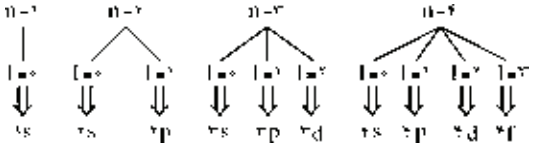
عددهای کوانتومی اوربیتالی را معمولاً با حروف انگلیسی (مطابق جدول زیر) نشان می‌دهند.

عدد کوانتومی اوربیتالی (l)	۰	۱	۲	۳
نوع زیرلایه (نوع اوربیتال)	s	p	d	f

مطالعه آزاد

نام انواع اوربیتال‌ها از حرف اول واژه‌هایی گرفته شده است که در گذشته برای مشخص کردن خطوط طیفی به‌کار می‌رفتند. S حرف اول Sharp (تیز)، p حرف اول principal (اصلی)، d حرف اول diffuse (پراکنده) و f حرف اول fundamental (بنیادی) است. برای مقادیر l بزرگ‌تر از ۳، این حروف به‌ترتیب الفبایی ادامه می‌یابد: g ، h ، I و غیره. ولی در حالت اصلی برای عنصرهایی که تاکنون شناخته شده‌اند نیازی به استفاده از مقادیر l بزرگ‌تر از ۳ (بالاتر از f) نیست.

مثال ۱۵ **نوع زیرلایه‌ها در لایه‌های الکترونی ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌صورت روبه‌رو است:**



پاسخ عدد کوانتومی اوربیتالی (l) علاوه بر **شکل اوربیتال‌ها، تعداد اوربیتال‌های هر زیرلایه** را نیز مشخص می‌کند[1]:

$$\text{تعداد اوربیتال‌ها در هر زیرلایه} = ۲l + ۱$$

$l = ۰ \Rightarrow$ زیرلایه‌ی s $\Rightarrow$ تعداد اوربیتال‌ها $= ۲l + ۱ = ۲(۰) + ۱ = ۱$

$l = ۱ \Rightarrow$ زیرلایه‌ی p $\Rightarrow$ تعداد اوربیتال‌ها $= ۲l + ۱ = ۲(۱) + ۱ = ۳$

$l = ۲ \Rightarrow$ زیرلایه‌ی d $\Rightarrow$ تعداد اوربیتال‌ها $= ۲l + ۱ = ۲(۲) + ۱ = ۵$

$l = ۳ \Rightarrow$ زیرلایه‌ی f $\Rightarrow$ تعداد اوربیتال‌ها $= ۲l + ۱ = ۲(۳) + ۱ = ۷$

تا این‌جا به کمک عددهای کوانتومی n و l می‌توان مشخص نمود که الکترون موردنظر به‌ترتیب در کدام لایه‌ی الکترونی و زیرلایه قرار دارد. اما همان‌طور که دیدید معمولاً در هر زیرلایه چندین اوربیتال وجود دارد (البته به‌جز زیرلایه‌ی s که فقط یک اوربیتال دارد). پس باید اوربیتال مربوطه را نیز مشخص نماییم. برای این‌منظور از عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l) استفاده می‌شود.

۱ ـ با توجه به این‌که در هر اوربیتال، حداکثر ۲ الکترون جای می‌گیرد می‌توان دریافت که عدد کوانتومی اوربیتال (l) علاوه بر شکل اوربیتال‌ها و تعداد اوربیتال‌های هر زیرلایه، حداکثر تعداد الکترون‌های هر زیرلایه را نیز مشخص می‌کند:

حداکثر تعداد الکترون در هر زیرلایه $= ۲(۲l + ۱)$

عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l)

سومین عدد کوانتومی، **عدد کوانتومی مغناطیسی** (m_l) نام دارد و **جهت‌گیری اوربیتال‌ها را در فضا** معین می‌کند[1]. m_l همه‌ی عددهای صحیح بین $-l$ تا $+l$ را دربرمی‌گیرد.

$$m_l = -l, ..., ۰, ..., +l$$

۱ ـ از آن‌جایی که الکترون ذره‌ای باردار است ضمن چرخش به دور هسته، حکم یک مغناطیس کوچک را پیدا می‌کند. هرگاه اتم در یک میدان مغناطیسی بیرونی قرار بگیرد این مغناطیس کوچک نسبت به راستای آن میدان زاویه‌ای (جهت‌گیری) پیدا می‌کند. عدد کوانتومی

به‌عنوان مثال مقادیر m_l برای زیرلایه‌های s ، p ، d و f (که مقادیر l آن‌ها به‌ترتیب برابر ۰، ۱، ۲ و ۳ است) به‌صورت زیر می‌باشد:

زیرلایه‌ی s : $l=0 \Rightarrow m_l = \boxed{0}$ یک اوربیتال s

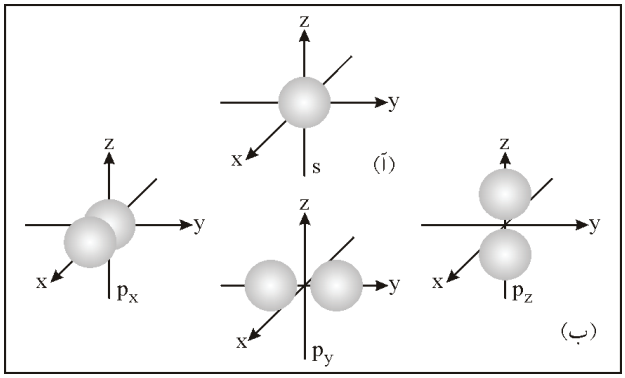
زیرلایه‌ی p : $l=1 \Rightarrow m_l = \boxed{-1 \mid 0 \mid +1}$ سه اوربیتال p

زیرلایه‌ی d : $l=2 \Rightarrow m_l = \boxed{-2 \mid -1 \mid 0 \mid +1 \mid +2}$ پنج اوربیتال d

زیرلایه‌ی f : $l=3 \Rightarrow m_l = \boxed{-3 \mid -2 \mid -1 \mid 0 \mid +1 \mid +2 \mid +3}$ هفت اوربیتال f

همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقدار m_l برای زیرلایه‌ی s ($l=0$) تنها می‌تواند برابر صفر باشد؛ یعنی زیر لایه‌ی s تنها یک اوربیتال دارد. **اوربیتال s کروی است و در فضا فقط یک نوع جهت‌گیری می‌تواند داشته باشد،** شکل «۳ ـ آ».

زیرلایه‌ی p ($l=1$) را در نظر بگیرید. برای m_l مقادیر ۱-، ۰ و ۱+ به‌دست می‌آید. به عبارت دیگر زیرلایه‌ی p از سه اوربیتال (دمبلی شکل) تشکیل شده که اعداد کوانتومی مغناطیسی آن‌ها ۱-، ۰ و ۱+ است و این اعداد جهت‌گیری این اوربیتال‌ها را در فضا مشخص می‌کنند. یکی از این اوربیتال‌ها در **راستای محور x** (p_x)، دیگری در **راستای محور y** (p_y) و سومی در **راستای محور z** (p_z) جهت‌گیری می‌کند. محل تلاقی این سه محور برهسته‌ی اتم منطبق است، شکل «۳ ـ ب».



شکل «۳»

آ ـ اوربیتال کروی s تنها یک جهت‌گیری در فضا دارد.

ب ـ اوربیتال‌های p در راستای محورهای x ، y و z جهت‌گیری می‌کنند.

در جدول «۴» عددهای کوانتومی برای اوربیتال‌های موجود در سه لایه‌ی الکترونی نخست اتم هیدروژن نشان داده شده است.

n (لایه‌ی الکترونی)	l	نوع زیرلایه	تعداد زیرلایه	m_l	تعداد اوربیتال‌ها در هر زیرلایه (m_l)	تعداد کل اوربیتال‌ها (n^2)
۱	۰	s	۱	۰	۱	۱
۲	۰ ۱	s p	۲	۰ −۱,۰,+۱	۱ ۳	۴
۳	۰ ۱ ۲	s p d	۳	۰ −۱,۰,+۱ −۲,−۱,۰,+۱,+۲	۱ ۳ ۵	۹

جدول «۴»

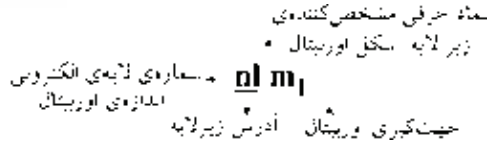
عددهای کوانتومی برای اوربیتال‌های موجود در سه لایه‌ی الکترونی نخست اتم هیدروژن

مغناطیسی (m_l) در واقع مشخص کننده‌ی جهت میدان مغناطیسی کوچک الکترون نسبت به میدان مغناطیسی بیرونی است.

میدان مغناطیسی، اثری بر انرژی الکترون s ندارد، زیرا اوربیتال s کروی است و در تمام جهت‌ها به‌طور یک‌سان تحت تأثیر خطوط نیروی میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد. اما اوربیتال‌های p کروی نیستند. هر زیرلایه‌ی p شامل سه اوربیتال است که از لحاظ جهت‌گیری با یک‌دیگر تفاوت دارند و هرکدام سیمای متفاوتی در برابر خطوط نیروی میدان مغناطیسی خواهند داشت.

اوربیتال‌های هم انرژی به اوربیتال‌هایی می‌گویند که دارای سطح انرژی یک‌سانی هستند. زیرلایه‌ی p دارای سه اوربیتال هم‌انرژی، زیرلایه‌ی d دارای پنج اوربیتال هم‌انرژی و زیرلایه‌ی f دارای هفت اوربیتال هم‌انرژی است.

۱۶ مجموعه‌ای از **اوربیتال‌ها** با **مقدار l برابر**، یک **زیرلایه** را ایجاد می‌کنند و مجموعه‌ای از زیرلایه‌ها با n برابر، یک **لایه‌ی الکترونی** را تشکیل می‌دهند. بنابراین برای دادن آدرس اوربیتال‌ها به شیوه‌ی زیر عمل می‌شود:



برای مثال $2p_z$ نشان می‌دهد که این اوربیتال دمبلی شکل در لایه‌ی الکترونی دوم و در زیرلایه‌ی p قراردارد و در راستای محور z ها جهت‌گیری کرده است.

مثال **اوربیتال‌های** $\begin{cases} l=1 \\ m_l=-1 \end{cases}$ و $\begin{cases} l=1 \\ m_l=+1 \end{cases}$ **در چه مورد اختلاف دارند؟**

۱) گسترش فضایی اوربیتال‌ها ۲) شکل اوربیتال‌ها

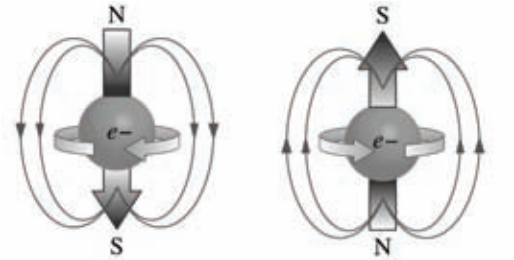
۳) تراکم ابر الکترونی اوربیتال‌ها ۴) جهت‌گیری اوربیتال‌ها

$l=1$ نمایانگر زیرلایه‌ی p است و زیرلایه‌ی p دارای ۳ اوربیتال می‌باشد که این اوربیتال‌ها فقط در جهت‌گیری در فضا با هم تفاوت دارند. جهت‌گیری اوربیتال‌ها در فضا با عدد کوانتومی m_l مشخص می‌شود.

عدد کوانتومی چهارم یا عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین (m_S)

با کمک سه عدد کوانتومی n ، l و m_l به‌ترتیب **اندازه**، **شکل** و **جهت‌گیری** اوربیتال‌های اتمی تعیین می‌شود. اما دانشمندان در توجیه مشاهده‌های تجربی، این سه عدد را برای مشخص کردن آدرس یک الکترون در اتم کافی ندانستند. زیرا توجیه برخی خواص فیزیکی اتم‌ها با نسبت دادن حضور دو الکترون در یک اوربیتال امکان‌پذیر بود. برای توضیح این نکته که چگونه دو الکترون با بار هم‌نام می‌توانند در یک اوربیتال جای گیرند، دانشمندان افزون بر حرکت اوربیتالی (حرکت الکترون به دور هسته‌ی اتم) یک حرکت اسپینی (حرکت به دور خود) نیز به الکترون نسبت داده‌اند. مطابق شکل «۴» الکترون با گردش حول محور خود به یک آهن‌ربای ریز تبدیل می‌شود. حال اگر این دو الکترون ناگزیر شوند که کنار هم قرار گیرند، باید یک نیروی جاذبه‌ی قوی در برابر دافعه‌ی میان آن‌ها به‌وجود بیاید. این جاذبه هنگامی به‌وجود می‌آید که قطب‌های مغناطیسی الکترون دوم در برابر قطب‌های مغناطیسی ناهم‌نام الکترون اول قرارگیرد، شکل «۴». شرط لازم برای چنین آرایشی در یک اوربیتال آن است که الکترون‌ها در دو جهت مخالف هم (یکی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت و دیگری برخلاف آن‌ها) به دور محور خود بگردند.

دو الکترون در یک اوربیتال دارای **رانش و ربایش‌اند**. رانش بین دو الکترون در یک اوربیتال به خاطر **میدان الکتریکی یک‌سان** و ربایش بین دو الکترون به خاطر **میدان مغناطیسی مخالف** می‌باشد.



حرکت در جهت حرکت عقربه‌های ساعت — $m_s=+\frac{1}{2}$

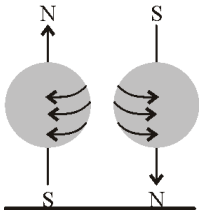
حرکت در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت — $m_s=-\frac{1}{2}$

شکل «۴»

آهن‌ربای ریز ایجاد شده بر اثر حرکت اسپینی الکترون و جهت‌گیری پایدار دو الکترون در یک اوربیتال

از این‌رو برای مشخص کردن جهت گردش الکترون‌ها حول محور خود، به هر حالت یک عدد کوانتومی نسبت داده شده است که به آن **عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین (m_s)** می‌گویند. این عدد تنها دو مقدار می‌تواند داشته باشد. بدین‌ترتیب که اگر جهت چرخش الکترون در **جهت حرکت عقربه‌های ساعت** باشد، m_s آن برابر $+\frac{1}{2}$ در نظر گرفته شده و آن‌را به‌صورت $\boxed{\uparrow}$ نشان می‌دهیم. اما اگر جهت چرخش الکترون در **خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت** باشد، m_s آن برابر $-\frac{1}{2}$ در نظر گرفته شده و آن‌را به‌صورت $\boxed{\downarrow}$ نشان می‌دهیم.

۱۷ مثال **با توجه به شکل مقابل که حرکت اسپینی الکترون را نشان می‌دهد، کدام گزینه درست است؟**



۱) این دو الکترون نمی‌توانند در یک اوربیتال قرار گیرند.
۲) بین دو الکترون جاذبه‌ی مغناطیسی برقرار است.
۳) بین دو الکترون جاذبه‌ی الکتروستاتیک برقرار است.
۴) حرکت هر دو الکترون در جهت خلاف عقربه‌های ساعت است.

پاسخ الکترون با گردش حول محور خود به یک آهن‌ربای ریز تبدیل می‌شود. بدیهی است که چرخش آن‌ها در دو جهت مخالف باعث پیدایش قطب‌های مغناطیسی مخالف می‌شود. پس اگر این دو الکترون (که در دو جهت مخالف گردش می‌کنند) کنار هم قرار بگیرند بین آن‌ها یک جاذبه‌ی مغناطیسی برقرار می‌شود.

اصل طرد پائولی

در سال ۱۹۲۵ ولفانگ پائولی فیزیک‌دان اتریشی اصلی را ارائه نمود که **اصل طرد پائولی** نام گرفت. این اصل به دو صورت زیر بیان می شود:

بیان اول: «هیچ اوربیتالی در یک اتم نمی‌تواند بیش از دو الکترون در خود جای دهد.»

این اصل با توجه به بحث اسپین و معرفی چهارمین عدد کوانتومی کاملاً قابل درک است. به‌طوری که اصل طرد پائولی را به‌صورت زیر نیز می‌توان بیان نمود:

بیان دوم: «در یک اتم هیچ دو الکترونی را نمی‌توان یافت که هر چهار عدد کوانتومی آن‌ها (n ، l ، m_l و m_s) باهم برابر باشد[1].» حتی در صورتی که دو الکترون دارای مقادیر یک‌سان برای n ، l و m_l باشند، از لحاظ مقدار m_s تفاوت خواهند داشت. در واقع منظور از اصل طرد پائولی این است که اگر در یک اتم دو الکترون دارای n ، l و m_l یک‌سان باشند در یک اوربیتال جای دارند. پس برای این‌که دو الکترون موردنظر یک‌دیگر را دفع نکنند باید m_s (یا اسپین) آن‌ها مخالف یک‌دیگر باشد. یک نتیجه‌گیری مهم این اصل آن است که **در هر اوربیتال حداکثر دو الکترون آن هم با اسپین مخالف قرار می‌گیرند.**

در جدول زیر خلاصه‌ای از ویژگی‌های عددهای کوانتومی ارایه شده است.

نام	نماد	مقادیر مجاز	ویژگی
عدد کوانتومی اصلی	n	عددهای صحیح مثبت ۱، ۲، ۳ و...	مشخص کردن شماره‌ی لایه‌ی الکترونی (اندازه‌ی اوربیتال)
عدد کوانتومی اوربیتالی	l	مقادیر صفر تا $(n-1)$	مشخص کردن نوع زیرلایه (یا نوع اوربیتال)
عدد کوانتومی مغناطیسی	m_l	از $-l$ تا $+l$	مشخص کردن جهت‌گیری اوربیتال‌ها در فضا
عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین	m_s	$\frac{-1}{2}$ یا $\frac{+1}{2}$	مشخص کردن جهت گردش الکترون حول محور خود

جدول «۵»
عددهای کوانتومی و ویژگی آن‌ها

۱۷ تجربی دو الکترونی که مقدار m_s آن‌ها با هم برابر است (مثلاً هر دو $+\frac{1}{2}$ یا هر دو $-\frac{1}{2}$ است)، **اسپین‌های موازی** دارند. در حالی‌که اگر m_s دو الکترون با هم برابر نباشد (مثلاً یکی $+\frac{1}{2}$ و دیگری $-\frac{1}{2}$ باشد) **اسپین‌های آن‌ها مخالف** یک‌دیگر است.



ولفگانگ پائولی (۱۹۵۸ ـ ۱۹۰۰)

۱ ـ به‌همین دلیل به اصل ارائه شده توسط پائولی، اصل طرد پائولی یا اصل منع پائولی (pauli exclusion principle) گفته می‌شود. زیرا برای دو الکترون در یک اتم ممنوع است که چهار عدد کوانتومی یک‌سان داشته باشند! پائولی در سال ۱۹۴۵ به‌خاطر این کشف جایزه‌ی نوبل فیزیک را دریافت نمود.

حالا اگر موافق هستید به بررسی چند مثال می‌پردازیم.

مثال ۲۸ کدام نتیجه‌گیری با توجه به اصل طردپائولی صحیح است؟

۱) در هر اوربیتال حداکثر دو الکترون آن هم با عدد کوانتومی n و l متفاوت وجود دارد.

۲) در یک اتم هیچ دو الکترونی را نمی‌توان یافت که سه عدد کوانتومی n و l و m_l یک‌سان داشته باشد.

۳) دو الکترون با عدد کوانتومی اسپین (m_s) برابر، هیچ‌گاه در یک لایه الکترونی وجود ندارند.

۴) در هر اوربیتال حداکثر دو الکترون آن هم با اسپین مخالف قرار می‌گیرند.

عبارت گزینه‌ی ۴ در واقع یک نتیجه‌گیری مهم از اصل طردپائولی است.

۱ اگرچه در هر اوربیتال حداکثر دو الکترون جای می‌گیرد ولی این دو الکترون می‌توانند n ، l و m_l یک‌سان داشته باشند.

۲ در یک اتم هیچ دو الکترونی را نمی‌توان یافت که چهار عدد کوانتومی n ، l ، m_l و m_s یک‌سان داشته باشد.

۳ دو الکترون با عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین (m_s) برابر، هیچ‌گاه در یک اوربیتال (نه یک لایه‌ی الکترونی!) وجود ندارد.

مثال ۲۹ کدام عبارت نادرست است؟

۱) زیرلایه، گروهی از اوربیتال‌ها هستند که عدد کوانتومی l یک‌سان دارند.

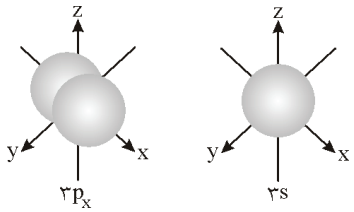
۲) هر اوربیتال p، یک عدد کوانتومی m_l معینی دارد که جهت‌گیری آن را در فضای پیرامون هسته مشخص می‌کند.

۳) تعداد اوربیتال‌های هر لایه‌ی اصلی از رابطه‌ی n^2 و تعداد الکترون‌های هر زیرلایه از رابطه‌ی $2(2l+1)$ محاسبه می‌شود.

۴) همه‌ی زیرلایه‌های s از زیرلایه‌های p پایدارترند.

عبارت گزینه‌ی ۴ زمانی درست است که گفته شود: در هر لایه‌ی الکترونی، زیرلایه‌ی s از زیرلایه‌ی p پایدارتر است. برای نمونه زیرلایه‌ی ۳s پایدارتر از زیرلایه‌ی ۳p است. زیرا سطح انرژی آن پایین‌تر از سطح انرژی زیرلایه‌ی ۳p می‌باشد. اما زیرلایه‌ی ۳s ناپایدارتر از زیرلایه‌ی ۲p است. زیرا سطح انرژی آن بالاتر از سطح انرژی زیرلایه‌ی ۲p می‌باشد. بنابراین نمی‌توان گفت که همه‌ی زیرلایه‌های s از زیرلایه‌های p پایدارترند.

مثال ۳۰ کدام گزینه در مقایسه‌ی دو اوربیتال پرشده‌ی مقابل درست است؟



۱) جمع اعداد کوانتومی n,l در هر دو یک‌سان است.

۲) ۳s حداکثر دو الکترون و $۳p_x$ حداکثر ۶ الکترون می‌پذیرد.

۳) چون n یک‌سان دارند. سطح انرژی یک‌سان دارند.

۴) برای هر دو $m_s = \pm\frac{۱}{۲}$ است.

چون هر دو اوربیتال پر هستند مقادیر m_s برای الکترون‌های آن‌ها برابر $+\frac{۱}{۲}$ و $-\frac{۱}{۲}$ است.

۱ عدد کوانتومی اوربیتالی (l) اوربیتال‌های ۳s و ۳p به‌ترتیب برابر صفر و یک است. پس مجموع عددهای کوانتومی n و l در آن‌ها به‌ترتیب برابر ۳ و ۴ می‌باشد.

۲ هر دو اوربیتال ۳s و $۳p_x$ حداکثر گنجایش دو الکترون را دارند.

۳ سطح انرژی اوربیتال ۳s پایین‌تر از اوربیتال $۳p_x$ است.

مثال ۱۴ کدام ویژگی در کلیه‌ی اوربیتال‌های یک زیرلایه همواره یک‌سان است؟

۱) سطح انرژی ۲) مقدار n,l,m_l ۳) جهت‌گیری اوربیتال ۴) اسپین الکترون

سطح انرژی اوربیتال‌های یک زیرلایه همواره، یک‌سان است ولی جهت‌گیری و مقدار m_l آن‌ها با یک‌دیگر متفاوت است. در ضمن، در مورد اسپین الکترون درون آن‌ها در بعضی موارد ممکن است یک‌سان و در بعضی موارد می‌تواند متفاوت باشد. برای مثال به اسپین الکترون‌ها در زیرلایه‌ی ۲p اتم‌های $_7N$ و $_8O$ توجه نمایید:

$_7N: 1s^2 / 2s^2 2p^3$ ↑ | ↑ | ↑

$_8O: 1s^2 / 2s^2 2p^4$ ↑↓ | ↑ | ↑

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در $_7N$، اسپین الکترون‌های موجود در زیر لایه‌ی ۲p یک‌سان است ولی در $_8O$ در یکی از اوربیتال‌ها (اوربیتال جفت شده) اسپین یکی از الکترون‌ها ↓ با بقیه متفاوت است.

مثال ۱۵ نماد دومین عدد کوآنتومی الکترون در اتم‌ها ..... است و از روی این عدد کوآنتومی می‌توان شمار ..... ها را در هر زیر لایه الکترونی و نیز ..... اوربیتال‌ها را در اتم، معین کرد. *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۸)*

۱) m_l ـ اوربیتال ـ شکل ۲) l ـ اوربیتال ـ شکل ۳) l ـ الکترون ـ جهت‌گیری ۴) m_l ـ الکترون ـ جهت‌گیری

دومین عدد کوانتومی، **عدد کوانتومی اوربیتالی (l)** است که علاوه بر **شکل** (یعنی نوع اوربیتال)، تعداد **اوربیتال‌ها** را نیز در هر زیرلایه مشخص می‌کند.

مثال ۱۶ کدام عبارت نادرست است؟ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۸)*

۱) در هر سطح انرژی اتم، زیرلایه‌ای که عدد کوآنتومی l کوچک‌تری دارد. با نماد d مشخص می‌شود.

۲) در هر سطح انرژی اتم، الکترون‌های زیرلایه p در مقایسه با الکترون‌های زیرلایه s انرژی بیش‌تری دارند.

۳) زیرلایه s، برعکس زیرلایه‌های p و d ، تنها شامل یک اوربیتال است.

۴) هر اوربیتال p ، یک عدد کوآنتومی m_l معینی دارد، که جهت‌گیری آن‌را در فضای پیرامون هسته مشخص می‌کند.

در هر سطح انرژی اتم، کوچک‌ترین عدد کوانتومی اوربیتالی (l) متعلق به زیرلایه‌ی s $(l=0)$ است نه زیرلایه‌ی d که l آن برابر ۲ است!

مثال ۱۷ در میان داده‌های جدول زیر، تنها داده‌های مندرج در ردیف ..... از ستون ..... آن نادرست است. *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۷)*

۱) دو ـ دو ۲) دو ـ سه

۳) سه ـ دو ۴) سه ـ سه

	۱	۲	۳
ردیف	زیرلایه‌ها	l	m_l	شمار اوربیتال‌ها
۱	s	۰	۰	۱
۲	p	۱	$-1,0,+1$	۳
۳	d	۲	$-2,0,+2$	۵

در ردیف ۳ از ستون ۲ جدول فوق مشاهده می‌شود که برای زیر لایه‌ی d ، مقادیر ممکن m_l برابر ۲ـ، ۰ و ۲+ ذکر شده است. در حالی‌که می‌دانیم برای زیرلایه‌ی d $(l=2)$، m_l می‌تواند همه‌ی عددهای صحیح بین ۲ـ و ۲+ (یعنی ۲ـ، ۱ـ، ۰، ۱+ و ۲+) باشد.

مثال ۱۸ اگر عدد کوانتومی اصلی (n) یک لایه (سطح انرژی الکترونی) اتم برابر با ۴ باشد، کدام عددها را می‌توان به عدد کوانتومی l الکترون‌های آن لایه نسبت داد و حداکثر گنجایش آن لایه چند الکترون است؟ (عددها را از راست به چپ بخوانید.) *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۵ ـ خارج از کشور)*

۱) ۰، ۱، ۲، ۳ ـ ۱۸ ۲) ۰، ۱، ۲، ۳ ـ ۳۲

۳) ۱، ۲، ۳، ۴ ـ ۳۲ ۴) ۱، ۲، ۳ ـ ۱۸

در لایه‌ی الکترونی $n=4$، l می‌تواند مقادیر صحیح ۰ تا $n-1$ (یعنی از ۰ تا ۳) را در برگیرد:

$n=4 \Rightarrow l=0,1,2,3$

در هر لایه‌ی الکترونی، حداکثر تعداد الکترون‌هایی که در آن لایه می‌توانند جای بگیرند از رابطه‌ی $2n^2$ به‌دست می‌آید. پس در لایه‌ی الکترونی چهارم $(n=4)$ حداکثر گنجایش آن، $2(4)^2 = 32$ الکترون است.

مثال ۳۶ در کدام گزینه، مقدار قابل قبول برای عدد کوانتومی مشخص شده با علامت؟، درست است؟ *(المپیاد شیمی ـ مرحله‌ی اول ـ ۸۶ ـ ۸۵)*

	n	l	m_l	m_s	
۱)	۲	?	-۱	$-\frac{۱}{۲}$	$l = ۲$
۲)	?	۲	۰	$+\frac{۱}{۲}$	$n = ۳,۴,....$
۳)	۱	?	۰	$+\frac{۱}{۲}$	$m_l = ۱$
۴)	۳	۱	?	$-\frac{۱}{۲}$	$m_l = ۲$

هنگامی که مقدار n برابر ۳ یا بزرگ‌تر از ۳ است مقدار l می‌تواند برابر ۲ باشد، m_l نیز می‌تواند از ۲− تا ۲+ باشد. m_s نیز $+\frac{۱}{۲}$ یا $-\frac{۱}{۲}$ است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۱) اگر $n = ۲$ باشد مقدار l می‌تواند ۰ و ۱ باشد، پس l نمی‌تواند ۲ باشد.

۳) اگر $l = ۰$ باشد مقدار m_l نیز برابر صفر خواهد بود.

۴) اگر $l = ۱$ باشد، m_l می‌تواند بین ۱− تا ۱+ باشد و نمی‌تواند برابر ۲ باشد.

مثال ۳۷ در یک اتم حداکثر چند الکترون با عدد کوانتومی $n = ۳$ می‌توان یافت؟ *(المپیاد ملی شیمی آمریکا ـ ۲۰۰۴)*

۱) ۶ ۲) ۸ ۳) ۱۰ ۴) ۱۸

حداکثر تعداد الکترون در یک لایه‌ی الکترونی از رابطه‌ی $۲n^۲$ به‌دست می‌آید. در لایه‌ی سوم $(n = ۳)$ حداکثر تعداد الکترون‌ها برابر $۱۸ = (۳^۲)۲$ می‌باشد.

مثال ۳۸ کدام مجموعه اعداد کوانتومی، الکترون‌های بیش‌تری را شامل می‌شود؟

۱) $n = ۳$ و $l = ۲$ ۲) $n = ۳$ و $l = ۱$

۳) $n = ۵$ و $l = ۰$ ۴) $n = ۴$ و $l = ۳$ و $m_l = -۲$

هر مجموعه از اعداد کوانتومی فوق مشخص کننده‌ی یک زیرلایه هستند (به‌جز گزینه‌ی ۴ که نشان‌دهنده‌ی یک اوربیتال است). پس اجازه دهید تک‌تک گزینه‌ها را بررسی کنیم.

۱) $n = ۳ , l = ۲ \Rightarrow$ زیرلایه‌ی ۳d

۲) $n = ۳ , l = ۱ \Rightarrow$ زیرلایه‌ی ۳p

۳) $n = ۵ , l = ۰ \Rightarrow$ زیرلایه‌ی ۵s

۴) $n = ۴ , l = ۳ , m_l = -۲ \Rightarrow$ یکی از اوربیتال‌های زیرلایه‌ی ۴f

همان‌طور که می‌دانید زیرلایه‌های s ، p و d به‌ترتیب حداکثر گنجایش ۲، ۶ و ۱۰ الکترون را دارند. پس گزینه‌ی ۱ که نشان‌دهنده‌ی زیرلایه‌ی ۳d است الکترون‌های بیش‌تری را شامل می‌شود.

توجه: گزینه‌ی ۴ نشان‌دهنده‌ی یکی از هفت اوربیتال زیرلایه‌ی ۴f است و همان‌طور که می‌دانید هر اوربیتال حداکثر گنجایش دو الکترون را دارد.

۲۴ ـ کدام عدد کوانتومی زیر جهت‌گیری الکترون‌ها در یک اوربیتال را معین می‌کند؟ *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۸ ـ نوبت عصر)*

۱) اصلی ۲) فرعی ۳) مغناطیسی ۴) اسپین

۲۵ ـ کدام عدد کوانتومی زیر جهت‌گیری اوربیتال‌ها را در فضای اطراف هسته اتم‌ها مشخص می‌کند؟ *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۷ ـ نوبت صبح)*

۱) اصلی ۲) مغناطیسی ۳) فرعی اوربیتالی ۴) اسپین

۲۶ ـ اگر عدد کوانتومی اصلی عنصری با $n = ۳$ نشان داده شود چند اوربیتال در این لایه وجود دارد؟ *(آزاد ـ پزشکی ـ ۸۷ و تجربی ـ ۸۵)*

۱) شش ۲) هشت ۳) ده ۴) نُه

۲۷ ـ حداکثر تعداد الکترون موجود در لایه‌ی اصلی $n = ۴$ اتم‌ها چقدر است؟ *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۷ ـ نوبت صبح و پزشکی ـ ۸۵)*

۱) ۸
۲) ۱۸
۳) ۳۲
۴) ۵۰

۲۸ ـ $(۲l+۱)$ بیانگر کدام مورد است؟

۱) تعداد الکترون‌های ممکن در هر لایه
۲) تعداد اوربیتال‌های ممکن در هر لایه
۳) تعداد اوربیتال‌های ممکن در هر زیرلایه
۴) تعداد الکترون‌های ممکن در هر زیرلایه

۲۹ ـ شکل اوربیتال‌های s و p با کدام عدد کوانتومی بیان می‌شود؟ *(المپیاد ملی شیمی آمریکا ـ ۲۰۰۶)*

n (I l (II m_l (III

۱) فقط I
۲) فقط II
۳) فقط III
۴) II و III

۳۰ ـ کدام عبارت در ارتباط با عدد کوانتومی l، نادرست است؟ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۶ ـ خارج از کشور)*

۱) از مقدار آن می‌شود شکل اوربیتال‌های اتمی را مشخص کرد.
۲) از مقدار آن می‌توان، شمار اوربیتال‌ها در هر زیرلایه را معین کرد.
۳) جهت‌گیری اوربیتال‌ها در هر زیرلایه، به مقدار آن بستگی دارد.
۴) در هر لایه با عدد کوانتومی n، می‌تواند مقادیر صفر تا $n-۱$ را اختیار کند.

۳۱ ـ اگر عدد کوانتومی اوربیتالی (l) برابر ۳ باشد، مقادیر ممکن برای m_l کدام است؟

۱) ۰,۱,۲
۲) ۰,۱,۲,۳
۳) $-۳,-۲,-۱,۰,+۱,+۲,+۳$
۴) $-۲,-۱,۰,+۱,+۲$

۳۲ ـ کدام‌یک از عددهای کوانتومی زیر نوع اوربیتال را معین می‌کند؟ *(المپیاد شیمی مرحله‌ی دوم ـ ۸۴ ـ ۸۳)*

۱) n
۲) m_s
۳) m_l
۴) l

۳۳ ـ برای یک الکترون در اتم کدام اعداد کوانتومی امکان‌پذیر است؟ *(المپیاد شیمی مرحله‌ی دوم ـ ۸۴ ـ ۸۳)*

۱) $m_l = ۰ , l = ۲ , n = ۲$
۲) $m_l = -۲ , l = ۰ , n = ۳$
۳) $m_l = -۲ , l = ۱ , n = ۳$
۴) $m_l = ۰ , l = ۱ , n = ۴$

۳۴ ـ در یک لایه‌ی الکترونی، حداکثر چند اوربیتال با عدد کوانتومی $l = ۳$ یافت می‌شود؟ *(المپیاد بین‌المللی شیمی آمریکا ـ ۲۰۰۵)*

۱) ۳
۲) ۵
۳) ۷
۴) ۹

۳۵ ـ کدام ردیف نمی‌تواند مجموعه اعداد کوانتومی یک الکترون باشد؟

شماره‌ی ردیف	n	l	m_l	m_s
۱	۳	۲	−۲	$+\frac{۱}{۲}$
۲	۳	۳	+۱	$-\frac{۱}{۲}$
۳	۲	۰	۰	$+\frac{۱}{۲}$
۴	۲	۱	−۱	$-\frac{۱}{۲}$

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

۳۶ ـ مجموعه‌ای از ..... با مقدار ..... برابر، یک ..... را ایجاد می‌کنند و مجموعه‌ای از ..... با ..... برابر یک ..... را تشکیل می‌دهند.

۱) الکترون‌ها ـ m_s ـ اوربیتال ـ اوربیتال‌ها ـ l ـ زیرلایه
۲) اوربیتال‌ها ـ l ـ زیرلایه ـ زیرلایه‌ها ـ n ـ لایه‌ی الکترونی
۳) الکترون‌ها ـ m_l ـ اوربیتال ـ اوربیتال‌ها ـ n ـ زیرلایه
۴) اوربیتال‌ها ـ n ـ زیرلایه ـ زیرلایه‌ها ـ l ـ لایه‌ی الکترونی

۳۷ ـ برای الکترونی که دو عدد کوانتومی آن $n=3$ و $m_l=2$ است، عبارت کدام گزینه درست است؟

۱) l آن ممکن است، ۰، ۱ یا ۲ باشد.
۲) l آن باید ۲ باشد. *(المپیاد شیمی ـ مرحله‌ی اول ـ ۸۳ ـ ۸۲)*
۳) l آن باید ۱ باشد.
۴) m_s آن باید $+\frac{1}{2}$ باشد.

۳۸ ـ کدام‌یک از مجموعه اعداد کوانتومی زیر درست است؟ *(المپیاد شیمی ـ مرحله‌ی اول ـ ۸۳ ـ ۸۲)*

۱) $m_l=+2\ ,\ l=1\ ,\ n=2$
۲) $m_l=+1\ ,\ l=0\ ,\ n=3$
۳) $m_l=0\ ,\ l=2\ ,\ n=2$
۴) $m_l=-1\ ,\ l=1\ ,\ n=3$

۳۹ ـ کدام اعداد کوانتومی برای یک الکترون غیرممکن است؟

۱) $m_s=-\frac{1}{2}, m_l=-1, l=1, n=3$
۲) $m_s=-\frac{1}{2}, m_l=2, l=1, n=4$
۳) $m_s=+\frac{1}{2}, m_l=0, l=+1, n=2$
۴) $m_s=\frac{+1}{2}, m_l=0, l=0, n=1$

۴۰ ـ مجموع عددهای کوانتومی اصلی و اوربیتالی برای زیرلایه‌های 4f,5s به‌ترتیب کدام هستند؟

۱) ۵ و ۳
۲) صفر و ۷
۳) ۵ و ۷
۴) صفر و ۳

۴۱ ـ چه عاملی موجب تمایز اوربیتال‌های موجود در زیرلایه‌ای با $l=1$ می‌شود؟

۱) گسترش فضایی اوربیتال‌ها
۲) شکل اوربیتال‌ها
۳) تراکم ابر الکترونی اوربیتال‌ها
۴) جهت‌گیری اوربیتال‌ها

۴۲ ـ برای الکترونی، عدد کوانتومی مغناطیسی $m_l=-2$ می‌باشد. درباره‌ی آن همه‌ی موارد درست است به جز ..... .

۱) $l=2$
۲) $m_s=+\frac{1}{2}$
۳) $l=3$
۴) $n=2$

۴۳ ـ با بررسی جدول روبه‌رو، می‌توان دریافت که تنها ردیف ..... از ستون .....، درباره زیر لایه الکترونی نادرست است؟

ستون	۳	۲	۱
ردیف	شمار اوربیتال‌ها	m_l	l	زیر لایه
۱	۱	۰	۰	s
۲	۳	+۱ و ۰ و −۱	۱	p
۳	۵	۲ و ۱ و −۱ و −۲	۲	d

۱) ۲ ـ ۲ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۹)*
۲) ۲ ـ ۱
۳) ۳ ـ ۲
۴) ۱ ـ ۱

۴۴ ـ چه عاملی سبب می‌شود که دو الکترون با داشتن بارهای هم‌نام در یک اوربیتال قرار گیرند؟

۱) جاذبه‌ی ناشی از حرکت اسپینی در یک جهت
۲) دافعه‌ی ناشی از حرکت اسپینی در یک جهت
۳) جاذبه‌ی ناشی از حرکت اسپینی دو الکترون در جهت‌های مخالف
۴) دافعه‌ی ناشی از حرکت اسپینی دو الکترون در جهت‌های مخالف

۴۵ ـ برای تعیین مشخصات یک اوربیتال به کدام عدد کوانتومی نیاز نیست؟

۱) m_l
۲) n
۳) m_s
۴) l

۴۶ ـ اوربیتال‌های $\begin{cases}n=2\\l=0\end{cases}$ و $\begin{cases}n=3\\l=0\end{cases}$ در چه مورد اختلاف دارند؟

۱) شکل
۲) جهت‌گیری در فضا
۳) اندازه‌ی ابر الکترونی
۴) گنجایش الکترون

۶ـ آرایش الکترونی اتم

اکنون ببینیم الکترون‌ها در اوربیتال‌ها چگونه توزیع می‌شوند؛ به‌عبارت دیگر آرایش الکترونی اتم چگونه است. الکترون‌ها همواره تمایل دارند تا در پایین‌ترین سطح انرژی قرار گیرند. در واقع **الکترون‌ها تمایل دارند اوربیتالی را زودتر پر کنند که سطح انرژی آن پایین‌تر است.** سطح انرژی اوربیتال‌ها تابع دو عامل زیر است:

۱۸ پایداری یک سامانه با سطح انرژی آن **رابطه‌ی عکس** دارد. یعنی هرچه پایداری بیش‌تر باشد سطح انرژی آن کم‌تر است.



همان‌طور که عرض کردیم الکترون‌ها تمایل دارند اوربیتالی را زودتر پر کنند که سطح انرژی آن پایین‌تر است ...

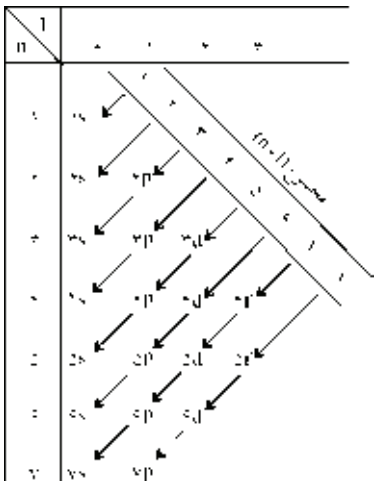
۱ ـ فاصله‌ی اوربیتال از هسته‌ی اتم؛ که با عدد کوانتومی اصلی (n) معین می‌شود.

۲ ـ شکل اوربیتال؛ که با عدد کوانتومی اوربیتالی (l) معین می‌شود.

سطح انرژی نسبی اوربیتال‌ها از جمع عددهای کوانتومی اصلی و اوربیتالی $(n+l)$ به‌دست می‌آید. هرچه مجموع $(n+l)$ برای یک اوربیتال **کوچک‌تر** باشد سطح انرژی آن نیز **پایین‌تر** است. پس الکترون‌ها ابتدا اوربیتالی را پر می‌کنند که جمع $(n+l)$ آن کوچک‌تر باشد. هم‌چنین اگر مجموع $(n+l)$ در مورد دو اوربیتال، **یک‌سان** باشد، اوربیتالی زودتر پر می‌شود که عدد کوانتومی اصلی (n) آن **کوچک‌تر** باشد، یعنی به هسته **نزدیک‌تر** باشد.

در شکل «۵» ترتیب پر شدن زیرلایه‌ها (اوربیتال‌ها) در اتم نشان داده شده‌است.

اکنون با توجه به مطالب فوق و هم‌چنین شکل «۵» به سؤال‌های زیر پاسخ دهید.



شکل «۵»
شیوه‌ی پرشدن زیرلایه‌ها (اوربیتال‌ها)

اوربیتال ۱s زودتر توسط الکترون‌ها پر می‌شود یا اوربیتال ۲s؟

مجموع $(n+l)$ برای اوربیتال‌های ۱s و ۲s به‌ترتیب برابر ۱ و ۲ است. پس اوربیتال ۱s زودتر پر می‌شود زیرا مجموع $(n+l)$ در مورد آن کوچک‌تر است.

اوربیتال ۲p زودتر پر می‌شود یا اوربیتال ۳s ؟

مجموع $(n+l)$ برای هر دو اوربیتال ۲p و ۳s برابر ۳ است اما چون عدد کوانتومی اصلی (n) اوربیتال ۲p کوچک‌تر است لذا این اوربیتال زودتر از اوربیتال ۳s پر می‌شود.

اوربیتال 4s زودتر پر می‌شود یا اوربیتال 3d ؟

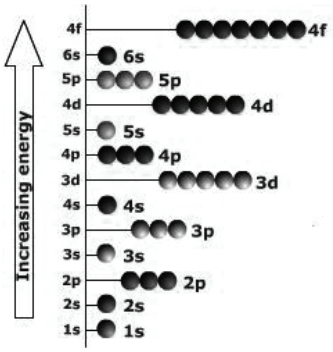
اوربیتال 4s زودتر پر می‌شود زیرا مجموع $(n+l)$ آن کوچک‌تر از اوربیتال 3d است.

اگر ترتیب پر شدن سایر اوربیتال‌ها را نیز بررسی کنیم به روند زیر دست خواهیم یافت:

ترتیب پر شدن اوربیتال‌ها: $1s \rightarrow 2s \rightarrow 2p \rightarrow 3s \rightarrow 3p \rightarrow 4s \rightarrow 3d \rightarrow 4p \rightarrow \ldots$

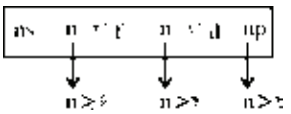
به‌طور کلی ترتیب پر شدن زیرلایه‌ها به‌صورت زیر است:

[1s][2s 2p][3s 3p][4s 3d 4p][5s 4d 5p][6s 4f 5d 6p][7s 5f 6d 7p]



شکل «۶»
سطح انرژی لایه‌های الکترونی و زیرلایه‌های موجود در آن‌ها

۱۹ می‌توان برای رسم آرایش الکترونی از رابطه‌ی زیر استفاده کرد:



اگر $n=1$ باشد، تنها زیرلایه‌ی s پر می‌شود ولی اگر $n=2,3$ باشد علاوه بر زیرلایه‌ی s، زیرلایه‌ی p نیز پر می‌شود. درصورتی‌که $n\geq 4$ باشد زیرلایه‌ی d وارد صحنه می‌شود! و زیرلایه‌ی f فقط در صورتی که $n\geq 6$ باشد رخ می‌نمایاند!

برای نوشتن آرایش الکترونی اتم‌ها لازم است ترتیب فوق را حفظ باشید. اگرچه در نگاه اول ممکن است حفظ ترتیب پر شدن اوربیتال کمی سخت به‌نظر آید اما با کمی تمرین بر این مشکل فائق خواهید آمد! اگر موافق هستید بیایید آرایش الکترونی چند اتم را رسم نماییم:

مثال ۳۹ آرایش الکترونی کلر ($_{17}Cl$) را رسم نمایید.

در کلر، از ۱۷ الکترونی که باید در زیرلایه‌ها جای‌گیرند، ۲ الکترون در زیر لایه‌ی 1s و ۸ الکترون در زیر لایه‌های 2s و 2p قرار می‌گیرند. تا این‌جا، لایه‌های اول و دوم پر می‌شود. از ۷ الکترون باقی‌مانده، ۲ الکترون زیرلایه‌ی 3s را پر می‌کنند و ۵ الکترون وارد زیرلایه‌ی 3p می‌شوند:

$$_{17}Cl: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^5$$

مثال ۴۰ آرایش الکترونی آهن ($_{26}Fe$) را رسم نمایید.

در آهن، ۱۸ الکترون زیرلایه‌های 1s تا 3p را پر می‌کنند: $\ldots 3p^6$ $_{26}Fe: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2$

اما بعد از زیرلایه‌ی 3p کدام زیرلایه زودتر پر می‌شود 4s یا 3d ؟ پاسخ روشن است: 4s ، زیرا سطح انرژی زیرلایه‌ی 4s پایین‌تر از زیرلایه‌ی 3d است. بعد از این‌که زیرلایه‌ی 4s پر شد، الکترون‌ها وارد زیرلایه‌ی 3d می‌شوند: $_{26}Fe: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^6/4s^2$

توجه کنید، با وجود آن‌که 4s زودتر از 3d پر می‌شود اما به هنگام نوشتن آرایش الکترونی، 4s را پس از 3d می‌نویسیم. به‌عبارت دیگر به‌هنگام نوشتن آرایش الکترونی، هر زیرلایه باید در لایه‌ی مربوط به خود قرار گیرد.

۶ـ۱ـ رسم آرایش الکترونی یک اتم با استفاده از گاز نجیب ماقبل آن

از آن‌جا که لایه‌های الکترونی در گازهای نجیب پر هستند، معمولاً برای خلاصه‌تر کردن آرایش‌های الکترونی، به‌جای لایه‌های الکترونی پر شده، نماد شیمیایی گاز نجیب با همان تعداد الکترون را درون یک کروشه قرار می‌دهند. برای مثال در آرایش الکترونی $_{26}Fe$، می‌توان به‌جای نوشتن زیرلایه‌های: $1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6$ از $[_{18}Ar]$ استفاده نمود. بدین‌ترتیب آرایش الکترونی $_{26}Fe$ به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$_{26}Fe: \underbrace{1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6}_{[_{18}Ar]} 3d^6/4s^2 \Rightarrow {}_{26}Fe: [_{18}Ar]3d^6/4s^2$$

۱۰ برای نشان دادن آرایش الکترونی اتم‌ها به دو روش می‌توان عمل نمود:

۱ـ روش نوشتاری

۲ ـ روش نموداری

در روش نموداری هر اوربیتال را با یک مربع □ نشان می‌دهیم. هرگاه اوربیتالی حاوی یک الکترون باشد، یک پیکان روبه‌بالا ↑ درون مربع قرار می‌دهیم. برای قراردادن دومین الکترون در همان مربع، دومین پیکان را رو به پایین قرار می‌دهیم. برای نمونه به آرایش الکترونی فلوئور ($_9F$) توجه نمایید:

روش نوشتاری: $_9F: 1s^2/2s^2 2p^5$

روش نموداری:



توجه داشته باشید که گازهای نجیب به آرایش‌های الکترونی زیر ختم می‌شوند:

$_2He: 1s^2$

$_{10}Ne: \ldots 2s^2 2p^6$

$_{18}Ar: \ldots 3s^2 3p^6$

$_{36}Kr: \ldots 4s^2 4p^6$

$_{54}Xe: \ldots 5s^2 5p^6$

$_{86}Rn: \ldots 6s^2 6p^6$

مثال ۴۱ آرایش الکترونی عنصر قلع ($_{۵۰}Sn$) را رسم کنید.

آرایش الکترونی $_{۵۰}Sn$ به‌صورت زیر است:

$$_{۵۰}Sn: \underbrace{۱s^۲/۲s^۲۲p^۶/۳s^۲۳p^۶۳d^{۱۰}/۴s^۲۴p^۶}_{[_{۳۶}Kr]}۴d^{۱۰}/۵s^۲۵p^۲ \Rightarrow [_{۳۶}Kr]۴d^{۱۰}/۵s^۲۵p^۲$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از گاز نجیب در رسم آرایش الکترونی کمک زیادی در مختصر نوشتن آرایش الکترونی می‌نماید. از این‌رو لازم است جایگاه هر گاز نجیب را در ترتیب پر شدن زیرلایه‌ها بدانیم:

[۱s]	[۲s ۲p]	[۳s ۳p]	[۴s ۳d ۴p]	[۵s ۴d ۵p]	[۶s ۴f ۵d ۶p]	[۷s ۵f ۶d ۷p]
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
[$_۲He$]	[$_{۱۰}Ne$]	[$_{۱۸}Ar$]	[$_{۳۶}Kr$]	[$_{۵۴}Xe$]	[$_{۸۶}Rn$]	

گازهای نجیب در انتهای هر دوره از جدول تناوبی قراردارند. از این‌رو دانستن جایگاه آن‌ها و عدد اتمی آن‌ها کمک زیادی در سریع‌تر نوشتن آرایش الکترونی اتم‌ها می‌نماید. برای نمونه فرض کنید می‌خواهیم آرایش الکترونی آرسنیک ($_{۳۳}As$) را رسم نماییم. گاز نجیب قبل از $_{۳۳}As$، آرگون [$_{۱۸}Ar$] است، پس آرایش الکترونی $_{۳۳}As$ به این صورت خواهدبود:

$$_{۳۳}As: [_{۱۸}Ar]۳d^{۱۰}/۴s^۲۴p^۳$$

اکنون به مثال دیگری توجه نمایید. فرض کنید می‌خواهیم آرایش الکترونی تالیم ($_{۸۱}Tl$) را رسم کنیم. گاز نجیب قبل از $_{۸۱}Tl$، زنون [$_{۵۴}Xe$] است که در انتهای دوره‌ی پنجم قراردارد، پس آرایش الکترونی $_{۸۱}Tl$ به‌صورت زیر خواهد بود:

$$_{۸۱}Tl: [_{۵۴}Xe]۴f^{۱۴}/۵d^{۱۰}/۶s^۲۶p^۱$$

مثال ۴۲ کدام مجموعه از اعداد کوانتومی را می‌توان به الکترون آخرین زیرلایه اتم گوگرد ($_{۱۶}S$)، نسبت داد؟

۱) $m_s = -\frac{۱}{۲}, m_l = ۲, l = ۱, n = ۳$

۲) $m_s = +\frac{۱}{۲}, m_l = ۰, l = ۰, n = ۲$

۳) $m_s = -\frac{۱}{۲}, m_l = -۱, l = ۱, n = ۳$

۴) $m_s = +\frac{۱}{۲}, m_l = -۱, l = ۰, n = ۳$

ابتدا آرایش الکترونی گوگرد ($_{۱۶}S$) را رسم می‌کنیم:

$$_{۱۶}S: [_{۱۰}Ne]۳s^۲۳p^۴$$

زیرلایه‌ی ۳p آخرین زیرلایه‌ی اتم گوگرد است و عددهای کوانتومی این زیرلایه عبارتند از: $n = ۳$ و $l = ۱$ (رد گزینه‌های ۲ و ۴). زیرلایه‌ی ۳p دارای ۳ اوربیتال است که مقادیر m_l آن‌ها به‌ترتیب برابر ۱−، ۰ و ۱+ می‌باشد (رد گزینه‌ی ۱).

۶ ـ ۲ ـ اصل آفبا

اگر برای رسم آرایش الکترونی اتم عنصرها از اتم هیدروژن شروع کنیم و سپس یک به یک بر تعداد پروتون‌های درون هسته و الکترون‌های پیرامون آن (در اوربیتال‌ها) بیفزاییم، (پرکردن اوربیتال‌ها به‌ترتیب افزایش انرژی آن‌ها صورت می‌گیرد) به این‌گونه اتم عنصرهای سنگین‌تر از هیدروژن را به‌ترتیب افزایش عدد اتمی ساخته‌ایم. این شیوه‌ی دست یافتن از یک اتم به اتم دیگر را **اصل بناگذاری یا آفبا** می‌گویند. آفبا (Aufbau) یک واژه‌ی آلمانی به‌معنای رشد یا افزایش گام به گام است.

در جدول زیر آرایش الکترونی اتم هیدروژن و ۳۵ اتم سنگین‌تر از آن‌را که برمبنای اصل آفبا رسم شده است را مشاهده می‌کنید.

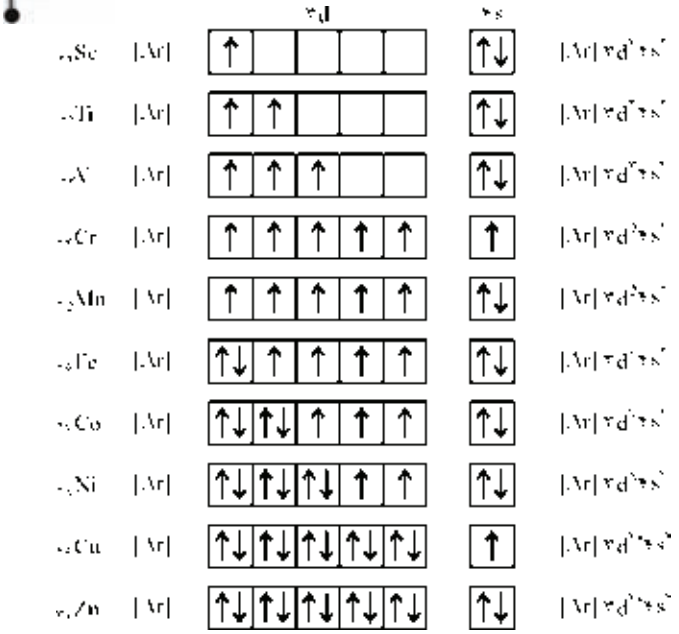
نماد شیمیایی	عدد اتمی	آرایش الکترونی	نماد شیمیایی	عدد اتمی	آرایش الکترونی
H	۱	$1s^1$	K	۱۹	$[Ar]4s^1$
He	۲	$1s^2$	Ca	۲۰	$[Ar]4s^2$
Li	۳	$[He]2s^1$	Sc	۲۱	$[Ar]3d^1 4s^2$
Be	۴	$[He]2s^2$	Ti	۲۲	$[Ar]3d^2 4s^2$
B	۵	$[He]2s^2 2p^1$	V	۲۳	$[Ar]3d^3 4s^2$
C	۶	$[He]2s^2 2p^2$	Cr	۲۴	$[Ar]3d^5 4s^1$
N	۷	$[He]2s^2 2p^3$	Mn	۲۵	$[Ar]3d^5 4s^2$
O	۸	$[He]2s^2 2p^4$	Fe	۲۶	$[Ar]3d^6 4s^2$
F	۹	$[He]2s^2 2p^5$	Co	۲۷	$[Ar]3d^7 4s^2$
Ne	۱۰	$[He]2s^2 2p^6$	Ni	۲۸	$[Ar]3d^8 4s^2$
Na	۱۱	$[Ne]3s^1$	Cu	۲۹	$[Ar]3d^{10} 4s^1$
Mg	۱۲	$[Ne]3s^2$	Zn	۳۰	$[Ar]3d^{10} 4s^2$
Al	۱۳	$[Ne]3s^2 3p^1$	Ga	۳۱	$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^1$
Si	۱۴	$[Ne]3s^2 3p^2$	Ge	۳۲	$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^2$
P	۱۵	$[Ne]3s^2 3p^3$	As	۳۳	$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^3$
S	۱۶	$[Ne]3s^2 3p^4$	Se	۳۴	$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^4$
Cl	۱۷	$[Ne]3s^2 3p^5$	Br	۳۵	$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^5$
Ar	۱۸	$[Ne]3s^2 3p^6$	Kr	۳۶	$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^6$

جدول «۶»

آرایش الکترونی ۳۶ عنصر اول جدول تناوبی

زیرلایه‌های پر و نیمه‌پر

اصولاً داشتن زیرلایه‌های نیمه‌پر و پر به پایداری یک اتم کمک می‌کند. اگر به جدول ۶ نگاهی بیندازید متوجه می‌شوید که آرایش الکترونی دو عنصر کروم ($_{24}Cr$) و مس ($_{29}Cu$) از اصل آفبا پیروی نمی‌کند. انتظار داریم که آرایش الکترونی کروم به‌صورت $[Ar]3d^4/4s^2$ باشد، در حالی‌که شواهد تجربی نشان می‌دهد که آرایش الکترونی این عنصر به‌صورت: $[Ar]3d^5/4s^1$ است. چون حالت نیمه‌پر زیرلایه‌ی d پایداری بیش‌تری به اتم می‌دهد، یک الکترون از زیرلایه‌ی 4s به زیرلایه‌ی 3d منتقل می‌شود. برای مس، آرایش الکترونی براساس اصل آفبا به‌صورت $[Ar]3d^9/4s^2$ است، اما آرایش الکترونی واقعی آن به‌صورت $[Ar]3d^{10}/4s^1$ است، زیرا پر بودن زیرلایه‌ی 3d سبب پایداری بیش‌تر اتم می‌شود. این مطلب در مورد دو عنصر $_{42}Mo$ و $_{47}Ag$ که به‌ترتیب با $_{24}Cr$ و $_{29}Cu$ در یک گروه هستند نیز صدق می‌کند.



${}_{۲۴}Cr:[{}_{۱۸}Ar]۳d^{۴}/۴s^{۲} \Rightarrow {}_{۲۴}Cr:[{}_{۱۸}Ar]۳d^{۵}/۴s^{۱}$ آرایش الکترونی واقعی **(آرایش پایدارتر)** آرایش الکترونی موردانتظار
${}_{۲۹}Cu:[{}_{۱۸}Ar]۳d^{۹}/۴s^{۲} \Rightarrow {}_{۲۹}Cu:[{}_{۱۸}Ar]۳d^{۱۰}/۴s^{۱}$ آرایش الکترونی واقعی **(آرایش پایدارتر)** آرایش الکترونی موردانتظار
${}_{۴۲}Mo:[{}_{۳۶}Kr]۴d^{۴}/۵s^{۲} \Rightarrow {}_{۴۲}Mo:[{}_{۳۶}Kr]۴d^{۵}/۵s^{۱}$ آرایش الکترونی واقعی **(آرایش پایدارتر)** آرایش الکترونی موردانتظار
${}_{۴۷}Ag:[{}_{۳۶}Kr]۴d^{۹}/۵s^{۲} \Rightarrow {}_{۴۷}Ag:[{}_{۳۶}Kr]۴d^{۱۰}/۵s^{۱}$ آرایش الکترونی واقعی **(آرایش پایدارتر)** آرایش الکترونی موردانتظار

۶ـ۳ـ قاعده‌ی هوند

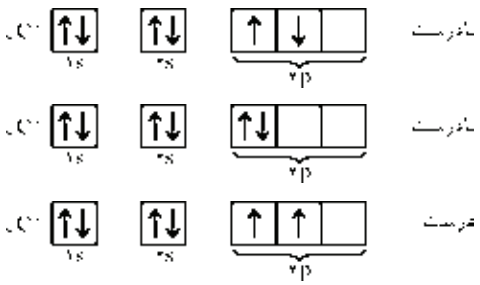
قاعده‌ی هوند نحوه‌ی پر شدن زیرلایه‌های چند اوربیتالی (مثل زیرلایه‌های p یا d یا f) را توضیح می‌دهد. براساس این قاعده:

الف) هریک از اوربیتال‌های زیر لایه ابتدا یک الکترون می‌پذیرد و پس از این‌که همه‌ی اوربیتال‌ها یک الکترون دریافت کردند (یعنی زیر لایه نیم پر شد)، الکترون دوم را هم پذیرا می‌شوند و شروع به کامل شدن (جفت شدن) می‌کنند.

ب) تا نیمه پر شدن زیرلایه، الکترون‌هایی که در اوربیتال‌ها مستقر می‌شوند، **هم‌اسپین (اسپین‌های موازی)** هستند.

طبق قاعده‌ی هوند **پایدارترین** آرایش الکترونی اتم‌ها آرایشی است که حداکثر تعداد الکترون‌های جفت نشده را با اسپین یک‌سان داشته باشد.

به‌عنوان مثال از سه آرایش الکترونی ممکن که برای اتم کربن (${}_{۶}C$) در زیر نشان داده شده است تنها آرایش الکترونی آخر مربوط به حالت پایه‌ی اتم کربن است و با قاعده‌ی هوند مطابقت دارد. زیرا برای هریک از دو نمایش اوربیتالی دیگر، سطح انرژی اتم کربن نسبت به حالت پایه بالاتر است.



اکنون اگر موافق باشید یک جمع‌بندی در مورد رسم آرایش الکترونی اتم‌ها داشته باشیم.

جمع‌بندی:

برای رسم آرایش الکترونی یک اتم (یا برای تعیین ترتیب پر شدن اوربیتال‌ها در یک اتم) باید سه قاعده‌ی زیر را در نظر بگیریم:

۱ـ اصل بناگذاری (آفبا): از اوربیتال‌های موجود، الکترون در اوربیتالی جای می‌گیرد که پایین‌ترین سطح انرژی را دارد.

۲ـ قاعده‌ی هوند: پر شدن زیرلایه‌هایی که بیش از یک اوربیتال هم‌انرژی دارند (مانند زیرلایه‌های p و d) به‌گونه‌ای است که پیش از آن که در هر اوربیتال دو الکترون جای گیرد، هریک از این اوربیتال‌ها به‌وسیله‌ی یک الکترون با اسپین یک‌سان اشغال می‌شود.

۳ـ اصل طرد پائولی: در هر اوربیتال حداکثر دو الکترون، آن هم با اسپین مخالف قرار می‌گیرند.

اگر این سه قاعده رعایت شوند، آرایش الکترونی مشخص شده را **آرایش الکترونی حالت پایه** می‌نامند.

تست ۴۳ **اوربیتال‌های d در کدام عنصر اولین الکترون را می‌پذیرد؟** *(آزاد ـ تجربی ـ ۸۸)*

۱) $_{29}Cu$ ۲) $_{24}Cr$ ۳) $_{21}Sc$ ۴) $_{25}Mn$

ابتدا آرایش الکترونی تک‌تک گزینه‌های مطرح شده را رسم می‌کنیم:

$_{21}Sc:[_{18}Ar]3d^{1}/4s^{2}$	$_{29}Cu:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^{1}$
$_{25}Mn:[_{18}Ar]3d^{5}/4s^{2}$	$_{24}Cr:[_{18}Ar]3d^{5}/4s^{1}$

همان‌طور که مشاهده می‌شود اتم اسکاندیم ($_{21}Sc$) نخستین اتمی است که در آن، الکترون وارد زیر لایه‌ی 3d می‌شود.

تست ۴۴ **کدام‌یک از ترازهای فرعی زیر زودتر از بقیه به وسیله‌ی الکترون اشغال می‌شود؟** *(آزاد ـ پزشکی ـ ۸۶)*

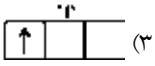
۱) 4f ۲) 6s ۳) 5d ۴) 6p

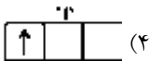
با توجه به رابطه‌ی $\boxed{ns\,,\,(n-2)f\,,\,(n-1)d\,,\,np}$ ، ابتدا زیرلایه‌ی 6s ، سپس زیرلایه‌ی 4f و بعد از آن به‌ترتیب زیرلایه‌های 5d و 6p توسط الکترون اشغال می‌شود.

تست ۴۵ **آرایش الکترونی نوشتاری اتم بور ($_5B$)، به‌صورت ..... و عدد کوانتومی اصلی لایه‌های اشغال شده از الکترون در آن، به ترتیب برابر با ..... است.** *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۶)*

۱) $1s^2\,2s^2\,2p^1$ ـ ۱ و ۲

۲) $1s^2\,2s^2\,2p^1$ ـ ۱، ۱ و ۲

۳)  ـ ۱ و ۲

۴)  ـ ۱، ۱ و ۲

آرایش الکترونی نوشتاری اتم بور ($_5B$) به‌صورت روبه‌رو است: $_5B:1s^2/2s^2\,2p^1$

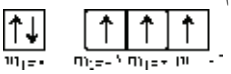
همان‌طور که مشاهده می‌شود در آرایش الکترونی این عنصر، لایه‌های الکترونی اول و دوم از الکترون اشغال شده است. پس عدد کوانتومی اصلی این لایه‌های اشغال شده برابر ۱ و ۲ است.

در گزینه‌های ۳ و ۴ آرایش الکترونی نموداری اتم بور رسم شده است نه آرایش الکترونی نوشتاری آن.

تست ۴۶ **چند الکترون در اتم آرسنیک ($_{33}As$) دارای مجموعه عددهای کوانتومی $n=4$ و $m_l=0$ هستند؟** *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۸)*

۱) ۴ ۲) ۳ ۳) ۲ ۴) ۵

ابتدا آرایش الکترونی آرسنیک را رسم می‌کنیم: $_{33}As:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^{2}\,4p^{3}$



با توجه به آرایش الکترونی آرسنیک می‌توان دریافت که دو الکترون در زیرلایه‌ی 4s و نیز یک الکترون (در اوربیتال وسط زیرلایه‌ی 4p) و در مجموع سه الکترون، دارای $n=4$ و $m_l=0$ هستند.

تست ۴۷ **کدام ردیف اعداد کوانتومی متعلق به آخرین الکترون گالیم ($_{31}Ga$) می‌باشد؟**

۱) ۱

۲) ۲

۳) ۳

۴) ۴

ردیف	n	l	m_s
۱	۳	۲	$-\frac{1}{2}$
۲	۴	۱	$+\frac{1}{2}$
۳	۳	۰	$-\frac{1}{2}$
۴	۴	۲	$+\frac{1}{2}$

ابتدا آرایش الکترونی گالیم را رسم می‌کنیم: $_{31}Ga:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^{2}\,4p^{1}$

همان‌طور که مشاهده می‌شود آخرین الکترون گالیم وارد زیرلایه‌ی 4p می‌شود. عددهای کوانتومی اصلی (n) و اوربیتالی (l) زیرلایه‌ی 4p به‌ترتیب برابر $n=4$ و $l=1$ است. هم‌چنین عدد کوانتومی مغناطیسی اسپینی (m_s) الکترون موردنظر برابر $m_s=+\frac{1}{2}$ است.

مثال ۴۸ **در اتم ژرمانیم ($_{۳۲}Ge$)، ..... لایه (سطح انرژی) و ..... زیرلایه (ترازهای فرعی انرژی) از الکترون اشغال شده است که از میان آن‌ها، ..... زیرلایه، هریک دارای دو الکترون و ..... زیرلایه، هریک دارای شش الکترون است.** *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۵)*

۱) پنج ـ ده ـ شش ـ دو
۲) چهار ـ هشت ـ پنج ـ سه
۳) چهار ـ هشت ـ پنج ـ دو
۴) پنج ـ ده ـ شش ـ سه

پاسخ آرایش الکترونی اتم ژرمانیم ($_{۳۲}Ge$) به‌صورت زیر است:

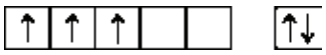
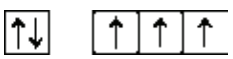
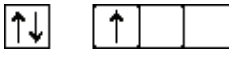
$$_{۳۲}Ge: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / ۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^{۱۰} / ۴s^۲ ۴p^۲$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در آرایش الکترونی ژرمانیم، چهار لایه‌ی اصلی الکترونی و هشت زیرلایه توسط الکترون اشغال شده است که از میان آن‌ها، پنج زیرلایه (۱s ، ۲s ، ۳s ، ۴s و ۴p) دارای دو الکترون و دو زیرلایه (۲p, ۳p) دارای شش الکترون هستند.

مثال ۴۹ **کدام اتم در حالت پایه‌ی خود بیش‌ترین تعداد الکترون‌های جفت نشده را دارد؟** *(المپیاد شیمی ـ مرحله‌ی اول ـ ۸۵ ـ ۸۴)*

۱) $_{۲۳}V$
۲) $_{۳۳}As$
۳) $_{۲۶}Fe$
۴) $_{۴۹}In$

پاسخ ابتدا آرایش الکترونی اتم‌های موردنظر رسم می‌کنیم:

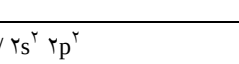
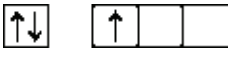
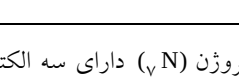
$_{۲۳}V: [_{۱۸}Ar] ۳d^۳ / ۴s^۲$ 	$_{۲۶}Fe: [_{۱۸}Ar] ۳d^۶ / ۴s^۲$ 
$_{۳۳}As: [_{۱۸}Ar] ۳d^{۱۰} / ۴s^۲ ۴p^۳$ 	$_{۴۹}In: [_{۳۶}Kr] ۴d^{۱۰} / ۵s^۲ ۵p^۱$ 

همان‌طور که مشاهده می‌شود در آرایش الکترونی اتم $_{۲۶}Fe$، بیش‌ترین تعداد الکترون‌های جفت نشده وجود دارد.

مثال ۵۰ **سطح انرژی اوربیتال ۲p در کدام عنصر از همه پایین‌تر است؟** *(المپیاد شیمی مرحله‌ی دوم ـ ۸۴ ـ ۸۳)*

۱) $_{۷}N$
۲) $_{۶}C$
۳) $_{۵}B$
۴) $_{۸}O$

پاسخ ابتدا آرایش الکترونی اتم‌های موردنظر را رسم می‌کنیم:

$_{۷}N: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۳$ 	$_{۵}B: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۱$ 
$_{۶}C: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۲$ 	$_{۸}O: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۴$ 

همان‌طور که مشاهده می‌شود زیرلایه‌ی ۲p در اتم نیتروژن ($_{۷}N$) دارای سه الکترون است (**نیمه‌پر** است). بنابراین در مقایسه با سایر اتم‌ها پایدارتر بوده و سطح انرژی آن پایین‌تر است.

مثال ۵۱ **در اتم روتنیم ($_{۴۴}Ru$)، چهارمین لایه (سطح انرژی) دارای چند الکترون است؟** *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۲)*

۱) ۸
۲) ۱۰
۳) ۱۴
۴) ۱۸

پاسخ آرایش الکترونی اتم روتنیم ($_{۴۴}Ru$) به‌صورت زیر است:

$$_{۴۴}Ru: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / ۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^{۱۰} / ۴s^۲ ۴p^۶ ۴d^۷ / ۵s^۱$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود این اتم در لایه‌ی الکترونی چهارم دارای ۱۵ الکترون است. *اما نکته‌ی جالب این‌جاست که عدد ۱۵ را در هیچ‌یک از گزینه‌های مطرح شده نخواهید دید!! پس لابد این سؤال غلط است!*

تذکّر مهم: شاید اولین سؤالی که با دیدن این تست به ذهنتان خطور کند این باشد که آیا باید آرایش الکترونی همه‌ی اتم‌هایی را که غیرعادی هستند و از اصل آفبا پیروی نمی‌کنند را از حفظ

بیایید ببینیم مشکل از کجاست؟ ظاهراً طراح محترم فکر می‌کرده که آرایش الکترونی $_{۴۴}Ru$ به‌صورت زیر است:

$$_{۴۴}Ru: ۱s^۲/۲s^۲۲p^۶/۳s^۲۳p^۶۳d^{۱۰}/۴s^۲۴p^۶۴d^۶/۵s^۲$$

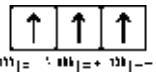
اگر تعداد الکترون‌های موجود در لایه‌ی چهارم را بشماریم به عدد ۱۴ می‌رسیم که در نتیجه گزینه‌ی ۳ جواب این تست خواهد بود. اما کاش طراح محترم یه نگاهی به روی جلد کتاب شیمی ۲ می‌انداخت و می‌دید که آرایش الکترونی $_{۴۴}Ru$ جور دیگری است. به‌هرحال بهتر بود طراح محترم به‌جای آرایش الکترونی $_{۴۴}Ru$ آرایش الکترونی اتم دیگری که از اصل آفبا پیروی می‌کرد را مطرح می‌نمود.

باشیم؟ در جواب باید بگوییم که خیر، لازم نیست! در حد کتاب درسی و کنکور فقط لازم است که آرایش الکترونی $_{۲۴}Cr$، $_{۲۹}Cu$، $_{۴۲}Mo$ و $_{۴۷}Ag$ را (که از اصل آفبا پیروی نمی‌کنند) از حفظ باشید و قید بقیه را بزنید!

مثال ۵۲ الکترون‌های آخرین زیرلایه‌ی اتم آنتیموان ($_{۵۱}Sb$)، در کدام عدد کوانتومی با هم تفاوت دارند؟ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۸ خارج از کشور)*

۱) l ۲) n ۳) m_s ۴) m_l

ابتدا آرایش الکترونی اتم آنتیموان ($_{۵۱}Sb$) را رسم می‌کنیم: $_{۵۱}Sb: [_{۳۶}Kr]۴d^{۱۰}/۵s^۲۵p^۳$



زیر لایه‌ی ۵p، آخرین زیر لایه‌ی اتم $_{۵۱}Sb$ است و الکترون‌های موجود در آن دارای n، l و m_s یکسان هستند ($n=۵, l=۱, m_s=+\frac{۱}{۲}$) و فقط در عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l) با هم تفاوت دارند.

مثال ۵۳ تعداد الکترون با عدد کوانتومی اوربیتالی (l) برابر ۲ در $_{۲۵}Mn$ با تعداد الکترون $l=۲$ در کدام عنصر زیر برابر است؟

۱) $_{۳۱}Ga$ ۲) $_{۲۶}Fe$ ۳) $_{۲۴}Cr$ ۴) $_{۱۸}Ar$

$l=۲$ بیانگر زیرلایه‌ی d می‌باشد پس باید ببینیم که تعداد الکترون‌های موجود در زیرلایه‌ی d هر اتم چند است.

$_{۲۶}Fe: [_{۱۸}Ar]۳d^۶/۴s^۲$	$_{۳۱}Ga: [_{۱۸}Ar]۳d^{۱۰}/۴s^۲۴p^۱$	$_{۲۵}Mn: [_{۱۸}Ar]۳d^۵/۴s^۲$
	$_{۱۸}Ar: [_{۱۰}Ne]۳s^۲۳p^۶$	$_{۲۴}Cr: [_{۱۸}Ar]۳d^۵/۴s^۱$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود تعداد الکترون‌های ۳d دو اتم Mn و Cr برابر است.

مثال ۵۴ در آرایش الکترونی $_{۲۴}Cr$ اختلاف تعداد الکترون‌ها با عدد کوانتومی $m_s=+\frac{۱}{۲}$ و $m_s=-\frac{۱}{۲}$ برابر چند است؟

۱) ۴ ۲) ۶ ۳) ۷ ۴) ۸

ابتدا آرایش الکترونی $_{۲۴}Cr$ را می‌نویسیم: $_{۲۴}Cr: ۱s^۲/۲s^۲۲p^۶/۳s^۲۳p^۶۳d^۵/۴s^۱$

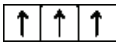
با توجه به آرایش فوق می‌توان دریافت که نیمی از الکترون‌های موجود در زیرلایه‌های ۱s تا ۳p دارای $m_s=+\frac{۱}{۲}$ و نیمی دیگر دارای $m_s=-\frac{۱}{۲}$ هستند و شمار هر کدام برابر ۹ است. در ضمن الکترون‌های موجود در زیرلایه‌های ۳d و ۴s نیز دارای $m_s=+\frac{۱}{۲}$ هستند. پس جمعاً تعداد الکترون‌های دارای $m_s=+\frac{۱}{۲}$ برابر ۱۵ می‌باشد. بنابراین اختلاف تعداد الکترون‌های دارای $m_s=+\frac{۱}{۲}$ و $m_s=-\frac{۱}{۲}$ برابر ۶ ($۶=۹-۱۵$) است.

مثال ۵۵ در اتم $_{۵۱}Sb$ ..... زیر لایه از الکترون اشغال شده‌اند و ..... الکترون دارای عدد کوانتومی $n=۵, l=۱, m_s=+\frac{۱}{۲}$ می‌باشد.

۱) ۱۰ و ۳ ۲) ۱۰ و ۲ ۳) ۱۱ و ۳ ۴) ۱۱ و ۴

ابتدا آرایش الکترونی $_{۵۱}Sb$ را رسم می‌کنیم:

$$_{۵۱}Sb: ۱s^۲/۲s^۲۲p^۶/۳s^۲۳p^۶۳d^{۱۰}/۴s^۲۴p^۶۴d^{۱۰}/۵s^۲۵p^۳$$



همان‌طور که ملاحظه می‌شود در اتم $_{۵۱}Sb$، ۱۱ زیرلایه از الکترون اشغال شده‌اند. اعداد کوانتومی $n=۵$ و $l=۱$ بیانگر زیر لایه‌ی ۵p هستند و با توجه به آرایش الکترونی $_{۵۱}Sb$ می‌توان مشاهده نمود که در زیرلایه‌ی ۵p، ۳ الکترون وجود دارند که هر سه دارای اسپین $+\frac{۱}{۲}$ ($m_s=+\frac{۱}{۲}$) هستند.

۵۶ در تناوب چهارم چند عنصر وجود دارد که در تراز آخر خود ۲ الکترون با $l=0$ دارند؟

۱) ۸ ۲) ۹ ۳) ۱۵ ۴) ۱۱

بیان‌گر زیرلایه‌ی s است. در تناوب چهارم، ۱۵ عنصر در آرایش الکترونی اتم خود دارای ۲ الکترون در زیرلایه‌ی ۴s هستند. لازم به یادآوری است که در تناوب چهارم فقط $_{19}K$، $_{24}Cr$ و $_{29}Cu$ در تراز ۴s خود دارای یک الکترون هستند و بقیه دارای ۲ الکترون هستند.

۵۷ کدام دسته عنصرهای زیر در یک دوره‌ی (ردیف) جدول تناوبی جای دارند؟

۱) $_{10}Ne$ ، $_{11}Na$ ، $_{13}Al$ ۲) $_{16}S$ ، $_{17}Cl$ ، $_{21}Sc$ ۳) $_{9}F$ ، $_{17}Cl$ ، $_{53}I$ ۴) $_{19}K$ ، $_{27}Co$ ، $_{34}Se$

$_{19}K$، $_{27}Co$ و $_{34}Se$ همگی متعلق به دوره‌ی چهارم هستند.

$_{34}Se:[Ar]3d^{10}/4s^2 4p^4$ $_{27}Co:[Ar]3d^7/4s^2$ $_{19}K:[Ar]4s^1$

اعداد اتمی گازهای نجیب را به‌خاطر بسپارید! ۲,۱۰,۱۸,۳۶,۵۴,۸۶

۵۸ اگر تفاوت شمار الکترون‌ها با شمار نوترون‌ها در یون تک اتمی $_{52}X^{3+}(g)$ برابر ۷ باشد، چه تعداد از الکترون‌های آن دارای $m_l=0$ است؟

۱) ۱۳ ۲) ۱۱ ۳) ۸ ۴) ۷



طبق نمودار روبه‌رو، اتم X ، ۳ الکترون بیش‌تر از یون X^{3+} دارد پس می‌توان ادعا نمود که در اتم X ، تفاوت تعداد پروتون‌ها (که در واقع همان تعداد الکترون‌ها است) با تعداد نوترون‌ها برابر ۴ است ($N-Z=4 \Rightarrow N=Z+4$). با توجه به این‌که عدد جرمی اتم X برابر ۵۲ است، می‌توان نوشت: $A=Z+N \Rightarrow 52=Z(Z+4) \Rightarrow 2Z=48 \Rightarrow Z=24$

پس عدد اتمی عنصر موردنظر برابر ۲۴ است. برای این‌که بفهمیم چه تعداد از الکترون‌های یون X^{3+} دارای $m_l=0$ هستند ابتدا آرایش الکترونی آن را رسم می‌کنیم:

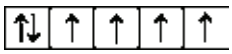
$_{24}X:1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^5/4s^1 \Rightarrow {}_{24}X^{3+}:1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^3$

تمامی اوربیتال‌های s و نیز یکی از اوربیتال‌های زیرلایه‌ی p و d دارای $m_l=0$ هستند. با توجه به آرایش الکترونی یون X^{3+} می‌توان مشاهده نمود که در این یون ۱۱ الکترون دارای $m_l=0$ هستند (۶ تای آن مربوط به اوربیتال‌های s ، ۴ تای آن مربوط به زیرلایه‌ی p و یکی هم مربوط به زیرلایه‌ی d می‌باشد.)

۵۹ کدام مطلب درباره‌ی اتم $_{26}Fe$ نادرست است؟

۱) یازده اوربیتال در اتم، از الکترون پر شده است.
۲) شمار الکترون‌های زیرلایه‌های ۳d و ۳p در آن برابر است.
۳) تمام زیرلایه‌های اشغال شده‌ی آن از الکترون پر شده است.
۴) بیستمین الکترون آن دارای عدد کوانتومی $n=4, l=0, m_l=0$ است.

ابتدا آرایش الکترونی $_{26}Fe$ را رسم می‌کنیم: $_{26}Fe:1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^6/4s^2$



همان‌طور که ملاحظه می‌شود زیرلایه‌ی ۳d هنوز پر نشده است.

۱ زیرلایه‌های ۱s ، ۲s ، ۲p ، ۳s ، ۳p و ۴s پر هستند که تعداد اوربیتال‌های آن‌ها برابر ۱۰ می‌باشد. در ضمن یکی از اوربیتال‌های ۳d نیز پر می‌باشد که تعداد اوربیتال‌های پر شده را به عدد ۱۱ می‌رساند.

۲ با توجه به آرایش الکترونی $_{26}Fe$ می‌توان دریافت که تعداد الکترون‌های زیرلایه‌های ۳d و ۳p برابر ۶ است.

۴ بیستمین الکترون در زیرلایه‌ی ۴s قرار دارد که اعداد کوانتومی آن به‌صورت زیر است:

$n=4, l=0, m_l=0$

مثال ۶۰ در اتم مولیبدن $_{42}Mo$ چند الکترون با اعداد کوانتومی $n=4, m_s=+\frac{1}{2}$ وجود دارد؟

۱) ۹ ۲) ۶ ۳) ۱۲ ۴) ۱۰

ابتدا آرایش الکترونی $_{42}Mo$ را رسم می‌کنیم: $_{42}Mo:[_{36}Kr]4d^5/5s^1$

الکترون‌های موجود در زیرلایه‌ی 4d همگی دارای $m_s=+\frac{1}{2}$ هستند. در ضمن نیمی از الکترون‌های موجود در زیرلایه‌ی 4s و 4p نیز دارای $m_s=+\frac{1}{2}$ هستند. بنابراین مجموع الکترون‌هایی که دارای $n=4$ و $m_s=+\frac{1}{2}$ هستند برابر ۹(۹=۱+۳+۵) می‌باشد.

آرایش‌های غیرعادی $_{24}Cr$، $_{29}Cu$، $_{42}Mo$ و $_{47}Ag$ را به‌خاطر بسپارید.

۴۷ ـ در اتم $_{22}Ti$، ..... اوربیتال از الکترون اشغال شده است و الکترون‌های جای گرفته در بیرونی‌ترین زیر لایه اشغال شده آن، دارای عددهای کوانتومی ..... $n=$ و ..... $l=$ اند. (عددها را از راست به چپ بخوانید) *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۷)*

۱) ۰ـ۴ـ۱۲ ۲) ۱ـ۳ـ۱۲ ۳) ۰ـ۴ـ۱۵ ۴) ۱ـ۳ـ۱۵

۴۸ ـ آرایش الکترونی نموداری اتم کربن ($_6C$) به‌صورت ..... و عدد کوانتومی l برای زیرلایه‌های اشغال شده از الکترون در آن، به‌ترتیب (از راست به چپ) برابر با ..... است. *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۶ ـ خارج از کشور)*

۱) $1s^2 2s^2 2p^2$، ۱ـ، ۱ و ۲

۲) $1s^2 2s^2 2p^2$، ۰ـ، ۱ و ۲

۳) 

، ۰ـ، ۰ و ۱

۴) 

، ۰ـ، ۰ و ۱

۴۹ ـ در کدام‌یک از عنصرهای زیر اوربیتال‌های d همه تک الکترونی‌اند؟ *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۶)*

۱) $_{25}Mn$ ۲) $_{23}V$ ۳) $_{26}Fe$ ۴) $_{30}Zn$

۵۰ ـ در کدام عنصر زیر همه‌ی اوربیتال‌های d جفت الکترونی است؟ *(آزاد ـ پزشکی ـ ۸۵)*

۱) $_{23}V$ ۲) $_{29}Cu$ ۳) $_{24}Cr$ ۴) $_{19}K$

۵۱ ـ در اتم کدام عنصر، تنها یکی از الکترون‌ها در تراز انرژی 3p، جای دارد؟ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۴)*

۱) $_{31}Ga$ ۲) $_{21}Sc$ ۳) $_{23}V$ ۴) $_{13}Al$

۵۲ ـ کدام مجموعه از سه عدد کوانتومی را می‌توان به الکترون آخرین تراز فرعی اتم بور ($_5B$) نسبت داد؟ *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۴)*

۱) $n=2، l=2$ و $m_s=-\frac{1}{2}$

۲) $n=2، l=1$ و $m_s=+\frac{1}{2}$

۳) $n=3، l=1$ و $m_s=+\frac{1}{2}$

۴) $n=3، l=2$ و $m_s=-\frac{1}{2}$

۵۳ ـ در اتم $_{35}X$ چند اوربیتال از الکترون اشغال شده است و در آخرین زیرلایه‌ی آن چند الکترون وجود دارد؟

۱) ۱۸ ، ۷ ۲) ۱۸ ، ۵ ۳) ۸ ، ۵ ۴) ۸ ، ۷

۵۴ ـ آرایش الکترونی عنصری به $5p^3$ ختم می‌شود. این عنصر در لایه اصلی چهارم خود چند الکترون دارد؟ *(المپیاد شیمی مرحله‌ی اول ـ ۸۵ ـ ۸۴)*

۱) ۱۵ ۲) ۱۶
۳) ۱۸ ۴) ۳۲

۵۵ ـ در اتم $_{29}Cu$ چند الکترون با $l=1$ و $m_s=+\frac{1}{2}$ وجود دارد؟

۱) ۶ ۲) ۹ ۳) ۱۵ ۴) ۱۶

۵۶ ـ تمام سطوح انرژی زیر در طبیعت وجود دارد به‌جز... *(المپیاد ملی شیمی آمریکا ـ ۲۰۰۶)*

۱) 3f ۲) 4d ۳) 5p ۴) 7s

۵۷ ـ در کدام گزینه، ۸ زیرلایه از الکترون اشغال شده است؟

۱) $_{24}Cr$ ۲) $_{13}Al$ ۳) $_{29}Cu$ ۴) $_{33}As$

۵۸ ـ اصل آفبا ..... را مشخص می‌کند. *(المپیاد شیمی مرحله‌ی دوم ـ ۸۳ ـ ۸۲)*

۱) جهت‌گیری اوربیتال در فضا

۲) چگونگی جا گرفتن دو الکترون در یک اوربیتال

۳) چگونگی پر شدن اوربیتال‌های یک زیرلایه

۴) ترتیب پر شدن زیرلایه‌های یک اتم

۵۹ ـ کدام توضیح با اصل مطرح شده سازگاری ندارد؟

۱) اصل بناگذاری: نوشتن آرایش الکترونی با قراردادن الکترون‌ها در اوربیتالی که کم‌ترین سطح انرژی را دارد شروع می‌شود.

۲) اصل هوند: پایدارترین آرایش الکترونی اتم‌ها آرایشی است که حداقل تعداد الکترون‌های جفت نشده را با اسپین یک‌سان داشته باشد.

۳) اصل طرد پائولی: در یک اوربیتال بیش از دو الکترون قرار نمی‌گیرد.

۴) اصل طرد پائولی: در یک اتم هیچ دو الکترونی را نمی‌توان یافت که هر چهار عدد کوانتومی آن‌ها یک‌سان باشد.

۶۰ ـ قبل از زیرلایه‌ی 4f کدام‌یک به‌طور کامل پر می‌شود؟ *(المپیاد بین‌المللی شیمی آمریکا ـ ۲۰۰۳)*

۱) 6s ۲) 5p ۳) 5d ۴) 4d

۶۱ ـ چند الکترون در حالت پایه در اتم $_{۲۴}Cr$ دارای مجموعه اعداد کوانتومی $l = ۲$ و $n = ۳$ می‌باشند؟

۱) ۴ ۲) ۱۴ ۳) ۸ ۴) ۵

۶۲ ـ کدام ذره بیش‌ترین تعداد الکترون منفرد را دارد؟ *(المپیاد بین‌المللی شیمی آمریکا ـ ۱۹۹۳)*

۱) $_{۲۷}Co$ ۲) $_{۲۸}Ni$ ۳) $_{۲۹}Cu$ ۴) $_{۳۱}Ga$

۶۳ ـ اگر مجموع اعداد کوانتومی اسپین الکترون‌های عنصری در تناوب چهارم برابر $\frac{۳}{۲}$ باشد، کدام عدد اتمی نمی‌تواند متعلق به این عنصر باشد؟

۱) ۲۳ ۲) ۲۷ ۳) ۳۳ ۴) ۳۱

۶۴ ـ برای نشان دادن این‌که اتمی در سومین لایه الکترونی خود ۱۰ الکترون دارد، کدام آرایش زیر مناسب است؟

۱) $۴s^۲ ۳d^۸$ ۲) $۳d^{۱۰}$ ۳) $۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^۲$ ۴) $۳p^۲ ۳p^۶ ۴s^۲$

۶۵ ـ کدام اتم در آخرین زیرلایه‌ی خود فاقد اوربیتال پر شده است؟

۱) $_{۴۷}Ag$ ۲) $_{۳۴}Se$

۳) $_{۳۸}Sr$ ۴) $_{۲۷}Co$

۶۶ ـ کدام اعداد کوانتومی را می‌توان به سست‌ترین الکترون موجود در آرایش حالت پایه‌ی اتم $_{۲۱}Sc$ نسبت داد؟

۱) $n = ۳, l = ۲, m_l = -۲, m_s = +\frac{۱}{۲}$ ۲) $n = ۴, l = ۰, m_l = ۰, m_s = +\frac{۱}{۲}$

۳) $n = ۳, l = ۰, m_l = ۰, m_s = -\frac{۱}{۲}$ ۴) $n = ۴, l = ۲, m_l = -۲, m_s = -\frac{۱}{۲}$

۶۷ ـ عنصری در آخرین سطح انرژی تنها یک الکترون دارد که عدد کوانتومی اصلی برای این الکترون ۴ و عدد کوانتومی اوربیتالی برابر صفر است. عدد اتمی عنصر چند است؟

۱) ۱۱ ۲) ۲۴ ۳) ۱۸ ۴) ۲۲

۶۸ ـ عدد اتمی عنصری که در 4p به‌اندازه‌ی 4s الکترون دارد چند است؟

۱) ۲۲ ۲) ۳۲ ۳) ۳۰ ۴) ۲۰

۶۹ ـ تعداد الکترون‌های فرد زیرلایه‌ی 3d در عنصرهای زیر برابر است، به‌جز ..... .

۱) $_{۲۳}V, _{۲۷}Co$ ۲) $_{۲۶}Fe, _{۲۴}Cr$ ۳) $_{۲۲}Ti, _{۲۸}Ni$ ۴) $_{۲۵}Mn, _{۲۴}Cr$

۷۰ ـ عنصرهای واسطه‌ی زیر در بیرونی‌ترین لایه‌ی الکترونی خود یک الکترون دارند به‌جز ..... .

۱) $_{۲۴}Cr$ ۲) $_{۴۷}Ag$ ۳) $_{۲۵}Mn$ ۴) $_{۲۹}Cu$

۷۱ ـ در تناوب چهارم، اولین و آخرین عنصری که در تراز 3d ، ۱۰ الکترون دارد کدام است؟ (از راست به چپ بخوانید)

۱) $Zn - Cu$ ۲) $Zn - Sc$

۳) $Kr - Zn$ ۴) $Kr - Cu$

۷۲ ـ چند عنصر در تناوب چهارم دارای ۱۰ الکترون، با $l = 2$ هستند؟

۱) ۲ ۲) ۸

۳) ۶ ۴) ۷

۷۳ ـ در اتم $_{29}Cu$، ..... اوربیتال از الکترون اشغال شده است و الکترون‌های جای گرفته در بیرونی‌ترین زیر لایه‌ی اشغال شده‌ی آن، دارای عددهای کوانتومی ... = n و ... = l اند. (عددها را از راست به چپ بخوانید.)

۱) ۱۴ ـ ۴ و صفر ۲) ۱۴ ـ ۳ و ۱

۳) ۱۵ ـ ۴ و صفر ۴) ۱۵ ـ ۳ و ۱

۷۴ ـ در اتم $_{24}Cr$، ..... اوربیتال از الکترون پر شده است و ..... الکترون در آن دارای عدد کوانتومی $m_l = 0$ هستند. (عددها را از راست به چپ بخوانید.)

۱) ۱۰ ـ ۱۲ ۲) ۱۰ ـ ۱۳ ۳) ۹ ـ ۱۲ ۴) ۹ ـ ۱۳

۷۵ ـ این جمله که «به هنگام رسم آرایش الکترونی اتم‌ها، ابتدا باید سطح انرژی نسبی زیرلایه‌ها را حساب کنیم و سپس به‌ترتیب پایین بودن سطح انرژی، آن‌ها را توسط الکترون پر کنیم.» به چه عنوان مشهور است؟

۱) اصل طرد پائولی ۲) اصل هوند ۳) اسپین ۴) اصل بناگذاری

۷۶ ـ در اتم گوگرد ($_{16}S$)، چند الکترون دارای مجموعه عددهای کوانتومی $n = 2$ و $m_l = 0$ است؟ *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۹)*

۱) ۴ ۲) ۶ ۳) ۲ ۴) ۸

۷۷ ـ در اتم $_{25}Mn$ چند الکترون با $m_l = 0$ وجود دارد؟

۱) ۱۳ ۲) ۸ ۳) ۱۲ ۴) ۱۰

۷۸ ـ اگر تفاوت شمار الکترون‌ها با شمار نوترون‌ها در یون تک اتمی $^{52}X^{2+}(g)$ برابر ۶ باشد، چه تعداد از الکترون‌های آن دارای $(n = 3, l = 2)$ است؟

۱) ۴ ۲) ۳ ۳) ۵ ۴) ۲

۷۹ ـ آرایش الکترونی کدام گونه‌ی شیمیایی با آرایش الکترونی هر یک از سه گونه دیگر تفاوت دارد؟ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۵)*

۱) $_{29}Cu^{+}$ ۲) $_{28}Ni^{2+}$

۳) $_{30}Zn^{2+}$ ۴) $_{31}Ga^{3+}$

۸۰ ـ ترتیب پر شدن زیرلایه‌های 3p,4s,3d,4f,5s در اتم‌ها به کدام صورت است؟

۱) $3p \rightarrow 4s \rightarrow 3d \rightarrow 5s \rightarrow 4f$ ۲) $3p \rightarrow 3d \rightarrow 4s \rightarrow 5s \rightarrow 4f$

۳) $3d \rightarrow 3p \rightarrow 4s \rightarrow 4f \rightarrow 5s$ ۴) $3p \rightarrow 4s \rightarrow 3d \rightarrow 4f \rightarrow 5s$

۸۱ ـ کدام مورد زیر صحیح نمی‌باشد؟

۱) تفاوت اوربیتال‌های p در عدد کوانتومی m_l آن‌هاست.

۲) دو الکترون در یک اتم نمی‌توانند اعداد کوانتومی کاملاً یک‌سان داشته باشند.

۳) عدد کوانتومی l ، شکل اوربیتال را مشخص می‌کند.

۴) در هر اتم نیمی از الکترون‌ها عدد کوانتومی $m_s = +\frac{1}{2}$ دارند.

۸۲ ـ قاعده هوند در مورد کدام‌یک از زیرلایه‌های زیر صدق نمی‌کند؟

۱) 3d ۲) 4f

۳) 3s ۴) 4p

۶ ـ ۴ ـ الکترون‌های ظرفیتی

الکترون‌های ظرفیتی به الکترون‌های لایه‌ی آخر عنصر گفته می‌شود که در واکنش‌های شیمیایی نقش دارند. برای شیمی‌دان‌ها الکترون‌های ظرفیتی اهمیت بسیاری دارند، زیرا به‌طور عمده این الکترون‌ها هستند که **خواص شیمیایی یک عنصر را تعیین می‌کنند.**

یه جور دیگه هم می‌شه گفت، از گروه ۱ تا گروه ۱۱ تعداد الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت برابر **شماره‌ی گروه** و از گروه ۱۲ تا ۱۸ تعداد الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت برابر عدد **یکان شماره‌ی گروه** است.

برای تعیین تعداد الکترون‌های ظرفیتی باید به موارد زیر توجه نماییم:

۱ ـ عنصرهایی که در آرایش الکترونی اتم آن‌ها، آخرین الکترون وارد زیرلایه‌ی s یا p می‌شود، تعداد الکترون‌های موجود در آخرین لایه‌ی الکترونی (بزرگ‌ترین n) را الکترون‌های ظرفیتی می‌نامیم. به مثال‌های زیر توجه نمایید:

$_{11}Na: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^1 \Rightarrow$ تعداد الکترون‌های ظرفیتی سدیم = ۱

$_{16}S: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^4 \Rightarrow$ تعداد الکترون‌های ظرفیتی گوگرد = ۶

$_{35}Br: [_{18}Ar]3d^{10}/4s^2 4p^5 \Rightarrow$ تعداد الکترون‌های ظرفیتی برم = ۷

۲ ـ برای عنصرهایی که اوربیتال d آن‌ها در حال پرشدن است، مجموع الکترون‌های موجود در اوربیتال‌های s لایه‌ی آخر و d لایه‌ی پیش از آخر، الکترون‌های ظرفیتی در نظر گرفته می‌شوند[1]. به‌مثال‌های زیر توجه نمایید:

$_{21}Sc: [_{18}Ar]3d^1/4s^2 \Rightarrow$ تعداد الکترون‌های ظرفیتی اسکاندیم = ۳

$_{28}Ni: [_{18}Ar]3d^8/4s^2 \Rightarrow$ تعداد الکترون‌های ظرفیتی نیکل = ۱۰

۱ ـ در عنصرهای گروه ۱۲(IIB) که شامل $_{30}Zn$، $_{48}Cd$ و $_{80}Hg$ است، زیرلایه‌ی d کاملاً پر است و تمایلی برای شرکت در واکنش‌های شیمیایی ندارد. از این‌رو جزو الکترون‌های ظرفیتی به‌شمار نمی‌آید. **در این اتم‌ها فقط دو الکترون موجود در اوربیتال s لایه‌ی آخر، الکترون‌های ظرفیتی را تشکیل می‌دهند.**

نکته در عنصرهای واسطه (که زیرلایه‌ی d آن‌ها در حال پر شدن است) چون تفاوت سطح انرژی زیرلایه‌ی ns و $(n-1)d$ کم است، پس می‌توانند الکترون‌های هر دو زیرلایه را در واکنش‌های شیمیایی شرکت دهند. از این‌رو **در عنصرهای واسطه، الکترون‌های ظرفیتی به مجموع الکترون‌های این دو زیرلایه گفته می‌شود.**

مثال ۱۱ **اگر تفاوت شمار الکترون‌ها و نوترون‌های اتم عنصر A^{75} برابر ۹ باشد، عدد اتمی عنصر A و شمار الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت اتم آن کدامند؟ (عددها را از راست به چپ بخوانید).** *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۷ ـ خارج از کشور)*

۱) ۳، ۳۱ ۲) ۵، ۳۱ ۳) ۳، ۳۳ ۴) ۵، ۳۳

پاسخ با توجه به اطلاعات داده شده می‌توان نوشت: عدد جرمی = ۷۵

$$\begin{cases} A = Z + N \\ N - Z = 9 \Rightarrow N = Z + 9 \end{cases} \Rightarrow A = Z + (Z+9) \Rightarrow 75 = 2Z + 9 \Rightarrow Z = 33$$

آرایش الکترونی اتم این عنصر به‌صورت زیر است: $_{33}A = [_{18}Ar]3d^{10}/4s^2 4p^3$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در لایه‌ی ظرفیت اتم موردنظر ۵ الکترون ($4s^2 4p^3$) وجود دارد.

مثال ۱۲ **کدام عبارت در مورد آرایش الکترونی $_{55}Cs$ صحیح است؟** *(المپیاد شیمی آمریکا ـ ۱۹۸۸)*

۱) دو الکترون خارجی در یک اوربیتال اتمی جفت شده‌اند.

۲) لایه‌ی 4f آن کاملاً پر است.

۳) تنها یکی از ۵۵ الکترون آن در برهم کنش‌های Cs با سایر اتم‌ها شرکت می‌کند.

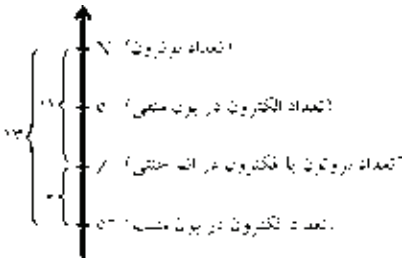
۴) لایه‌ی 4f آن به‌صورت جزیی پر شده است.

پاسخ آرایش الکترونی سزیم ($_{55}Cs$) به‌صورت روبه‌رو است: $_{55}Cs: [_{54}Xe]6s^1$

همان‌طور که دیده می‌شود اتم سزیم در لایه‌ی ظرفیت خود (بیرونی‌ترین لایه‌ی الکترونی خود) تنها دارای یک الکترون است. بنابراین تنها یک الکترون آن در واکنش‌های شیمیایی شرکت می‌کند.

مثال ۶۳ اگر تفاوت شمار الکترون‌ها با شمار نوترون‌ها در یون تک اتمی $^{87}X^{2+}$ (g) برابر ۱۳ باشد، عدد اتمی اتم X و آرایش الکترونی لایه ظرفیت یون X^{2+} (g) چیست؟

۱) ۴۹ و $5s^2 5p^3$ ۲) ۴۹ و $5s^2 5p^1$ ۳) ۳۸ و $4s^2 4p^6$ ۴) ۳۸ و $5s^2$



طبق نمودار روبه‌رو، اتم X ، ۲ الکترون بیش‌تر از یون X^{2+} دارد پس می‌توان گفت که در اتم X ، تفاوت تعداد پروتون‌ها (که در واقع همان تعداد الکترون‌ها است) با تعداد نوترون‌ها برابر ۱۱ است. با توجه به این‌که عدد جرمی اتم X برابر ۸۷ است می‌توان نوشت:

$$N - Z = 11 \Rightarrow N = Z + 11$$

$$A = Z + N \Rightarrow 87 = Z + (Z + 11) \Rightarrow 2Z = 76 \Rightarrow Z = 38$$

پس عدد اتمی X برابر ۳۸ است. آرایش الکترونی لایه‌ی ظرفیت یون X^{2+} به‌صورت زیر است:

$$_{38}X : [_{36}Kr]5s^2 \Rightarrow X^{2+} : [_{36}Kr] = [_{18}Ar]3d^{10} / \underbrace{4s^2 4p^6}_{\text{لایه‌ی ظرفیت}}$$

مثال ۶۴ کدام مطلب درباره‌ی اتم A که آرایش الکترونی لایه ظرفیت آن $4s^2 4p^4$ است، نادرست می‌باشد؟

۱) ۱۶ اوربیتال در اتم آن از الکترون پر شده است.

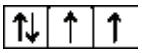
۲) الکترون‌های آخرین زیرلایه‌ی اشغال شده‌ی آن، دارای عددهای کوانتومی $n = 4, l = 1$ اند.

۳) در آن، ۳۲ الکترون وجود دارد که از میان آن‌ها ۲ الکترون جفت نشده است.

۴) به عنصری اصلی تعلق دارد و زیرلایه 3d آن، دارای ۱۰ الکترون است.

ابتدا آرایش الکترونی اتم موردنظر را به‌طور کامل می‌نویسیم:

$$_{34}X : 1s^2 / 2s^2 2p^6 / 3s^2 3p^6 3d^{10} / 4s^2 4p^4$$



با شمارش تعداد الکترون‌ها می‌توان دریافت که در این اتم ۳۴ الکترون وجود دارد نه ۳۲ تا!

۱ تعداد اوربیتال‌های پر از 1s تا 4s برابر ۱۵ می‌باشد که با یکی از اوربیتال‌های 4p (که پر شده) جمعاً برابر ۱۶ اوربیتال پر وجود دارد.

۲ 4p آخرین زیرلایه‌ی اشغال شده‌ی این اتم می‌باشد که عددهای کوانتومی آن عبارتند از:

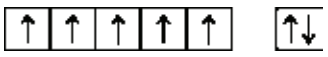
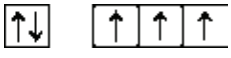
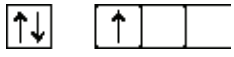
$$n = 4, l = 1$$

۴ چون در این عنصر زیرلایه‌ی p در حال پر شدن است لذا عنصری اصلی به‌شمار می‌آید.

مثال ۶۵ کدام اتم دارای بیش‌ترین اوربیتال تک الکترونی در لایه‌ی ظرفیت خود است؟

۱) $_{47}Ag$ ۲) $_{31}Ga$ ۳) $_{25}Mn$ ۴) $_{51}Sb$

خُب! چاره‌ای نداریم جز این‌که آرایش الکترونی همه‌ی گزینه‌ها را رسم کنیم:

$_{25}Mn : [_{18}Ar]3d^5 / 4s^2$ 	$_{47}Ag : [_{36}Kr]4d^{10} / 5s^1$ 
$_{51}Sb : [_{36}Kr]4d^{10} / 5s^2 5p^3$ 	$_{31}Ga : [_{18}Ar]3d^{10} / 4s^2 4p^1$ 

همان‌طور که می‌بینید اتم Mn بیش‌ترین تعداد اوربیتال تک الکترونی را در لایه‌ی ظرفیت خود دارد.

۸۳ ـ تعداد الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت کدام عنصر درست بیان شده است؟

۱) $_{53}I:17$ ۲) $_{26}Fe:6$ ۳) $_{32}Ge:4$ ۴) $_{29}Cu:1$

۸۴ ـ در اتم $_{24}Cr$ که عنصری واسطه است، به‌ترتیب چند سطح انرژی و چند زیرلایه از الکترون اشغال شده‌اند و لایه‌ی ظرفیت آن شامل چند اوربیتال تک الکترونی است؟

۱) چهار ـ هفت ـ ۶ ۲) چهار ـ هفت ـ ۴ ۳) پنج ـ هشت ـ ۴ ۴) پنج ـ هشت ـ ۶

۸۵ ـ مس ($_{29}Cu$)، از دسته عنصرهای ..... است، که زیرلایه‌ی ..... اتم آن در حال پر شدن است و آرایش الکترونی لایه‌ی ظرفیت اتم آن به‌صورت ..... است.

۱) اصلی ـ $4p$ ـ $4s^2 4p^4$ ۲) اصلی ـ $4p$ ـ $4s^2 4p^3$ ۳) واسطه ـ $3d$ ـ $3d^9 4s^2$ ۴) واسطه ـ $3d$ ـ $3d^{10} 4s^1$

۶ ـ ۵ ـ انرژی زیرلایه‌ها در اتم هیدروژن و سایر اتم‌ها

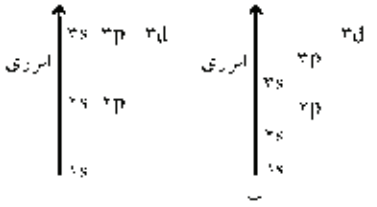
همان‌گونه که گفتیم سطح انرژی زیرلایه‌ها به مجموع عدد کوانتومی اصلی (n) و عدد کوانتومی اوربیتالی (l) بستگی دارد. اما **در مورد اتم هیدروژن، سطح انرژی زیرلایه‌ها فقط به عدد کوانتومی اصلی (n) وابسته است.** از این‌رو، در اتم هیدروژن همه‌ی زیرلایه‌های موجود در یک لایه‌ی الکترونی، هم انرژی هستند، یعنی:

: سطح انرژی زیرلایه‌ها در اتم هیدروژن

$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \ldots$$

اما در اتم‌هایی با بیش از یک الکترون، عدد کوانتومی اصلی (n) و عدد کوانتومی اوربیتالی (l) هر دو، مقدار انرژی زیرلایه‌ها را معین می‌کنند و سطح انرژی زیرلایه‌ها به‌صورت زیر است:

سطح انرژی زیرلایه‌ها در اتم‌های چند الکترونی: $1s < 2s < 2p < 3s < 3p \ldots$



شکل «۷»
آ ـ ترتیب انرژی زیرلایه‌ها در اتم هیدروژن
ب ـ ترتیب انرژی زیرلایه‌ها در اتم‌های چند الکترونی

در غیاب میدان مغناطیسی هر دو آرایش ↑ و ↓ برای حالت پایه‌ی اتم هیدروژن قابل قبول است. اما بدیهی است اگر میدان مغناطیسی برقرار باشد حالت پایه‌ی اتم هیدروژن را به‌صورت ↑ در نظر می‌گیریم.

راستی علت این امر چیست؟ اتم هیدروژن یک پروتون در هسته و یک الکترون در پیرامون هسته دارد. در تعیین انرژی این اتم تنها نیروی جاذبه‌ی بین پروتون و الکترون دخالت دارد. انرژی این اتم در حالت پایه (و حالت‌های برانگیخته‌ی آن) به‌طور کلی به‌وسیله‌ی مقدار n مربوط به اوربیتالی که توسط الکترون اشغال شده معین می‌شود. یعنی برای اتم هیدروژن سطح انرژی اوربیتال‌های s ، p ، d و f در هر لایه‌ی الکترونی با یک‌دیگر برابر است. اما در اتم‌های چند الکترونی علاوه بر جاذبه‌ی میان هسته و الکترون‌ها، میان الکترون‌ها دافعه وجود دارد و به‌علت **ایجاد این دافعه‌های بین‌الکترونی** سطوح انرژی اصلی به زیرلایه‌هایی با انرژی‌های متفاوت شکافته می‌شود. (شاهدی که برای شکافته شدن سطوح انرژی وجود دارد، طیف‌های خطی اتم‌های چندالکترونی است.)

۸۶ ـ در مدل کوانتومی اتم هیدروژن، انرژی ..... فقط به عدد کوانتومی ..... وابسته است و با افزایش آن مقدار انرژی آن‌ها ..... می‌یابد.

۱) زیرلایه‌ها ـ فرعی ـ افزایش ۲) لایه‌ها ـ اصلی ـ کاهش
۳) زیرلایه‌ها ـ اصلی ـ افزایش ۴) لایه‌ها ـ فرعی ـ کاهش

سطح انرژی زیرلایه‌ها به مجموع عدد کوانتومی اصلی (n) و عدد کوانتومی اوربیتالی یا فرعی (l) بستگی دارد. اما در اتم هیدروژن، سطح انرژی زیرلایه‌ها فقط به عدد کوانتومی اصلی (n) وابسته است. یعنی زیرلایه‌هایی که عدد کوانتومی اصلی (n) آن‌ها یک‌سان است، سطح انرژی آن‌ها نیز یک‌سان است و با افزایش n ، سطح انرژی زیرلایه‌ها نیز افزایش می‌یابد.

۶ ـ ۶ ـ دسته‌بندی عنصرهای جدول تناوبی بر اساس پرشدن زیرلایه‌ها

عنصرهای جدول تناوبی را بسته به این‌که کدام زیرلایه‌ی آن‌ها در حال پرشدن است می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود. این چهار دسته عبارتند از:

۱ ـ عنصرهای دسته‌ی s ۲ ـ عنصرهای دسته‌ی p

۳ ـ عنصرهای دسته‌ی d ۴ ـ عنصرهای دسته‌ی f

۱ ـ عنصرهای دسته‌ی s : عنصرهایی هستند که زیرلایه‌ی s آن‌ها در حال پرشدن است. همان‌طور که در شکل «۸» مشاهده می‌شود عنصرهای دسته‌ی s شامل دو ستون هستند؛ آرایش الکترونی عنصرهای ستون اول به s^1 و ستون دوم به s^2 ختم می‌شود. برای نمونه عنصرهای $_{11}Na$ و $_{12}Mg$ مربوط به دسته‌ی s می‌باشند.

۲ ـ عنصرهای دسته‌ی p : عنصرهایی هستند که زیرلایه‌ی p آن‌ها در حال پر شدن است. باتوجه به این‌که زیرلایه‌ی p حداکثر با شش الکترون پر می‌شود، در شکل «۸» می‌توان دید که عنصرهای این دسته شامل شش ستون هستند که آرایش الکترونی عنصرهای موجود در ستون‌های آن، از چپ به راست به‌ترتیب از p^1 شروع و به p^6 ختم می‌شود. برای مثال عنصرهای $_6C$، $_{16}S$ و $_{35}Br$ مربوط به دسته‌ی p هستند.

۳ ـ عنصرهای دسته‌ی d یا عنصرهای واسطه: عنصرهایی هستند که زیرلایه‌ی d آن‌ها در حال پر شدن است. با توجه به این‌که در زیرلایه‌ی d حداکثر ۱۰ الکترون جای می‌گیرد، عنصرهای دسته‌ی d شامل ۱۰ ستون هستند، شکل «۸». برای مثال عنصرهای $_{21}Sc$، $_{25}Mn$ و $_{30}Zn$ مربوط به دسته‌ی d هستند.

*راستی یک مطلب جالب! برای رسم سریع‌تر آرایش الکترونی عنصرهای ۲۱ تا ۲۹ (نخستین ردیف عنصرهای واسطه)، بد نیست بدانید، عدد یکان توان **3d** و عدد دهگان توان **4s** را نشان می‌دهد.*

۴ ـ عنصرهای دسته‌ی f یا عنصرهای واسطه‌ی داخلی: عنصرهایی هستند که زیرلایه‌ی f آن‌ها در حال پرشدن است. این عنصرها دو دسته‌ی مهم **لانتانیدها** و **اکتینیدها** را تشکیل می‌دهند. باتوجه به این‌که در زیرلایه‌ی f حداکثر ۱۴ الکترون جای می‌گیرد، عنصرهای واسطه‌ی داخلی شامل ۱۴ ستون هستند. برای مثال عنصرهای $_{62}Sm$ و $_{99}Es$ جزو عنصرهای واسطه‌ی داخلی به‌شمار می‌آیند.

یادآوری به عنصرهای دسته‌ی s و p ، **عنصرهای اصلی** نیز گفته می‌شود. عنصرهای اصلی را در جدول تناوبی با علامت A نشان می‌دهند. **عنصرهای واسطه** را با علامت B نشان می‌دهند.

$_{11}Na : [_{10}Ne]3s^1$

$_{12}Mg : [_{10}Ne]3s^2$

$_6C : [_2He]2s^2 2p^2$

$_{16}S : [_{10}Ne]3s^2 3p^4$

$_{35}Br : [_{18}Ar]3d^{10}/4s^2 4p^5$

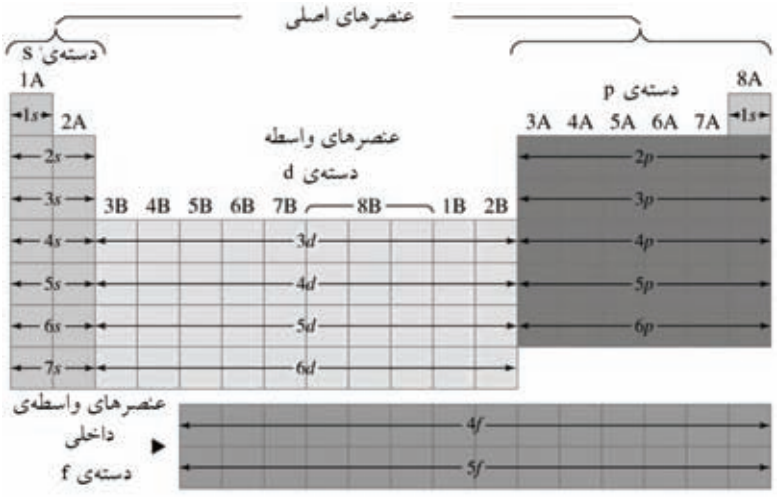
$_{21}Sc : [_{18}Ar]3d^1/4s^2$

$_{25}Mn : [_{18}Ar]3d^5/4s^2$

$_{30}Zn : [_{18}Ar]3d^{10}/4s^2$

$_{62}Sm : [_{54}Xe]4f^6/6s^2$

$_{99}Es : [_{86}Rn]5f^{11}/7s^2$



شکل «۸»

زیر لایه‌هایی که در هر یک از تناوب‌های جدول در حال پر شدن هستند.

مثال ۶۷ **کروم ($_{۲۴}Cr$)، از دسته عنصرهای ..... است که زیرلایه‌ی ..... اتم آن درحال پر شدن است و آرایش الکترونی لایه ظرفیت اتم آن به‌صورت ..... است.** *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۵)*

۱) اصلی ـ $4p$ ـ $4s^2 4p^4$
۲) اصلی ـ $4p$ ـ $4s^2 4p^3$
۳) واسطه ـ $3d$ ـ $3d^4 4s^2$
۴) واسطه ـ $3d$ ـ $3d^5 4s^1$

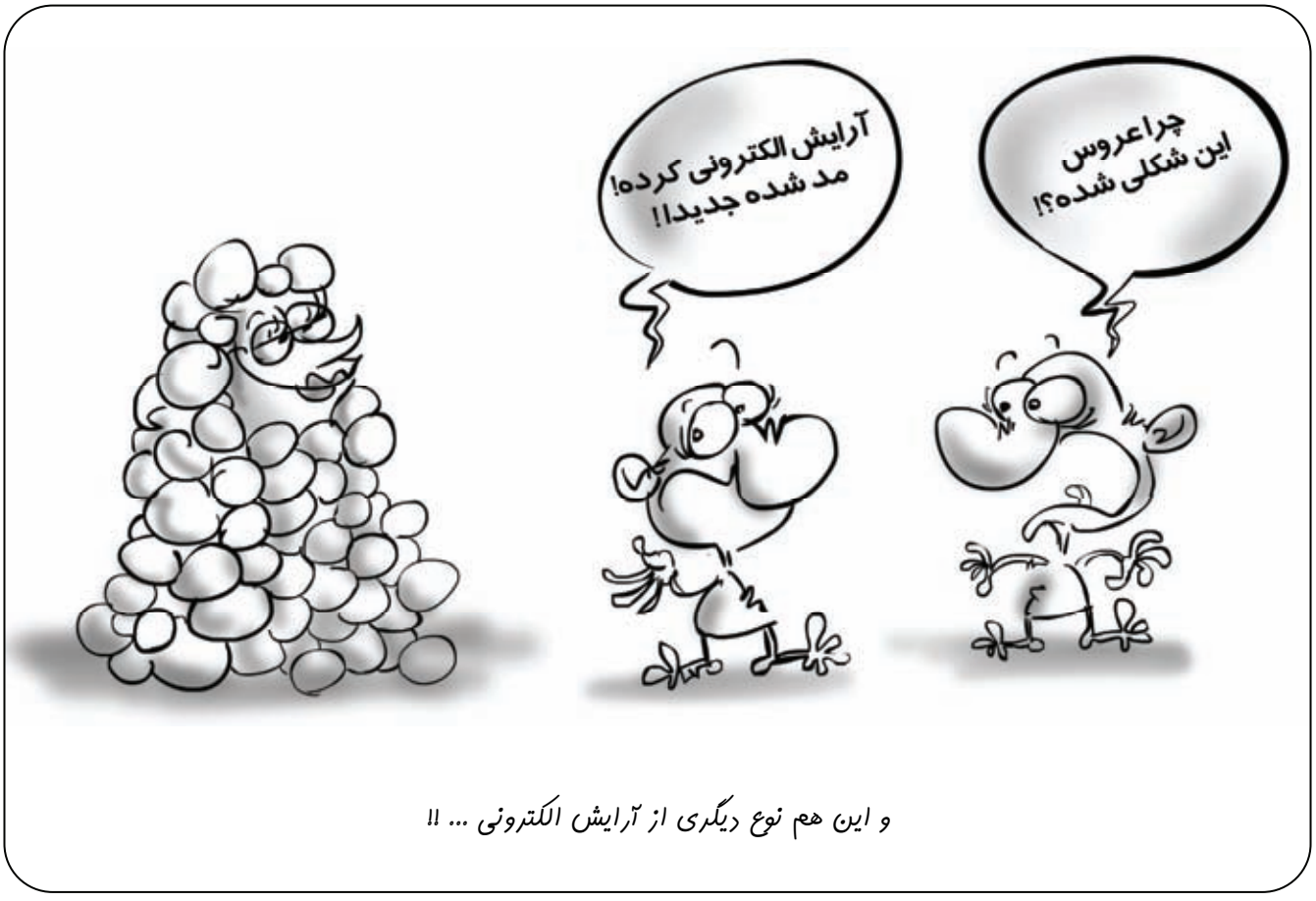
حل ابتدا آرایش الکترونی کروم را رسم می‌کنیم: $_{۲۴}Cr : [_{۱۸}Ar] 3d^5 / 4s^1$

با توجه به آرایش الکترونی کروم می‌توان دریافت که این عنصر از دسته‌ی **عنصرهای واسطه** است، زیرا زیرلایه‌ی **3d** آن در حال پر شدن است. هم‌چنین می‌دانید که آرایش الکترونی لایه‌ی ظرفیت کروم به‌صورت $3d^4 / 4s^2$ نیست زیرا این آرایش ناپایدار است و با انتقال یک الکترون از 4s به 3d به شکل پایدار $3d^5 / 4s^1$ تبدیل می‌شود.

۶ـ۷ـ آرایش الکترونی یون‌های تک اتمی

گازهای نجیب که در انتهای هریک از دوره‌های جدول تناوبی عناصر قرارگرفته‌اند، در بیرونی‌ترین لایه‌ی الکترونی اتم خود، هشت الکترون دارند و آرایش الکترونی لایه‌ی بیرونی آن‌ها به ns^2np^6 ختم می‌شود که یک **آرایش الکترونی متقارن و بسیار پایدار است** (البته آرایش الکترونی اتم هلیم به‌صورت $1s^2$ است که آن هم آرایش الکترونی بسیار پایداری است)

ذرات هم‌الکترون (ایزوالکترون)
ذرات هم الکترون ذراتی هستند که تعداد الکترون‌های آن‌ها با یک‌دیگر **برابر** است. برای نمونه $_{۱۰}Ne$، $_{۱۱}Na^+$، $_{۱۲}Mg^{2+}$، $_{۱۳}Al^{3+}$، $_{۹}F^-$، $_{۸}O^{2-}$ و $_{۷}N^{3-}$ همگی دارای ۱۰ الکترون هستند و نسبت به هم ایزوالکترون به‌شمار می‌آیند.



و این هم نوع دیگری از آرایش الکترونی ... !!

با توجه به پایداری آرایش الکترونی گازهای نجیب، سایر اتم‌ها تمایل دارند به آرایش الکترونی پایدار گازهای نجیب برسند. **فلزها** با از دست دادن الکترون و تشکیل **کاتیون (یون مثبت)**، به آرایش الکترونی گاز نجیب پیش از خود در جدول تناوبی می‌رسند. از سوی دیگر نافلزها با گرفتن الکترون و تشکیل **آنیون (یون منفی)**، به آرایش گاز نجیب پس از خود می‌رسند. این قاعده را ***قاعده‌ی هشتایی*** و آرایش الکترونی اتم را پس از گرفتن یا از دست دادن الکترون، ***آرایش الکترونی پایدار هشتایی*** می‌نامند. به‌عنوان مثال، سه عنصر پیش از $_{10}Ne$ در جدول تناوبی ($_7N$، $_8O$ و $_9F$) و سه عنصر پس از آن ($_{11}Na$، $_{12}Mg$ و $_{13}Al$) یون‌های پایداری تشکیل می‌دهند که آرایش الکترونی آن‌ها مانند نئون ($1s^2/2s^2 2p^6$) است. **سه فلز** ذکر شده با از دست دادن الکترون به چنین آرایشی می‌رسند:

$$_{11}Na: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^1 \xrightarrow{\text{از دست دادن یک الکترون}} {}_{11}Na^+: 1s^2/2s^2 2p^6$$

$$_{12}Mg: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 \xrightarrow{\text{از دست دادن ۲ الکترون}} {}_{12}Mg^{2+}: 1s^2/2s^2 2p^6$$

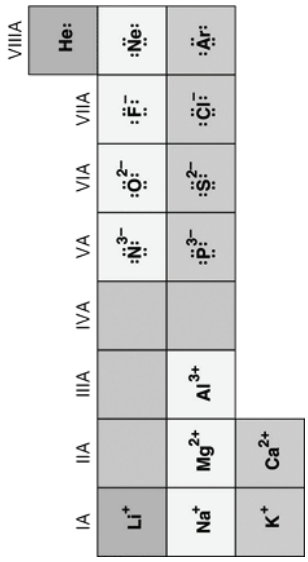
$$_{13}Al: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^1 \xrightarrow{\text{از دست دادن ۳ الکترون}} {}_{13}Al^{3+}: 1s^2/2s^2 2p^6$$

سه نافلز ذکر شده با گرفتن الکترون به آرایش الکترونی نئون می‌رسند:

$$_7N: 1s^2/2s^2 2p^3 \xrightarrow{\text{گرفتن ۳ الکترون}} {}_7N^{3-}: 1s^2/2s^2 2p^6$$

$$_8O: 1s^2/2s^2 2p^4 \xrightarrow{\text{گرفتن ۲ الکترون}} {}_8O^{2-}: 1s^2/2s^2 2p^6$$

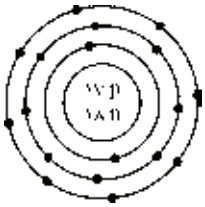
$$_9F: 1s^2/2s^2 2p^5 \xrightarrow{\text{گرفتن یک الکترون}} {}_9F^-: 1s^2/2s^2 2p^6$$



نتیجه: یک اتم برای رسیدن به آرایش گاز نجیب، مجاز است که حداکثر ۳ الکترون بگیرد یا ۳ الکترون بدهد.

۲۵ یون‌های تک اتمی دارای بار بیش‌تر از +۳ یا -۳ ناپایدار هستند و در طبیعت تشکیل نمی‌شوند. زیرا اگر میزان بار بیش‌تر از +۳ یا -۳ باشد به‌دلیل تراکم شدید بار الکتریکی، یون‌های موردنظر به‌شدت با ذره‌های اطراف خود وارد واکنش می‌شوند. از این‌رو نمی‌توانند به‌صورت پایدار باقی بمانند.

مثال ۶۸ آرایش الکترونی روبه‌رو، مربوط به کدام ذره است؟ *(آزاد ـ پزشکی ـ ۷۵)*



۱) Cl^-

۲) Cl

۳) Ar

۴) S^{2-}

در این تست، اولین چیزی که باید به آن توجه نمود، تعداد پروتون‌ها است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این ذره دارای ۱۷ پروتون است، پس عنصر موردنظر کلر ($_{17}Cl$) می‌باشد[1]. بنابراین تا این‌جا یا گزینه‌ی ۱ درست است یا گزینه‌ی ۲. اما با توجه به این‌که ذره‌ی موردنظر دارای ۱۸ الکترون است می‌توان دریافت که این ذره باید یون $_{17}Cl^-$ باشد. شایان ذکر است که در این‌گونه تست‌ها تعداد نوترون‌ها اهمیتی ندارد زیرا با توجه به وجود ایزوتوپ‌های مختلف برای یک عنصر، تعداد نوترون‌ها می‌تواند متفاوت باشد.

۱ ـ همان‌طور که در ابتدای این بخش گفتیم لازم است که عنصرهای ۱ تا ۳۸ جدول تناوبی را حفظ باشید.

مثال ۶۹ عدد اتمی دو عنصر X و Y به‌ترتیب برابر ۳۴ و ۵۶ است. کدام مطلب درباره‌ی آن‌ها نادرست است؟

۱) اتم X با گرفتن دو الکترون به آرایش گاز نجیب پس از خود می‌رسد.

۲) اتم Y یک عنصر دسته‌ی s است که یون پایدار آن به‌صورت Y^{2+} است.

۳) الکترون‌هایی که از Y جدا می‌شوند تا یون Y^{2+} تشکیل شود، دارای $l=1$ هستند.

۴) آرایش الکترونی یون‌های X^{2-} و Y^{2+} با یک‌دیگر متفاوت است.

پاسخ آرایش الکترونی اتم Y و یون Y^{2+} را رسم می‌کنیم:

$$_{56}Y:[_{54}Xe]\underbrace{6s^2}_{l=0}\longrightarrow {}_{56}Y^{2+}=[_{54}Xe]$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود الکترون‌هایی که از Y جدا می‌شوند تا یون Y^{2+} تشکیل شود، دارای $l=0$ هستند نه $l=1$!

بررسی سایر گزینه‌ها:

۱ اتم X با گرفتن ۲ الکترون و تبدیل شدن به یون پایدار X^{2-}، به آرایش گاز نجیب پس از خود (یعنی $_{36}Kr$) می‌رسد:

$$_{34}X:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^24p^4\longrightarrow {}_{34}X^{2-}:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^24p^6=[_{36}Kr]$$

۲ همان‌طور که در آرایش الکترونی اتم Y مشاهده می‌شود، آخرین الکترون‌ها وارد زیرلایه‌ی 6s می‌شوند. پس این عنصر یک عنصر دسته‌ی s به‌شمار می‌آید.

۴ یون X^{2-} دارای ۳۶ الکترون و یون Y^{2+} دارای ۵۴ الکترون می‌باشد، پس آرایش الکترونی این دو یون با هم متفاوت است.

مثال ۷۰ اگر آرایش الکترونی کاتیون پایدار X^+ به $3p^6$ ختم شود، عدد کوانتومی اوربیتالی و عدد کوانتومی مغناطیسی آخرین الکترون اتم X کدام‌اند؟

۱) صفر و صفر ۲) ۱ و صفر ۳) ۱ و ۱- ۴) ۲ و ۱-

پاسخ ابتدا با توجه به آرایش الکترونی X^+، آرایش الکترونی X را می‌نویسیم:

$$X^+:...3p^6\Rightarrow X:...3p^6/4s^1$$

آخرین الکترون اتم X در زیرلایه‌ی 4s جای دارد که عدد کوانتومی اوربیتالی (l) و عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l) آن به‌ترتیب برابر صفر و صفر است. $l=0\Rightarrow m_l=0$

۶ـ۷ـ۱ـ یون‌های عنصرهای واسطه

دانستیم که در عنصرهای واسطه زیرلایه‌ی d در حال پر شدن است. همان‌گونه که در قسمت‌های قبل گفته شد، سطح انرژی زیرلایه‌ی 4s پایین‌تر از زیرلایه‌ی 3d است. به همین دلیل زیرلایه‌ی 4s زودتر از زیرلایه‌ی 3d توسط الکترون‌ها اشغال می‌شود. شاهد آن وارد شدن آخرین الکترون پتاسیم ($_{19}K$) در زیرلایه‌ی 4s است نه زیرلایه‌ی 3d: $_{19}K:1s^2/2s^22p^6/3s^23p^6/4s^1$

در اتم کلسیم ($_{20}Ca$) نیز دو الکترون آخر وارد زیرلایه‌ی 4s می‌شوند نه زیرلایه‌ی 3d:

$$_{20}Ca:1s^2/2s^22p^6/3s^23p^6/4s^2$$

در عنصرهای بعدی (یعنی عنصرهای واسطه از $_{21}Sc$ تا $_{30}Zn$) شرایط وارونه می‌شود؛ یعنی سطح انرژی زیرلایه‌ی 3d پایین‌تر از زیرلایه‌ی 4s واقع می‌شود. زیرا با وارد شدن پروتون‌های جدید در هسته، اثر جذب هسته بر الکترون‌های زیرلایه‌ی 3d (که اصولاً به هسته نزدیک‌تر هستند) بیش‌تر شده و سطح انرژی آن نسبت به 4s پایین‌تر می‌آید. به همین دلیل است که به هنگام از دست دادن الکترون و تبدیل شدن به یون مثبت، الکترون‌ها ابتدا از زیرلایه‌ی 4s خارج می‌شوند نه زیرلایه‌ی 3d!

به‌عبارت دیگر، **سطح انرژی زیرلایه‌ی ۳d در عنصرهای واسطه پایین‌تر از زیرلایه‌ی ۴s است.** پس به‌طور خلاصه می‌توان گفت:

۳d > ۴s : سطح انرژی قبل از اشغال شدن توسط الکترون
۳d < ۴s : سطح انرژی پس از اشغال شدن توسط الکترون

توجه: تا قبل از عدد اتمی ۲۰ که هنوز زیرلایه‌ی ۳d از الکترون اشغال نشده، سطح انرژی زیرلایه‌ی ۳d **بالاتر از** ۴s است ولی پس از آن، سطح انرژی زیرلایه‌ی ۳d **پایین‌تر از** ۴s واقع می‌شود.

مثال ۷۱ **در عنصر $_{۳۰}Zn$، آخرین الکترون در کدام اوربیتال زیر قراردارد؟** *(آزاد ـ تجربی ـ ۸۰)*

۱) p
۲) s
۳) d
۴) f

آرایش الکترونی روی ($_{۳۰}Zn$) به‌صورت زیر است: $_{۳۰}Zn:[_{۱۸}Ar]۳d^{۱۰}/۴s^{۲}$

در این تست منظور از **آخرین** الکترون، **دورترین** الکترون (نسبت به هسته‌ی اتم) است. $_{۳۰}Zn$ یک عنصر واسطه است که سطح انرژی زیرلایه‌ی ۴s در آن بالاتر از زیرلایه‌ی ۳d است، یعنی زیرلایه‌ی ۴s دورتر از زیرلایه‌ی ۳d (نسبت به هسته‌ی اتم) است. پس آخرین الکترون در اوربیتال ۴s قراردارد.

اما شاید از خود بپرسید مگر نه این است که در عنصرهای واسطه، ابتدا زیرلایه‌ی **۴s** *پُر می‌شود بعد زیرلایه‌ی* **۳d** *؟ پس در $_{۳۰}Zn$، آخرین الکترون وارد زیرلایه‌ی* **۳d** *می‌شود و جواب این تست، گزینه‌ی ۳ است!* در پاسخ باید گفت که اگر چنین چیزی مدنظر طراح سؤال باشد، صورت سؤال خود را به این‌صورت بیان می‌کند که: **در عنصر $_{۳۰}Zn$، آخرین الکترون وارد کدام زیرلایه می‌شود؟** که در این صورت جواب، گزینه‌ی ۳ خواهد بود.

نکته همان مطالبی که برای زیرلایه‌ی ۴s و ۳d گفتیم برای زیرلایه‌های ۵s و ۴d نیز صدق می‌کند! یعنی در عنصرهای واسطه سطح انرژی زیرلایه‌ی ۴d پایین‌تر از زیرلایه‌ی ۵s است. یا:

۴d > ۵s : سطح انرژی قبل‌از اشغال شدن توسط الکترون

۴d < ۵s : سطح انرژی پس از اشغال شدن توسط الکترون

مثال ۷۲ **کدام‌یک از اعداد کوانتومی زیر مربوط به الکترونی است که راحت‌تر از اتم آهن جدا می‌شود؟**

۱) $n=۴\ ,\ l=۰\ ,\ m_l=۰\ ,\ m_s=-\frac{۱}{۲}$
۲) $n=۳\ ,\ l=۲\ ,\ m_l=۰\ ,\ m_s=+\frac{۱}{۲}$
۳) $n=۳\ ,\ l=۲\ ,\ m_l=-۱\ ,\ m_s=-\frac{۱}{۲}$
۴) $n=۱\ ,\ l=۰\ ,\ m_l=۰\ ,\ m_s=-\frac{۱}{۲}$

ابتدا آرایش الکترونی آهن ($_{۲۶}Fe$) را رسم می‌کنیم: $_{۲۶}Fe:[_{۱۸}Ar]۳d^{۶}/۴s^{۲}$

در اتم آهن (که یک عنصر واسطه است) سطح انرژی زیرلایه‌ی ۴s بالاتر از زیرلایه‌ی ۳d است. لذا جدا کردن الکترون از آن راحت‌تر است. گزینه‌ی ۱ اعداد کوانتومی الکترونی را نشان می‌دهد که در زیرلایه‌ی ۴s قراردارد، لذا جدا کردن این الکترون از بقیه راحت‌تر است.

نکته **یون‌های عنصرهای واسطه برای پایدار شدن نمی‌توانند به آرایش الکترونی گاز نجیب برسند.** زیرا با توجه به این‌که این عنصرها در لایه‌ی ظرفیت خود (ns و $(n-۱)$d) بیش از ۳ الکترون دارند برای رسیدن به آرایش گاز نجیب باید بیش از ۳ الکترون از دست بدهند و همان‌طور که گفتیم اتم‌ها نمی‌توانند یون‌های پایدار دارای بار بیش از +۳ تشکیل دهند. (البته استثناءهایی نیز وجوددارد. برای نمونه **اسکاندیم ($_{۲۱}Sc$) و ایتریم ($_{۳۹}Y$)** که به‌ترتیب دارای آرایش الکترونی $[_{۱۸}Ar]۳d^{۱}/۴s^{۲}$ و $[_{۳۶}Kr]۴d^{۱}/۵s^{۲}$ هستند با تشکیل یون +۳ به آرایش گاز نجیب ماقبل خود می‌رسند.)

نتیجه‌ی مهم: **فلزهای گروه‌های ۱، ۲، $_{۱۳}Al$، $_{۲۱}Sc$ و $_{۳۹}Y$** با از دست دادن الکترون، به آرایش الکترونی گاز نجیب قبل از خود و **نافلزهای گروه‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷** با گرفتن ۳، ۲ و ۱ الکترون، به آرایش الکترونی گاز نجیب بعداز خود می‌رسند.

بررسی چند مطلب مهم در مورد عنصرهای تناوب چهارم:

۱ ـ در تناوب چهارم، **سه عنصر** وجود دارد (${}_{29}Cu(3d^{10}4s^1)$، ${}_{24}Cr(3d^5 4s^1)$ و ${}_{19}K(4s^1)$) که در آخرین سطح انرژی اصلی خود تنها **یک الکترون** دارند، یعنی سه عنصر وجود دارد که آرایش الکترونی آن‌ها به $4s^1$ ختم می‌شود.

۲ ـ در تناوب چهارم، **۸ عنصر واسطه** وجود دارد (تمام عنصرهای واسطه به جز ${}_{29}Cu(3d^{10}4s^1)$ و ${}_{24}Cr(3d^5 4s^1)$ که در آخرین سطح انرژی اصلی خود **دو الکترون** دارند، یعنی آرایش الکترونی آن‌ها به $4s^2$ ختم می‌شود.

۳ ـ در تناوب چهارم، **۹ عنصر** وجود دارد (${}_{20}Ca(4s^2)$ و تمام عنصرهای واسطه به جز ${}_{29}Cu(3d^{10}4s^1)$ و ${}_{24}Cr(3d^5 4s^1)$) که در آخرین سطح انرژی اصلی خود **دو الکترون** دارند، یعنی آرایش الکترونی آن‌ها به $4s^2$ ختم می‌شود.

۴ ـ در تناوب چهارم، **۲ عنصر** وجود دارد (${}_{25}Mn(3d^5 4s^2)$ / ${}_{24}Cr(3d^5 4s^1)$) که زیرلایه‌ی 3d در آن‌ها **نیمه‌پر** است.

۵ ـ در تناوب چهارم، **۲ عنصر واسطه** وجود دارد (${}_{30}Zn(3d^{10}4s^2)$ / ${}_{29}Cu(3d^{10}4s^1)$) که زیرلایه‌ی 3d در آن‌ها **کاملاً پر** است.

۶ ـ در تناوب چهارم، **۸ عنصر** وجود دارد (${}_{30}Zn$ / ${}_{29}Cu$ و ۶ عنصر گروه‌های اصلی از ${}_{31}Ga$ تا ${}_{36}Kr$) که زیرلایه‌ی 3d در آن‌ها **کاملاً پر** است.

۷ ـ در عنصرهای تناوب چهارم **۳ عنصر** ${}_{19}K$، ${}_{20}Ca$ و ${}_{21}Sc$ با از دست دادن الکترون به **آرایش گاز نجیب دوره ماقبل** ${}_{18}Ar$ می‌رسند.

۷۳ **با توجه به آرایش الکترونی اتم‌های A ، B ، C و D کدام‌یک از آن‌ها به ترتیب با از دست دادن الکترون و با به دست آوردن الکترون می‌تواند به یون پایداری با آرایش هشتایی مبدل شود؟** *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۶)*

۱) C و A ۲) D و A

۳) C و B ۴) D و B

A : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

B : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$

C : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

D : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$

اتم A با گرفتن یک الکترون و اتم C با از دست دادن یک الکترون به آرایش هشتایی (گاز نجیب) می‌رسند. اتم B خود دارای آرایش هشتایی است. لذا نیازی به از دست دادن و یا گرفتن الکترون ندارد. اتم D (که یک عنصر واسطه است) برای رسیدن به آرایش هشتایی ($3s^2 3p^6$) باید ۱۱ الکترون از دست بدهد که این امر، شدنی نیست. زیرا در شرایط طبیعی، یک اتم حداکثر می‌تواند ۳ الکترون بگیرد و یا ۳ الکترون از دست بدهد.

تذکر مهم: برای رسم آرایش الکترونی یون‌های عنصرهای واسطه، ابتدا آرایش الکترونی اتم موردنظر را **در حالت خنثی** رسم می‌کنیم سپس بسته به تعداد بار مثبت، ابتدا از اوربیتال 4s (یا 5s) و پس از آن، درصورت لزوم از اوربیتال 3d (یا 4d) الکترون جدا می‌کنیم.

۷۴ **آرایش الکترونی ${}_{27}Co^{2+}$ و ${}_{27}Co^{3+}$ را رسم نمایید.**

ابتدا آرایش الکترونی اتم کبالت را در حالت خنثی رسم می‌کنیم: ${}_{27}Co : [{}_{18}Ar]3d^7/4s^2$

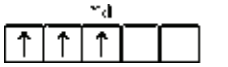
برای رسم آرایش الکترونی یون ${}_{27}Co^{2+}$ کافی است که دو الکترون از زیرلایه‌ی 4s جدا کنیم:

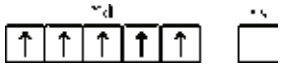
${}_{27}Co^{2+} : [{}_{18}Ar]3d^7$

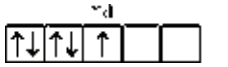
اما برای رسم آرایش الکترونی یون ${}_{27}Co^{3+}$ باید یک الکترون دیگر از زیرلایه‌ی 3d جدا نماییم:

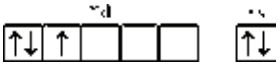
${}_{27}Co^{3+} : [{}_{18}Ar]3d^6$

۷۵ **کدام‌یک از گزینه‌های زیر آرایش الکترونی لایه‌ی ظرفیت یون ${}_{26}Fe^{3+}$ را نشان می‌دهد؟**

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

ابتدا آرایش الکترونی اتم آهن (${}_{26}Fe$) را در حالت خنثی رسم می‌کنیم، سپس دو الکترون از زیرلایه‌ی 4s و یک الکترون از زیرلایه‌ی 3d جدا می‌کنیم:

${}_{26}Fe : [{}_{18}Ar]3d^6/4s^2 \Rightarrow {}_{26}Fe^{3+} : [{}_{18}Ar]3d^5 4s^0$



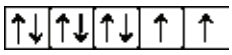
تست ۷۶ کدام‌یک از یون‌های زیر تعداد اوربیتال‌های تک الکترونی بیش‌تری دارد؟

۱) $_{28}Ni^{2+}$ ۲) $_{23}V^{3+}$

۳) $_{24}Cr^{3+}$ ۴) $_{25}Mn^{2+}$

همان‌طور که گفتیم در این گونه تست‌ها در مورد هر گزینه، ابتدا آرایش الکترونی اتم موردنظر را در حالت خنثی رسم می‌کنیم. سپس به تعداد بار مثبت، الکترون‌ها را ابتدا از اوربیتال ۴s و سپس از اوربیتال ۳d جدا می‌کنیم:

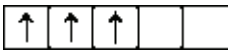
۱) $_{28}Ni:[_{18}Ar]3d^8/4s^2 \Rightarrow {}_{28}Ni^{2+}:[_{18}Ar]3d^8$



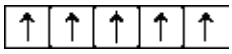
۲) $_{23}V:[_{18}Ar]3d^3/4s^2 \Rightarrow {}_{23}V^{3+}:[_{18}Ar]3d^2$



۳) $_{24}Cr:[_{18}Ar]3d^5/4s^1 \Rightarrow {}_{24}Cr^{3+}:[_{18}Ar]3d^3$



۴) $_{25}Mn:[_{18}Ar]3d^5/4s^2 \Rightarrow {}_{25}Mn^{2+}:[_{18}Ar]3d^5$



همان‌طور که ملاحظه می‌شود، گزینه‌ی ۴ بیش‌ترین تعداد اوربیتال تک الکترونی را دارد.

تست ۷۷ اگر عدد جرمی عنصر M، برابر ۱۰۶ و تفاوت شمار نوترون‌های آن با شمار پروتون‌های آن برابر ۱۴ باشد، عدد اتمی این عنصر و شمار الکترون‌های بیرونی‌ترین زیرلایه یون M^{2+} کدامند؟ (عددها را از راست به چپ بخوانید.) *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۷)*

۱) ۴۸، ۸ ۲) ۴۶، ۶

۳) ۴۶، ۸ ۴) ۴۸، ۶

همان‌طور که می‌دانید در هسته‌ی اتم تعداد نوترون‌ها یا با تعداد پروتون‌ها برابر است یا از تعداد پروتون‌ها بیش‌تر است ($N \geq Z$). با توجه به این‌که در این سؤال اشاره شده است که اختلاف تعداد نوترون‌ها (N) و پروتون‌ها (Z) برابر ۱۴ است؛ پس:

$$\begin{cases} A = Z + N \\ N - Z = 14 \Rightarrow N = Z + 14 \end{cases} \Rightarrow A = Z + (Z+14) \Rightarrow 106 = 2Z + 14 \Rightarrow Z = 46$$

برای این‌که شمار الکترون‌های بیرونی‌ترین زیرلایه‌ی یون M^{2+} را بدانیم ابتدا باید آرایش الکترونی M و سپس آرایش الکترونی یون M^{2+} را رسم نماییم[1]:

$$_{46}M:1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^{10}/4s^2 4p^6 4d^8/5s^2 \Rightarrow$$

$$_{46}M^{2+}:1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^{10}/\underbrace{4s^2 4p^6 4d^8}_{\text{۱۶ الکترون}}$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، یون M^{2+} در بیرونی‌ترین زیرلایه‌ی خود (یعنی زیرلایه‌ی 4d) دارای هشت الکترون است.

۱ ـ اگر به جلد کتاب درسی نگاهی بیندازید. ملاحظه خواهید نمود که آرایش الکترونی اتم موردنظر (Pd ۴۶) به‌صورت: $_{46}pd:[Kr]4d^{10}/5s^0$ است اما چون در کتاب درسی به آرایش الکترونی غیر عادی این اتم اشاره‌ای نشده و البته تأثیری هم روی جواب این تست ندارد. آن‌را به غلط به‌صورت $[_{36}Kr]4d^8/5s^2$ نوشته‌ایم! شتر دیدی ندیدی!

تست ۷۸ اگر یون $^{65}_{30}M^{2+}$ دارای ۲۸ الکترون باشد، کدام مطلب درست است؟ *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۵)*

۱) تمام ترازهای انرژی اشغال شده‌ی اتم M از الکترون پر می‌باشد.

۲) دارای ۳۷ نوترون است.

۳) اتم M دارای سه تراز انرژی اصلی است.

۴) عدد اتمی عنصر M برابر ۲۸ است.

یون M^{2+} دارای ۲۸ الکترون است پس اتم خنثای M دارای ۳۰ الکترون است:

$$_{30}M: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^{10}/4s^2$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود همه‌ی ترازهای فرعی انرژی[1] (یعنی تمام زیرلایه‌ها)، از الکترون پر هستند.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۲ تعداد نوترون‌ها در یون M^{2+} یا اتم M برابر ۳۵ است:

$$A = Z + N \Rightarrow 65 = 30 + N \Rightarrow N = 35$$

۳ همان‌طور که در آرایش الکترونی اتم M مشاهده می‌شود، این اتم دارای ۴ تراز انرژی اصلی (لایه‌ی الکترونی) است.

۴ تعداد پروتون‌ها (عدد اتمی) در هر دو گونه‌ی M^{2+} و M یکسان بوده و برابر ۳۰ است.

۱ ـ البته در گزینه‌ی ۱ این سؤال هیچ اشاره‌ای به «ترازهای انرژی فرعی» یا زیرلایه‌ها نشده است ولی شم پلیسی ما! می‌گوید که حتماً در گزینه‌ی ۱ منظور از ترازهای انرژی همان ترازهای انرژی فرعی است نه ترازهای انرژی اصلی. زیرا اگر منظور آن ترازهای انرژی اصلی بود گزینه‌ی ۱ هم نادرست می‌شد. زیرا در تراز اصلی چهارم (لایه‌ی چهارم) هنوز زیرلایه‌های 4p و 4d پر نشده‌اند.

مثال ۷۹ **پس از جدا کردن ۳ الکترون از اتم A، ۲۶ الکترون برای یون آن باقی‌می‌ماند. آرایش الکترونی یون A^+ در آخرین زیرلایه‌ی آن کدام است؟** *(المپیاد شیمی مرحله‌ی دوم ـ ۸۴ ـ ۸۳)*

۱) $4s^2$ ۲) $4s^1$

۳) $3d^9$ ۴) $3d^{10}$

با توجه به این‌که یون A^{3+} دارای ۲۶ الکترون است می‌توان دریافت که اتم A دارای ۲۹ الکترون است ($_{29}Cu$). پس آرایش الکترونی یون A^+ به‌صورت زیر است:

$$_{29}A: [_{18}Ar]3d^{10}/4s^1 \Rightarrow {}_{29}A^+: [_{18}Ar]3d^{10}$$

مثال ۸۰ **آرایش الکترونی یون X^{3+} به $3d^3$ ختم شده است. چند الکترون در اتم X دارای مجموعه عددهای کوانتومی $n = 3$ و $l = 2$ هستند؟**

۱) ۴ ۲) ۳

۳) ۲ ۴) ۵

ابتدا آرایش الکترونی اتم X را با توجه به آرایش الکترونی یون X^{3+} رسم می‌کنیم:

$$X^{3+}: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^3 \Rightarrow X: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^4/4s^2$$

$$\xrightarrow{\text{تغییر آرایش برای رسیدن به آرایش پایدار}} X: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^5/4s^1$$

عددهای کوانتومی $n = 3$ و $l = 2$ زیرلایه‌ی 3d را نشان می‌دهند و با توجه به آرایش الکترونی اتم X می‌توان دریافت که در این اتم **۵ الکترون** در زیرلایه‌ی 3d قرار دارد.

۱۲۸ آرایش الکترونی یک گاز نجیب ـ که به np^6 یا $1s^2$ ختم می‌شود ـ می‌تواند مربوط به خود **گاز نجیب** یا یون مثبت پایدار یا یون منفی پایدار باشد که به آرایش الکترونی آن گاز نجیب رسیده‌اند.

به‌عنوان مثال آرایش الکترونی $1s^2$ می‌تواند مربوط به $_2He$، $_1H^-$ یا $_3Li^+$ باشد. هم‌چنین آرایش الکترونی $1s^2/2s^2 2p^6$ می‌تواند مربوط به $_{10}Ne$، $_{11}Na^+$، $_{12}Mg^{2+}$، $_{13}Al^{3+}$، $_9F^-$، $_8O^{2-}$ یا $_7N^{3-}$ باشد. آرایش الکترونی سایر اتم‌ها معمولاً فقط می‌تواند مربوط به آرایش الکترونی همان اتم در حالت خنثی باشد. برای نمونه آرایش الکترونی $1s^2/2s^2 2p^5$ فقط می‌تواند مربوط به اتم فلوئور ($_9F$) در حالت خنثی باشد. زیرا هیچ یون مثبت یا منفی در حالت طبیعی به آرایش الکترونی فلوئور که یک آرایش الکترونی ناپایدار است نمی‌رسد.

توجه: شاید فکر کنید که آرایش الکترونی $1s^2/2s^2 2p^5$ می‌تواند مربوط به یون $_8O^-$ یا $_{11}Na^{2+}$ نیز باشد، اما توجه داشته باشید که یون‌های $_8O^-$ و $_{11}Na^{2+}$ در حالت طبیعی تشکیل نمی‌شوند زیرا آرایش‌های پایداری نیستند.

۲۹ اگر در یک آرایش الکترونی، اوربیتال ۳d (یا ۴d) داشته باشیم ولی اوربیتال ۴s (یا ۵s) نداشته باشیم، آن آرایش الکترونی، **فقط می‌تواند مربوط به یک یون مثبت (کاتیون) باشد.**

به‌عنوان مثال آرایش الکترونی: $1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^6$ فقط می‌تواند مربوط به یک یون مثبت، مانند $_{26}Fe^{2+}$ یا $_{27}Co^{3+}$ باشد. اما نمی‌تواند مربوط به یک اتم خنثی باشد زیرا در هیچ اتمی، اوربیتال ۳d قبل از اوربیتال ۴s توسط الکترون اشغال نمی‌شود.

مثال ۸۱ **کدام آرایش الکترونی را می‌توان فقط به یک یون مثبت پایدار نسبت داد؟** *(آزاد ـ غیرپزشکی ـ ۷۴)*

۱) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$

۲) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10}$

۳) $1s^2 2s^2 2p^6$

۴) $1s^2 2s^2 2p^4$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در گزینه‌ی ۲، زیرلایه‌ی ۳d داریم ولی زیرلایه‌ی ۴s نداریم، پس این آرایش الکترونی فقط می‌تواند مربوط به یک یون مثبت (کاتیون) باشد.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۱ هیچ کاتیون پایداری به‌چنین آرایشی نمی‌رسد.

۳ این آرایش الکترونی می‌تواند متعلق به گاز نجیب $_{10}Ne$ و یا یون‌هایی باشد که به آرایش الکترونی این گاز نجیب رسیده‌اند مانند $_{9}F^-$ و $_{11}Na^+$. پس این گزینه هم قابل‌قبول نیست.

۴ آرایش الکترونی موردنظر مربوط به اکسیژن ($_8O$) است و هیچ یون مثبتی به آرایش الکترونی اکسیژن نمی‌رسد.

مثال ۸۲ **کدام‌یک از آرایش‌های الکترونی زیر، می‌تواند به یک یون با دو بار منفی مربوط شود؟**

۱) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$

۲) $1s^2 2s^2 2p^6$

۳) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10}$

۴) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

آرایش الکترونی $1s^2/2s^2 2p^6$ می‌تواند مربوط به یک یون با دو بار منفی (یعنی یون O^{2-}) باشد. آرایش $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ می‌تواند مربوط به یک اتم خنثی باشد. آرایش گزینه‌ی ۳ نیز تنها می‌تواند مربوط به یک کاتیون باشد. آرایش گزینه‌ی ۴ می‌تواند مربوط به یک اتم خنثی باشد.

۳۰ در اتم‌ها و یون‌های مربوط به عنصرهای دسته‌ی s و p (گروه‌های اصلی جدول تناوبی)، اگر تعداد الکترون‌ها برابر باشند، حتماً آرایش الکترونی هم یک‌سان است. اما در **عنصرهای دسته‌ی d (عنصرهای واسطه)** این‌گونه نیست و **آرایش هیچ اتمی با آرایش الکترونی هیچ یونی یک‌سان نیست.** زیرا در این عنصرها آخرین الکترون(ها) در زیرلایه‌ی s قراردارد و برای تشکیل کاتیون از آن جدا می‌شود، اما اتم‌ها همگی دارای زیرلایه‌ی s هستند.

مثال ۸۳ **آرایش الکترونی یون‌های $_{17}Cl^-$ و $_{20}Ca^{2+}$ که تعداد الکترون‌های یک‌سانی دارند را رسم کنید.**

این دو یون مربوط به عنصرهای دسته‌ی s و p (گروه‌های اصلی) هستند. چون تعداد الکترون‌ها برابر می‌باشد حتماً آرایش الکترونی آن‌ها هم یک‌سان است:

$$_{17}Cl : [_{10}Ne]3s^2 3p^5 \rightarrow {}_{17}Cl^- : [_{10}Ne]3s^2 3p^6 \equiv [_{18}Ar]$$

$$_{20}Ca : [_{18}Ar]4s^2 \rightarrow {}_{20}Ca^{2+} \equiv [_{18}Ar]$$

مثال ۸۴ آرایش الکترونی $_{25}Mn^{2+}$ و $_{23}V$ را رسم کنید.

این دو ذره مربوط به عنصرهای واسطه هستند واگر چه تعداد الکترون‌های برابر دارند ولی آرایش الکترونی آن‌ها یک‌سان نیست: $_{25}Mn:[_{18}Ar]3d^5/4s^2 \rightarrow {}_{25}Mn^{2+}:[_{18}Ar]3d^5$

$_{23}V:[_{18}Ar]3d^3/4s^2$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در یون $_{25}Mn^{2+}$، الکترون‌های اوربیتال 4s جدا شده‌اند در حالی‌که در اتم $_{23}V$ اوربیتال 4s وجود دارد.

مثال ۸۵ آرایش الکترونی کدام جفت از ذره‌های زیر یک‌سان است؟

۱) $_{11}Na^+$ ، $_{17}Cl^-$ ۲) $_{28}Ni$ ، $_{29}Cu^+$

۳) $_{27}Co^{2+}$ ، $_{25}Mn$ ۴) $_{36}Kr$ ، $_{35}Br^-$

آرایش الکترونی اتم‌ها و یون‌های داده شده را رسم می‌کنیم:

۱) $_{11}Na^+:[_{10}Ne]$ ، $_{17}Cl^-:[_{10}Ne]3s^2 3p^6$

۲) $_{28}Ni:[_{18}Ar]3d^8 4s^2$ ، $_{29}Cu^+:[_{18}Ar]3d^{10}$

۳) $_{27}Co^{2+}:[_{18}Ar]3d^7$ ، $_{25}Mn:[_{18}Ar]3d^5/4s^2$

۴) $_{36}Kr:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^2 4p^6$ ، $_{35}Br^-:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^2 4p^6$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود آرایش الکترونی $_{36}Kr$ و $_{35}Br^-$ که هر دو هم‌الکترون بوده و مربوط به عنصرهای دسته‌ی p هستند، دارای آرایش الکترونی یک‌سانی نیز هستند.

۸۶ ـ اگر یون تک اتمی M^{2+} دارای ۴۸ الکترون باشد، کدام مطلب درباره‌ی اتم M درست است؟

۱) عدد اتمی آن برابر با ۴۶ است.

۲) آخرین لایه‌ی الکترونی آن دارای ۱۸ الکترون است.

۳) تعداد اوربیتال‌های پر آن برابر با ۲۵ است.

۴) تعداد الکترون‌های با عدد کوانتومی $l=0$ آن برابر با ۱۰ است.

۸۷ ـ چند الکترون جفت نشده در اطراف یون Co^{3+} وجود دارد؟ *(المپیاد ملی شیمی آمریکا ـ ۲۰۰۳)*

۱) ۶ ۲) ۴ ۳) ۲ ۴) ۰

۸۸ ـ اطلاعات کدام ردیف جدول زیر درست است؟

ردیف	عنصر یا یون	آرایش الکترونی لایه‌ی آخر	تعداد کل الکترون‌ها
۱	$_{29}Cu^+$	$3s^2 3p^6 3d^{10}$	۲۸
۲	$_{33}As^{2-}$	$3d^{10} 4s^2$	۳۵
۳	$_{42}Mo^{2+}$	$4s^2 4p^2 4d^4$	۴۴
۴	$_{31}Ga$	$4s^2 4p^2$	۳۱

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

۸۹ ـ یون تک اتمی A^{3+} دارای ۲۱ الکترون است. اتم این عنصر چند الکترون s دارد؟ *(المپیاد شیمی مرحله‌ی دوم ـ ۸۳ ـ ۸۲)*

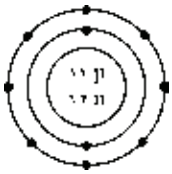
۱) ۸ ۲) ۶ ۳) ۷ ۴) ۹

۹۰ ـ کدام یک از آرایش‌های الکترونی زیر برای یک اتم خنثی یا یک یون در حالت پایه امکان‌پذیر نیست؟

۱) $1s^2 2s^2 2p^3$ ۲) $1s^2 2s^1 2p^6$ *(المپیاد بین‌المللی شیمی آمریکا ـ ۱۹۹۵)*

۳) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$ ۴) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$

۹۱ ـ شکل مقابل ساختار الکترونی کدام یون است؟ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۷۴)*



۱) $_{8}O^{2-}$

۲) $_{9}F^{-}$

۳) $_{11}Na^{+}$

۴) $_{12}Mg^{2+}$

۹۲ ـ اعداد کوانتومی الکترونی که از اتم نقره ($_{47}Ag$) جدا می‌شود تا یون Ag^{+} تشکیل شود، کدام است؟

۱) $n=5$ ، $l=1$ ، $m_l=+1$ ۲) $n=4$ ، $l=2$ ، $m_l=0$ ۳) $n=4$ ، $l=2$ ، $m_l=-1$ ۴) $n=5$ ، $l=0$ ، $m_l=0$

۹۳ ـ اگر تفاوت شمار الکترون‌ها و نوترون‌های اتم عنصر ^{47}A برابر ۳ باشد، عدد اتمی این عنصر و شمار الکترون‌های بیرونی‌ترین زیر لایه‌ی یون A^{2+} کدامند؟ (عددها را از راست به چپ بخوانید.)

۱) ۲۴ و ۴ ۲) ۲۲ و ۲ ۳) ۲۲ و ۱۰ ۴) ۲۴ و ۱۲

۹۴ ـ کدام آرایش الکترونی زیر را می‌توان فقط به کاتیون نسبت داد؟

۱) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ۲) $1s^2 2s^2 2p^5$ ۳) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$ ۴) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$

۹۵ ـ یون‌های $^{79}_{34}A^{2-}$ و $^{89}_{39}B^{3+}$ از نظر کدام ویژگی با یک‌دیگر برابر نیستند؟

۱) تعداد الکترون ۲) رسیدن به آرایش الکترونی یک گاز نجیب

۳) اختلاف نوترون و پروتون ۴) اختلاف پروتون و الکترون

۹۶ ـ در کدام مورد زیر، هر سه یون آرایش گاز نجیب را دارند؟

۱) $_{21}Sc^{+3}, _{12}Mg^{+2}, _{17}Cl^{-}$ ۲) $_{13}Al^{3+}, _{30}Zn^{+2}, _{9}F^{-}$ ۳) $_{26}Fe^{2+}, _{20}Ca^{+2}, _{8}O^{-2}$ ۴) $_{24}Cr^{+2}, _{25}Mn^{+2}, _{16}S^{-2}$

۹۷ ـ اگر آرایش الکترونی کاتیون X^{3+} به $3d^7$ ختم شود آرایش الکترونی اتم X کدام است؟

۱) $[Ar]3d^9 4s^2$ ۲) $[Ar]3d^{10}$ ۳) $[Ar]3d^8 4s^2$ ۴) $[Ar]3d^{10} 4s^1$

۹۸ ـ کدام دو یون با $_{34}Se^{2-}$ هم الکترون هستند؟

۱) $_{20}Ca^{2+}, _{53}I^{-}$ ۲) $_{38}Sr^{2+}, _{40}Zr^{3+}$ ۳) $_{37}Rb^{+}, _{35}Br^{-}$ ۴) $_{12}Mg^{2+}, _{8}O^{2-}$

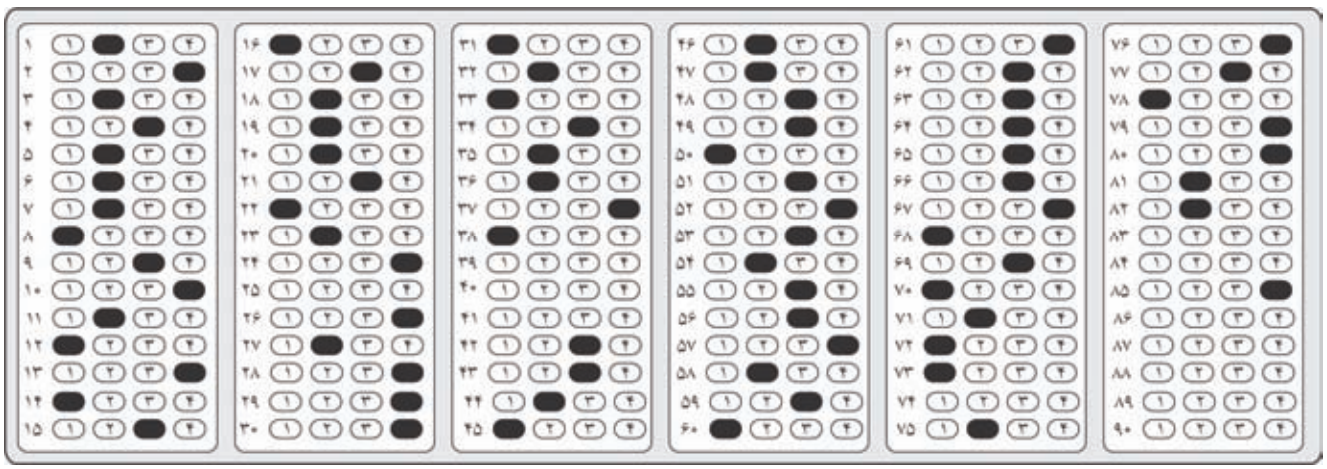
۹۹ ـ یون تک اتمی A^{3+} دارای ۲۱ الکترون است. اتم این عنصر چند الکترون با عدد کوانتومی $l=0$ دارد؟

۱) ۸ ۲) ۶ ۳) ۷ ۴) ۹

۱۰۰ ـ عدد اتمی دو عنصر A و B به‌ترتیب برابر ۳۹ و ۳۳ است، یون متداول این دو عنصر کدام است؟

۱) B^{3+}, A^{2-} ۲) B^{3-}, A^{3+} ۳) B^{5+}, A^{2+} ۴) B^{3-}, A^{2+}

پاسخ‌های کلیدی مثال



پلکان آموزش ۲
پاسخ تست‌های پلکان آموزش ۵۳
پلکان آزمون ۶۲
پاسخ‌های پلکان آزمون ۶۶

پاسخ تست‌های پلکان آموزش

۱ ـ در $^{24}_{12}Mg$ تعداد پروتون‌ها برابر ۱۲، تعداد الکترون‌ها برابر ۱۲ و تعداد نوترون‌ها نیز برابر ۱۲ است. بنابراین **گزینه‌ی ۴** درست است.

۲ ـ در $^{56}_{26}Fe$، تعداد پروتون‌ها برابر ۲۶ و تعداد نوترون‌ها برابر ۳۰ است که تفاوت آن‌ها برابر ۴ می‌باشد. پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

تله‌ی تستی! گزینه‌ی ۴ ($^{7}_{3}Li$) خیلی زیرکانه و البته موذیانه! طرح شده است. زیرا ممکن است بعضی‌ها به جای تفاوت تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها، به اشتباه تفاوت عدد جرمی و عدد اتمی را در نظر گرفته و گزینه‌ی ۴ را انتخاب نمایند و بدین ترتیب در دام این «تله‌ی تستی» بیفتند!

۳ ـ اتم $^{2}_{1}H$ دارای یک پروتون و یک نوترون است. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۴ ـ ابتدا تعداد نوترون‌ها و الکترون‌ها را در تک‌تک گزینه‌ها تعیین می‌کنیم.

$$^{39}_{19}K^{+} \Rightarrow A = Z + N \Rightarrow 39 = 19 + N \Rightarrow N = 20$$

$$\text{تعداد الکترون} = \bar{e} = 18 \Rightarrow N - \bar{e} = 20 - 18 = 2$$

$$^{19}_{9}F^{-} \Rightarrow A = Z + N \Rightarrow 19 = 9 + N \Rightarrow N = 10, \bar{e} = 10 \Rightarrow N - \bar{e} = 0$$

$$^{31}_{15}P^{3-} \Rightarrow A = Z + N \Rightarrow 31 = 15 + N \Rightarrow N = 16, \bar{e} = 18$$

$$\Rightarrow \bar{e} - N = 2$$

$$^{32}_{16}S^{2-} \Rightarrow A = Z + N \Rightarrow 32 = 16 + N \Rightarrow N = 16, \bar{e} = 18 \Rightarrow \bar{e} - N = 2$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در $^{19}_{9}F^{-}$ تفاوت تعداد نوترون‌ها و الکترون‌ها برابر صفر است.

پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۵ ـ چون یون X^{3+} دارای ۳۶ الکترون است پس اتم خنثای X دارای ۳۹ الکترون می‌باشد و از آن‌جا که در یک اتم خنثی تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها برابر است پس عدد اتمی (تعداد پروتون‌ها) عنصر موردنظر برابر ۳۹ می‌باشد ($Z = 39$).

عدد جرمی $A = Z + N = 39 + 50 = 89$

پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۶ ـ با توجه به این‌که عدد اتمی O و S به‌ترتیب برابر ۸ و ۱۶ است می‌توان نوشت:

تعداد بار منفی + مجموع عددهای اتمی اتم‌ها = تعداد الکترون‌های SO_3^{2-}

$$= S + 3(O) + (2) = 16 + 3(8) + 2 = 42\bar{e}$$

پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۷ ـ چگالی (جرم حجمی) آب سنگین (D_2O) بیش‌تر از آب سبک (H_2O) است. پس اگر جرم یک‌سانی (مثلاً ۱۰۰ گرم) از این دو ماده را داشته باشیم، D_2O حجم کم‌تری از H_2O خواهد داشت. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۱ ایزوتوپ هیدروژن سنگین را با نماد $^{2}_{1}D$ نمایش می‌دهند. $^{3}_{1}T$ هیدروژن پرتوزا است.

۳ با رجوع به متن درس خواهید دید که در یک نمونه‌ی طبیعی آب، ۱۸ نوع مولکول آب وجود دارد.

۴ چون چگالی D_2O بیش‌تر از H_2O است، اگر یک قطعه یخ D_2O را در آب معمولی (H_2O) بیندازیم، درون آن فرو می‌رود.

۸ ـ فلوئور، فسفر و آلومینیم (نه سرب!) تنها دارای یک ایزوتوپ پایدار هستند. پس **گزینه‌ی ۴** نادرست است. سایر گزینه‌ها همگی درست هستند.

۹ ـ چون یون X^{2-} دارای ۳۶ الکترون است پس اتم خنثای آن (X) دارای ۳۴ الکترون است. از آن‌جا که در یک اتم خنثی، تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها برابر است پس تعداد پروتون‌ها یا عدد اتمی عنصر X برابر ۳۴ می‌باشد. ایزوتوپ‌ها اتم‌هایی از یک عنصر هستند که عدد اتمی یک‌سان ولی عدد جرمی متفاوت دارند (رد گزینه‌های ۲ و ۴). عدد جرمی X برابر ۷۹ ($A = Z + N = 34 + 45 = 79$) است. پس $^{80}_{34}C$ ایزوتوپ $^{79}_{34}X$ می‌باشد.

پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۱۰ ـ اتم تریتیم دارای یک الکترون و هسته‌ی آن دارای یک پروتون (1p) و دو نوترون (2N) است.
پس گزینه‌ی ۳ درست است.

۱۱ ـ کلاً شش نوع مولکول آب خواهیم داشت:

$\underbrace{H_2O}_{16\ \ 17}$ $\underbrace{HDO}_{16\ \ 17}$ $\underbrace{D_2O}_{16\ \ 17}$

پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۱۲ ـ اول ببینیم کلاً چند نوع مولکول CO_2 داریم:

$$^{16}O=^{12}C=^{16}O \quad , \quad ^{16}O=^{12}C=^{17}O \quad , \quad ^{17}O=^{12}C=^{17}O$$
$$(1) \qquad\qquad (2) \qquad\qquad (3)$$
$$^{16}O=^{13}C=^{16}O \quad , \quad ^{16}O=^{13}C=^{17}O \quad , \quad ^{17}O=^{13}C=^{17}O$$
$$(4) \qquad\qquad (5) \qquad\qquad (6)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود کلاً ۶ نوع مولکول CO_2 داریم که از میان آن‌ها جرم نمونه‌های (۲) و (۴) و نیز جرم نمونه‌های (۳) و (۵) با یک‌دیگر برابر است. بنابراین در مجموع ۴ نوع مولکول CO_2 با جرم‌های متفاوت خواهیم داشت. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۱۳ ـ با توجه به داده‌های مسأله می‌توان نوشت:

$$F_1 = ٪۵۲ \Rightarrow F_2 = ۱۰۰ - ۵۲ = ٪۴۸$$
$$M = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} = \frac{۱۰۶/۹(۵۲) + ۱۰۸/۹(۴۸)}{۵۲ + ۴۸} = ۱۰۷/۸۶$$

پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۱۴ ـ فراوانی ایزوتوپ ^{35}Cl را برابر F_1 و فراوانی ایزوتوپ ^{37}Cl را برابر F_2 در نظر می‌گیریم:

$$F_1 + F_2 = ۱۰۰ \Rightarrow F_2 = ۱۰۰ - F_1$$
$$M = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} \Rightarrow ۳۵/۵ = \frac{۳۵F_1 + ۳۷(۱۰۰ - F_1)}{۱۰۰}$$
$$\Rightarrow F_1 = ٪۷۵ \Rightarrow F_2 = ٪۲۵$$

پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۱۵ ـ با توجه به شکل داده شده می‌توان مشاهده نمود که فراوانی ایزوتوپ $^{11}_{5}B$ بیش‌تر است و همان‌طور که گفتیم ایزوتوپی که در طبیعت فراوان‌تر است، پایدارتر نیز می‌باشد. پس ایزوتوپ $^{11}_{5}B$ پایدارتر از ایزوتوپ $^{10}_{5}B$ می‌باشد. جرم اتمی میانگین بور از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (فراوانی ایزوتوپ $^{10}_{5}B$ برابر ۶ و فراوانی ایزوتوپ $^{11}_{5}B$ برابر ۲۴ می‌باشد.):

$$M = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} = \frac{۱۰(۶) + ۱۱(۲۴)}{۶ + ۲۴} = ۱۰/۸amu$$

با این توضیحات فقط **گزینه‌ی ۲** درست است.

۱۶ ـ فراوانی ایزوتوپ‌های تالیوم ـ ۲۰۳ و تالیوم ـ ۲۰۵ را به ترتیب برابر F_1 و F_2 در نظر می‌گیریم: $F_1 + F_2 = ۱۰۰ \Rightarrow F_1 = ۱۰۰ - F_2$

$$M = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} \Rightarrow ۲۰۴/۴ = \frac{۲۰۳(۱۰۰ - F_2) + ۲۰۵F_2}{۱۰۰} \Rightarrow F_2 = ٪۷۰$$

پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

حل مسأله در سه سوت! *اگر به جرم اتمی تالیوم توجه کرده باشید می‌بینید که مقدار آن برابر ۲۰۴/۴ است، یعنی به جرم اتمی ایزوتوپ تالیوم ـ ۲۰۵ نزدیک‌تر است. پس فراوانی ایزوتوپ تالیوم ـ ۲۰۵ باید بیش‌تر از ایزوتوپ دیگر باشد. پس به راحتی و بدون محاسبه می‌توان دریافت که فقط گزینه‌ی ۴ درست است.*

۱۷ ـ جرم پروتون و نوترون تقریباً 1amu است (البته جرم نوترون کمی بیش‌تر از پروتون است). در حالی‌که جرم الکترون تقریباً $\frac{۱}{۲۰۰۰}$ این مقدار است. پس **گزینه‌ی ۲** عبارتی نادرست است.

۱۸ ـ یک amu برابر $\frac{۱}{۱۲}$ جرم اتم کربن ـ ۱۲ است. در این مقیاس جرم یک اتم $^{1}_{1}H$ و یک اتم $^{16}_{8}O$ به‌ترتیب 1amu و16amu است، پس می‌توان گفت که 1amu برابر جرم یک اتم $^{1}_{1}H$ و $\frac{۱}{۱۶}$ جرم اتم $^{16}_{8}O$ می‌باشد. با این توضیحات **گزینه‌ی ۴** نادرست است.

۱۹ ـ پایداری ایزوتوپ‌ها به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های هسته بستگی دارد. برطبق یک قاعده‌ی کلی اگر در هسته‌ای نسبت تعداد نوترون‌ها به پروتون‌ها ۱/۵ یا بیش از این باشد، هسته یاد شده ناپایدار خواهد بود. با این توضیحات **گزینه‌ی ۴** نادرست است.
در توضیح گزینه‌ی ۱ می‌توان گفت، در مقیاس یکای جرم اتمی (amu)، جرم اتم کربن ـ ۱۲ برابر 12amu در نظر گرفته می‌شود. پس:

$$\text{جرم اتم X} = \frac{۳}{۴} \times ۱۲amu = ۹amu$$

۲۰ ـ یک amu برابر $\frac{۱}{۱۲}$ جرم اتم کربن ـ ۱۲ است. بنابراین جرم اتم کربن ـ ۱۲ برابر 12amu است. پس می‌توان نوشت:

$$1amu = ۱/۶۶ \times ۱۰^{-۲۴}g$$
$$\text{جرم اتم کربن ـ ۱۲} = X \times \underbrace{۱/۶۶ \times ۱۰^{-۲۳}g}_{۱۰amu} = ۱۲amu \Rightarrow X = ۱/۲$$

پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۲۱ ـ با توجه به اطلاعات داده شده می‌توان نوشت:

گرم	الکترون
$۹/۱۰۹ \times ۱۰^{-۲۸}$	۱
۱	x

$$\Rightarrow x = \frac{۱}{۹/۱۰۹ \times ۱۰^{-۲۸}} = ۱/۱ \times ۱۰^{۲۷} = ۰/۱۱ \times ۱۰^{۲۸}$$

پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۲۲ ـ جرم اتم به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته بستگی دارد و جرم الکترون‌ها حتی اگر اتم بیش از ۱۰۰ الکترون هم داشته باشد، بر جرم اتم تأثیر چشم‌گیری نخواهد داشت.

پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۲۳ ـ فراوانی ایزوتوپ سبک‌تر را F_1 و فراوانی ایزوتوپ سنگین‌تر را F_2 فرض می‌کنیم:

$$F_1 + F_2 = 100 \Rightarrow F_2 = 100 - F_1$$

$$M = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} \text{ (جرم اتمی میانگین)}$$

$$\Rightarrow 69/8 = \frac{(69 \times F_1) + 71(100 - F_1)}{100} \Rightarrow F_1 = \%60$$

پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۲۴ ـ مشخص کردن جهت‌گیری الکترون‌ها در یک اوربیتال (یعنی جهت گردش الکترون‌ها حول محور خود) توسط عدد کوانتومی مغناطیسی **اسپین** (m_s) انجام می‌شود. پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۲۵ ـ عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l) جهت‌گیری اوربیتال‌ها را در فضای اطراف هسته‌ی اتم‌ها مشخص می‌کند. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۲۶ ـ تعداد اوربیتال‌ها در یک لایه‌ی اصلی از رابطه‌ی n^2 به دست می‌آید. پس در لایه‌ی سوم ($n = 3$)، ۹ اوربیتال وجود دارد. بنابراین **گزینه‌ی ۴** درست است.

نکته در این تست گفته شده که عدد کوانتومی اصلی «عنصری» به‌صورت $n = 3$ است در حالی که می‌دانیم عدد کوانتومی مربوط به «الکترون‌ها» است نه عنصرها! به عبارت دیگر صورت درست سوال این است که گفته شود عدد کوانتومی اصلی الکترون مربوط به عنصری به‌صورت $n = 3$ است.

۲۷ ـ حداکثر تعداد الکترون‌ها در یک لایه‌ی اصلی از رابطه‌ی $2n^2$ به دست می‌آید. پس در لایه‌ی چهارم ($n = 4$) حداکثر ۳۲ الکترون وجود دارد. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۲۸ ـ $(2l + 1)$ بیانگر **تعداد اوربیتال‌های ممکن در هر زیرلایه** است. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۲۹ ـ شکل اوربیتال‌ها توسط عدد **کوانتومی اوربیتالی (l)** مشخص می‌شود. پس **گزینه‌ی ۲** درست است. عددهای کوانتومی n و m_l به ترتیب اندازه (انرژی یا فاصله از هسته) و جهت‌گیری اوربیتال‌های اتمی را تعیین می‌نمایند.

۳۰ ـ جهت‌گیری اوربیتال در فضا، توسط عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l) تعیین می‌شود نه عدد کوانتومی l. پس **گزینه‌ی ۳** عبارتی نادرست است. سایر گزینه‌ها همگی درست هستند.

۳۱ ـ مقادیر ممکن برای m_l همه‌ی عددهای صحیح بین l− تا l+ است. پس اگر $l = 3$ باشد، مقادیر m_l برابر خواهد بود با:

$$l = 3 \Rightarrow m_l = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$$

پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۳۲ ـ عدد کوانتومی اوربیتالی (l) نوع زیرلایه و در نتیجه **نوع اوربیتال** را مشخص می‌کند. برای مثال هنگامی که می‌گوییم $l = 1$ است بدین معنی است که اوربیتال مربوط از نوع P است. پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۳۳ ـ اگر $n = 4$ باشد، l می‌تواند صفر، ۱، ۲ یا ۳ باشد. در صورتی که $l = 1$ باشد، m_l نیز می‌تواند ۱− ، ۰ و ۱+ باشد. پس اعداد کوانتومی مربوط به **گزینه‌ی ۴** برای یک الکترون امکان‌پذیر است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۱ اگر $n = 2$ باشد، l فقط می‌تواند برابر ۰ و ۱ باشد و نمی‌تواند برابر ۲ باشد.

۲ اگر $l = 0$ باشد، m_l نیز صفر خواهد بود.

۳ اگر $l = 1$ باشد، m_l می‌تواند بین ۱− تا ۱+ باشد. پس m_l نمی‌تواند برابر ۲− باشد.

۳۴ ـ $l = 3$ نشان‌دهنده‌ی زیرلایه‌ی f است و در زیرلایه‌ی f تعداد اوربیتال‌ها برابر ۷ می‌باشد. پس حداکثر ۷ اوربیتال خواهیم داشت. بنابراین **گزینه‌ی ۳** درست است.

۳۵ ـ اگر $n = 3$ باشد، l می‌تواند صفر، ۱ یا ۲ باشد، و نمی‌تواند برابر ۳ باشد. پس ردیف ۲ که در آن به ازای $n = 3$، مقدار l برابر ۳ درج شده است نادرست است. بنابراین **گزینه‌ی ۲** نادرست است.

۳۶ ـ گزینه‌ی ۲ درست است و برای این منظور رجوع کنید به پاراگراف اول صفحه‌ی ۲۴ کتاب درسی یا به نکته‌ی ذکر شده در پایین جدول ۴ این بخش.

۳۷ ـ اگر $n = 3$ باشد، l می‌تواند ۰، ۱ یا ۲ باشد. اما چون m_l برابر ۲ است پس باید l برابر ۲ باشد. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۳ و ۴ همان‌طور که گفتیم چون $m_l = 2$ است، پس l آن باید برابر ۲ باشد.

۴ m_s می‌تواند $+\frac{1}{2}$ یا $-\frac{1}{2}$ باشد. $n=3$ و $m_l=2$ نشان‌دهنده‌ی یک اوربیتال (یک اوربیتال از زیرلایه‌ی 3d) است و یک اوربیتال دو الکترون گنجایش دارد که یکی از آن‌ها دارای $m_s=+\frac{1}{2}$ و دیگری دارای $m_s=-\frac{1}{2}$ خواهد بود.

۳۸ ـ اگر $n=3$ باشد مقدار l می‌تواند از صفر تا $n-1$ (یعنی از صفر تا ۲) باشد. پس l می‌تواند برابر یک باشد و اگر $l=1$ باشد m_l می‌تواند از ۱- تا ۱+ باشد. پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۱ اگر $l=1$ باشد مقدار m_l می‌تواند بین ۱- تا ۱+ باشد، پس m_l نمی‌تواند برابر ۲+ باشد.

۲ اگر $l=0$ باشد مقدار m_l نیز برابر صفر خواهد بود.

۳ اگر $n=2$ باشد، l فقط می‌تواند ۰ و ۱ باشد، پس نمی‌تواند برابر ۲ باشد.

۳۹ ـ اگر $l=1$ باشد مقادیر m_l برابر ۱- ، ۰ و ۱+ خواهد بود و نمی‌تواند برابر ۲ باشد. پس **گزینه‌ی ۲** نادرست است.

۴۰ ـ عددهای کوانتومی اوربیتالی (l) زیرلایه‌های s و f به‌ترتیب برابر صفر و ۳ است. پس مجموع عددهای کوانتومی اصلی (n) و اوربیتالی (l) برای زیرلایه‌های 5s و 4f به‌ترتیب برابر ۵ و ۷ است.
پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۴۱ ـ اوربیتال‌های موجود در زیرلایه‌ی $p\,(l=1)$ دارای شکل، گسترش فضایی (یا اندازه) و تراکم ابر الکترونی یکسانی هستند، ولی جهت‌گیری آن‌ها در فضا متفاوت است.
پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۴۲ ـ اگر الکترونی دارای $m_l=-2$ باشد بدین معنی است که الکترون موردنظر در یکی از اوربیتال‌های زیرلایه‌ی d و f جای دارد زیرا اوربیتال‌های زیرلایه‌های $d\,(l=2)$ و $f\,(l=3)$ به‌ترتیب مقادیر ۲- تا ۲+ و ۳- تا ۳+ را اختیار می‌کنند. از طرفی می‌دانیم که در لایه‌ی الکترونی دوم $(n=2)$ زیرلایه‌های d و f وجود ندارند (در لایه الکترونی دوم فقط زیرلایه‌های 2s و 2p وجود دارند) پس **گزینه‌ی ۴** نادرست است.

۴۳ ـ در زیر لایه‌ی d مقادیر m_l عبارتند از: ۲- ، ۱- ، ۰ ، ۱+ و ۲+. در ردیف ۳ از ستون ۲ مقدار $m_l=0$ برای زیرلایه‌ی d درج نشده است.
پس **گزینه‌ی ۳** درست است

۴۴ ـ بدون شرح! پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۴۵ ـ عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین (m_s) مشخص کننده جهت گردش الکترون حول محور خود است. به عبارت دیگر m_s مشخص کننده ویژگی الکترون است نه اوربیتال. پس **گزینه‌ی ۳** است.

۴۶ ـ $(n=2,l=0)$ و $(n=3,l=0)$ به‌ترتیب بیانگر اوربیتال‌های 2s و 3s هستند. این دو اوربیتال در شکل، جهت‌گیری در فضا و گنجایش الکترون یکسان هستند و فقط اندازه‌ی ابر الکترونی آن‌ها با هم تفاوت دارد. اندازه‌ی ابر الکترونی 3s بزرگ‌تر از اوربیتال 2s است.
پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۴۷ ـ ابتدا آرایش الکترونی $_{22}Ti$ را رسم می‌کنیم:

$$_{22}Ti: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^2/4s^2$$

زیرلایه‌های s و p به ترتیب شامل ۱ و ۳ اوربیتال هستند. در ضمن تنها دو اوربیتال از زیرلایه‌ی 3d توسط الکترون‌ها اشغال شده‌اند؛ پس در مجموع ۱۲ اوربیتال توسط الکترون‌ها اشغال شده‌اند. بیرونی‌ترین زیرلایه‌ی اتم $_{22}Ti$، زیرلایه‌ی 4s است که عددهای کوانتومی اصلی و اوربیتالی آن به ترتیب برابر $n=4$ و $l=0$ است. با این توضیحات فقط **گزینه‌ی ۱** درست است.

۴۸ ـ آرایش الکترونی نموداری اتم کربن $(_6C)$ به‌صورت زیر است:



همان‌طور که مشاهده می‌شود زیرلایه‌های 1s، 2s و 2p توسط الکترون‌ها اشغال شده‌اند که عدد کوانتومی اوربیتالی (l) این زیرلایه‌ها به ترتیب برابر ۰، ۰ و ۱ می‌باشد. با این توضیحات، **گزینه‌ی ۴** درست است.

۴۹ ـ باید آرایش الکترونی تک تک گزینه‌ها را رسم کنیم:

$_{25}Mn: [_{18}Ar]3d^5/4s^2$ $_{26}Fe: [_{18}Ar]3d^6/4s^2$



$_{23}V: [_{18}Ar]3d^3/4s^2$ $_{30}Zn: [_{18}Ar]3d^{10}/4s^2$



همان‌طور که ملاحظه می‌نمایید در $_{25}Mn$ همه‌ی اوربیتال‌های 3d تک الکترونی هستند. پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۵۰ ـ ظاهراً چاره‌ای نداریم جز این‌که آرایش الکترونی تک تک گزینه‌ها را رسم کنیم:

$_{23}V: [_{18}Ar]3d^3/4s^2$ $_{29}Cu: [_{18}Ar]3d^{10}/4s^1$



$_{19}K:[_{18}Ar]4s^1$ $_{24}Cr:[_{18}Ar]3d^5/4s^1$

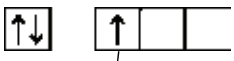


همان‌طور که مشاهده می‌شود در $_{29}Cu$، همه‌ی اوربیتال‌های d، جفت شده هستند. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۵۱ ـ در عنصرهای $_{31}Ga$، $_{21}Sc$ و $_{23}V$، زیرلایه‌ی 3p به‌طور کامل توسط الکترون پر شده است، اما در $_{13}Al$ تنها یک الکترون در زیرلایه‌ی (تراز فرعی) 3p جای دارد: $_{13}Al:[_{10}Ne]3s^2\,3p^1$

پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۵۲ ـ عددهای کوانتومی مربوط به الکترون موجود در آخرین زیرلایه‌ی بور ($_5B$) به‌صورت زیر است: $_5B:1s^2/2s^2\,2p^1$



$\rightarrow n=2, l=1, m_l=-1, m_s=+\frac{1}{2}$

بنابراین **گزینه‌ی ۲** درست است.

۵۳ ـ آرایش الکترونی اتم $_{35}X$ به این صورت است:

$_{35}X:1s^2/2s^2\,2p^6/3s^2\,3p^6\,3d^{10}/4s^2\,4p^5$

زیرلایه‌های s، p و d به ترتیب شامل ۱، ۳ و ۵ اوربیتال هستند. پس در مجموع ۱۸ اوربیتال توسط الکترون‌ها اشغال شده‌اند. بیرونی‌ترین زیرلایه‌ی این اتم، 4p است که دارای ۵ الکترون است. با این توضیحات، **گزینه‌ی ۲** درست است.

۵۴ ـ آرایش الکترونی عنصر موردنظر به‌صورت زیر است:

$X:[_{36}Kr]4d^{10}/5s^2\,5p^3$

همان‌طور که مشاهده می‌شود این عنصر در زیرلایه‌ی 4d دارای ۱۰ الکترون است. از طرفی قبل از زیرلایه‌ی 4d، زیرلایه‌های 4s و 4p نیز وجود دارند که پر شده‌اند. پس در مجموع در لایه‌ی چهارم این اتم، ۱۸ الکترون وجود دارد. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۵۵ ـ ابتدا باید آرایش الکترونی $_{29}Cu$ را رسم نماییم:

$_{29}Cu:1s^2/2s^2\,2p^6/3s^2\,3p^6\,3d^{10}/4s^1$

منظور از $l=1$ زیرلایه‌ی p است و در $_{29}Cu$، زیرلایه‌های 2p و 3p هر دو پر هستند. یعنی در مجموع ۱۲ الکترون در این دو زیرلایه وجود دارند که نیمی از آن‌ها (یعنی ۶ الکترون) دارای $m_s=+\frac{1}{2}$ و نیمی دیگر دارای $m_s=-\frac{1}{2}$ هستند. با این توضیحات **گزینه‌ی ۱** درست است.

۵۶ ـ در لایه‌ی سوم ($n=3$) زیرلایه‌های 3s، 3p و 3d وجود دارند ولی زیرلایه‌ی 3f وجود خارجی ندارد! پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۵۷ ـ آرایش الکترونی تک تک گزینه‌ها را رسم می‌کنیم:

$_{24}Cr:1s^2/2s^2\,2p^6/3s^2\,3p^6\,3d^5/4s^1$

$_{13}Al:1s^2/2s^2\,2p^6/3s^2\,3p^1$

$_{29}Cu:1s^2/2s^2\,2p^6/3s^2\,3p^6\,3d^{10}/4s^1$

$_{33}As:1s^2/2s^2\,2p^6/3s^2\,3p^6\,3d^{10}/4s^2\,4p^3$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در $_{33}As$، هشت زیرلایه توسط الکترون اشغال شده است. پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۵۸ ـ اصل آفبا در واقع ترتیب پر شدن زیرلایه‌ها را در یک اتم مشخص می‌کند. پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۵۹ ـ طبق اصل (یا قاعده‌ی) هوند، پایدارترین آرایش الکترونی اتم‌ها آرایشی است که **حداکثر** تعداد الکترون‌های جفت نشده را با اسپین یک‌سان داشته باشد. با این توضیح عبارت **گزینه‌ی ۲** نادرست است.

۶۰ ـ با توجه به رابطه‌ی **ns (n − ۲)f (n − ۱)d np** قبل از زیرلایه‌ی 4f، زیرلایه‌ی 6s به‌طور کامل پر می‌شود. در ضمن پس از زیرلایه‌ی 4f، به ترتیب زیرلایه‌های 5d و 6p پر می‌شوند. با این توضیحات، جواب درست **گزینه‌ی ۱** است.

۶۱ ـ ابتدا آرایش الکترونی $_{24}Cr$ را رسم می‌کنیم:

$_{24}Cr:1s^2/2s^2\,2p^6/3s^2\,3p^6\,3d^5/4s^1$

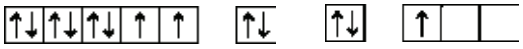
اعداد کوانتومی $n=3$ و $l=2$ نشان‌دهنده‌ی زیرلایه‌ی 3d هستند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در اتم $_{24}Cr$، ۵ الکترون در این زیرلایه جای دارند. پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۶۲ ـ ظاهراً ناچاریم که آرایش الکترونی تک تک گزینه‌ها را رسم کنیم!

$_{27}Co:[_{18}Ar]\,3d^7/4s^2$ $_{29}Cu:[_{18}Ar]\,3d^{10}/4s^1$



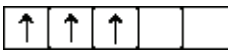
$_{28}Ni:[_{18}Ar]\,3d^8/4s^2$ $_{31}Ga:[_{18}Ar]\,3d^{10}/4s^2\,4p^1$



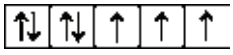
همان‌طور که مشاهده می‌شود $_{27}Co$ بیش‌ترین تعداد الکترون منفرد را دارا می‌باشد. پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۶۳ ـ اگر مجموع عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین (m_s) الکترون‌های عنصری برابر $\frac{3}{2}$ باشد می‌توان نتیجه گرفت که، عنصر موردنظر در آرایش الکترونی خود دارای ۳ الکترون جفت نشده می‌باشد. در تناوب چهارم، این عنصرها عبارتند از: $_{23}V$، $_{27}Co$ و $_{33}As$:

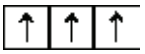
$_{23}V:[_{18}Ar]3d^3/4s^2$



$_{27}Co:[_{18}Ar]3d^7/4s^2$



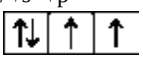
$_{33}As:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^2 4p^3$



پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۶۴ ـ در لایه‌ی الکترونی سوم، سه زیر لایه‌ی 3s ، 3p و 3d وجود دارد، پس وقتی می‌گوییم که در لایه‌ی الکترونی سوم، ۱۰ الکترون وجود دارد، آرایش الکترونی مناسب آن به‌صورت: $3s^2 3p^6 3d^2$ خواهد بود.
پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۶۵ ـ آرایش الکترونی تک‌تک گزینه‌ها را رسم می‌کنیم:

$_{47}Ag:[_{36}kr]4d^{10}/5s^1$ 	$_{34}Se:[_{18}Ar]4d^{10}/4s^2 4p^4$ 
$_{38}Sr:[_{36}kr]5s^2$ 	$_{27}CO:[_{18}Ar]4d^7/4s^2$

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید $_{47}Ag$ در آخرین زیرلایه‌ی خود فاقد اوربیتال پر شده می‌باشد. پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۶۶ ـ با توجه به آرایش الکترونی $_{21}Sc$ $([_{18}Ar]3d^1/4s^2)$ سست‌ترین الکترون آن (یعنی الکترونی که در بیرونی‌ترین زیرلایه وجود دارد و جدا کردن آن از بقیه‌ی الکترون‌ها آسان‌تر است) در زیرلایه‌ی 4s وجود دارد. اعداد کوانتومی این الکترون به‌صورت زیر می‌باشد.

$$n=4, l=0, m_l=0, m_s=+\frac{1}{2}$$

پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۶۷ ـ عدد کوانتومی اصلی $n=4$ و عدد کوانتومی اوربیتالی $l=0$ بیان‌گر زیرلایه‌ی 4s هستند، یعنی آخرین الکترون اتم عنصر موردنظر در زیرلایه‌ی 4s جای دارد. با توجه به این‌که در زیرلایه‌ی 4s فقط یک الکترون وجود دارد برای اتم موردنظر آرایش‌های الکترونی زیر را می‌توان در نظر گرفت:

۱) $_{19}X:[_{18}Ar]4s^1$

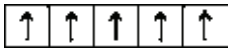
۲) $_{24}X:[_{18}Ar]3d^5/4s^1$

۳) $_{29}X:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^1$

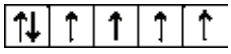
با توجه به گزینه‌ها می‌توان دریافت که **گزینه‌ی ۲** درست است.

۶۸ ـ با توجه به اطلاعات داده شده، آرایش الکترونی اتم عنصر موردنظر به‌صورت زیر است: $X:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^2 4p^2$
با شمارش تعداد الکترون‌ها می‌توان دریافت که عدد اتمی عنصر موردنظر برابر ۳۲ است. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۶۹ ـ در کروم $(_{24}Cr)$ و آهن $(_{26}Fe)$ تعداد الکترون‌های فرد زیرلایه‌ی 3d با هم برابر نیست: $_{24}Cr:[_{18}Ar]3d^5/4s^1$



$_{26}Fe:[_{18}Ar]3d^6/4s^2$



همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کروم $(_{24}Cr)$ دارای ۵ اوربیتال تک الکترونی 3d است، ولی آهن $(_{26}Fe)$ دارای ۴ اوربیتال تک الکترونی 3d می‌باشد.
پس **گزینه‌ی ۲** درست است

۷۰ ـ ابتدا آرایش الکترونی عنصرهای موردنظر را رسم می‌کنیم:

$_{24}Cr:[_{18}Ar]3d^5/4s^1$

$_{47}Ag:[_{36}Kr]4d^{10}/5s^1$

$_{25}Mn:[_{18}Ar]3d^5/4s^2$

$_{29}Cu:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^1$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود $_{24}Cr$، $_{47}Ag$ و $_{29}Cu$ در بیرونی‌ترین لایه‌ی الکترونی خود دارای یک الکترون هستند ولی $_{25}Mn$ دارای ۲ الکترون می‌باشد. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۷۱ ـ در تناوب چهارم، اولین عنصری که در زیرلایه‌ی 3d خود دارای ۱۰ الکترون می‌باشد عنصر مس $(_{29}Cu)$ و آخرین عنصر، کریپتون $(_{36}Kr)$ می‌باشد: $_{29}Cu:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^1$

$_{36}Kr:[_{18}Ar[3d^{10}/4s^2 4p^6$

پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۷۲ ـ $l=2$ بیان‌گر زیرلایه‌ی d می‌باشد. در تناوب چهارم، ۸ عنصر در آرایش الکترونی اتم خود ۱۰ الکترون در زیرلایه‌ی 3d دارند، این عنصرها عبارتند از: $_{29}Cu$، $_{30}Zn$ و ۶ عنصر دسته‌ی p (یعنی $_{31}Ga$، $_{32}Ge$، $_{33}As$، $_{34}Se$، $_{35}Br$ و $_{36}Kr$)
پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۷۳ ـ ابتدا آرایش الکترونی $_{29}Cu$ را می‌نویسیم:

$_{29}Cu:1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^{10}/4s^1$

اگر به آرایش الکترونی $_{29}Cu$ دقت کنیم می‌بینیم که ۱۵ اوربیتال در آن از الکترون اشغال شده است. زیر لایه‌ی 4s بیرونی‌ترین زیرلایه‌ی $_{29}Cu$ می‌باشد که عددهای کوانتومی آن به‌صورت $n=4$ و $l=0$ می‌باشد.
پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۷۴ ـ ابتدا آرایش الکترونی $_{۲۴}Cr$ را می‌نویسیم:

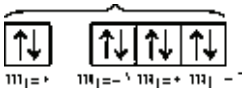
$$_{۲۴}Cr: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / ۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^۵ / ۴s^۱$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در $_{۲۴}Cr$، ۵ زیرلایه (از ۱s تا ۳p) که شامل ۹ اوربیتال است از الکترون پر شده است. تمامی اوربیتال‌های s و نیز یکی از اوربیتال‌های p و d دارای $m_l = ۰$ می‌باشند، پس در $_{۲۴}Cr$ جمعاً ۱۲ الکترون دارای $m_l = ۰$ هستند که ۷ تای آن مربوط به اوربیتال‌های s، ۴ تای آن مربوط به اوربیتال‌های p و یکی نیز مربوط به اوربیتال d می‌باشد. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۷۵ ـ عبارت موردنظر در واقع بیان اصل بناگذاری (یا آفبا) است.
پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۷۶ ـ ابتدا آرایش الکترونی اتم گوگرد (S) را رسم می‌کنیم:

$$_{۱۶}S: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / \overbrace{۳s^۲ ۳p^۴}^{n=۳}$$



برای اوربیتال s و یکی از اوربیتال‌های p، مقدار $m_l = ۰$ می‌باشد. با توجه به آرایش الکترونی گوگرد می‌توان دریافت که ۴ الکترون دارای اعداد کوانتومی $n = ۲$ و $m_l = ۰$ می‌باشند. پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

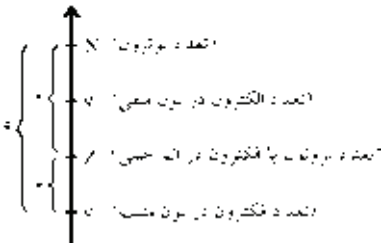
۷۷ ـ آرایش الکترونی $_{۲۵}Mn$ را می‌نویسیم:

$$_{۲۵}Mn: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / ۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^۵ / ۴s^۲$$

زیرلایه‌های s همگی دارای $m_l = ۰$ هستند، هم‌چنین یکی از اوربیتال‌های زیرلایه‌های p و d نیز دارای $m_l = ۰$ می‌باشند. بنابراین در $_{۲۵}Mn$ در مجموع ۱۳ الکترون دارای $m_l = ۰$ هستند، که ۸ تای آن مربوط به زیرلایه‌های s، ۴ تای آن مربوط به زیرلایه‌های p و یکی نیز مربوط به زیرلایه‌ی ۳d می‌باشد. پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۷۸ ـ طبق نمودار روبه‌رو، اتم X، ۲ الکترون بیش‌تر از یون $X^{۲+}$ دارد پس می‌توان نتیجه گرفت که در اتم X ، تفاوت تعداد پروتون‌ها (که در واقع همان تعداد الکترون‌ها است) با تعداد نوترون‌ها برابر ۴ است ($N - Z = ۴ \Rightarrow N = Z + ۴$). با توجه به این‌که عدد جرمی اتم X برابر ۵۲ است می‌توان نوشت:

$$A = Z + N \Rightarrow ۵۲ = Z + (Z + ۴) \Rightarrow ۲Z = ۴۸ \Rightarrow Z = ۲۴$$



پس عدد اتمی X برابر ۲۴ است. اعداد کوانتومی $n = ۳$ و $l = ۲$ بیان‌گر زیرلایه‌ی ۳d هستند. برای این‌که تعیین کنیم در یون $X^{۲+}$ چه تعداد الکترون در زیرلایه‌ی ۳d وجود دارد ابتدا باید آرایش الکترونی یون $X^{۲+}$ را رسم کنیم:

$$_{۲۴}X: [_{۱۸}Ar] ۳d^۵ / ۴s^۱ \Rightarrow {}_{۲۴}X^{۲+}: [_{۱۸}Ar] ۳d^۴$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در یون $X^{۲+}$، ۴ الکترون در زیرلایه‌ی ۳d جای دارند. پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۷۹ ـ یون‌های $_{۲۹}Cu^+$، $_{۳۰}Zn^{۲+}$ و $_{۳۱}Ga^{۳+}$ هم الکترون هستند (همگی دارای ۲۸ الکترون هستند) و همگی آرایش الکترونی یک‌سان دارند در حالی که $_{۲۸}Ni^{۲+}$ دارای ۲۶ الکترون بوده و آرایش الکترونی آن با بقیه متفاوت است. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۸۰ ـ بدون شرح! پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

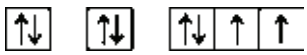
۸۱ ـ عبارت **گزینه‌ی ۴** هنگامی درست است که همه‌ی الکترون‌ها به‌صورت جفت شده باشند. مانند اتم‌های گازهای نجیب. اما در بسیاری از موارد تعداد الکترون‌هایی که دارای $m_s = +\frac{۱}{۲}$ هستند با تعداد الکترون‌هایی که $m_s = -\frac{۱}{۲}$ دارند یک‌سان نیست، مانند $_۷N$ و $_۸O$.

$$_۷N: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۳$$



۵ الکترون دارای $m_s = +\frac{۱}{۲}$ و ۲ الکترون دارای $m_s = -\frac{۱}{۲}$

$$_۸O: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۴$$



۵ الکترون دارای $m_s = +\frac{۱}{۲}$ و ۳ الکترون دارای $m_s = -\frac{۱}{۲}$

پس: **گزینه‌ی ۴** درست است.

۸۲ ـ قاعده‌ی هوند در مورد زیرلایه‌هایی صدق می‌کند که بیش از یک اوربیتال هم انرژی دارند؛ یعنی زیرلایه‌های p، d و f. زیرلایه‌ی s فقط دارای یک اوربیتال است. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۸۳ ـ ابتدا آرایش الکترونی تک‌تک گزینه‌ها را رسم می‌کنیم:

تعداد الکترون‌های لایه ظرفیت = ۷ — $_{۵۳}I: [_{۳۶}Kr] ۴d^{۱۰} / \underbrace{۵s^۲ ۵p^۵}_{\text{لایه‌ی ظرفیت}}$

تعداد الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت = ۸ — $_{۲۶}Fe: [_{۱۸}Ar] \underbrace{۳d^۶ / ۴s^۲}_{\text{لایه‌ی ظرفیت}}$

تعداد الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت = ۴ — $_{۳۲}Ge: [_{۱۸}Ar] ۳d^{۱۰} / \underbrace{۴s^۲ ۴p^۲}_{\text{لایه‌ی ظرفیت}}$

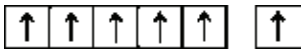
تعداد الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت = ۱۱ — $_{۲۹}Cu: [_{۱۸}Ar] \underbrace{۳d^{۱۰} / ۴s^۱}_{\text{لایه‌ی ظرفیت}}$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود فقط در مورد $_{۳۲}Ge$، تعداد الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت درست ذکر شده است. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۸۴ ـ ابتدا آرایش الکترونی $_{۲۴}Cr$ را می‌نویسیم:

$$_{۲۴}Cr: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / ۳s^۲ ۳p^۶ \underbrace{۳d^۵ / ۴s^۱}_{\text{لایه‌ی ظرفیت}}$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در آرایش الکترونی کروم، ۴ سطح انرژی و ۷ زیرلایه توسط الکترون اشغال شده است و لایه‌ی ظرفیت آن ($۳d^۵ ۴s^۱$) دارای ۶ اوربیتال تک الکترونی است.



پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۸۵ ـ مس ($_{۲۹}Cu$) از دسته عنصرهای واسطه می‌باشد، که زیرلایه‌ی ۳d آن در حال پر شدن است و آرایش الکترونی آن به‌صورت:

$_{۲۹}Cu: [_{۱۸}Ar] \underbrace{۳d^{۱۰} ۴s^۱}_{\text{لایه‌ی ظرفیت}}$ می‌باشد. پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۸۶ ـ با توجه به این‌که یون $M^{۲+}$ دارای ۴۸ الکترون است می‌توان دریافت که اتم خنثای آن دارای ۵۰ الکترون است. پس می‌توان نوشت:

$$_{۵۰}M: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / ۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^{۱۰} / ۴s^۲ ۴p^۶ ۴d^{۱۰} / ۵s^۲ ۵p^۲$$

عدد کوانتومی $l=۰$ نشان‌دهنده زیرلایه‌ی s است. با توجه به آرایش الکترونی $_{۵۰}M$ می‌توان دریافت که ۱۰ الکترون در زیرلایه‌های s قرار دارند. پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

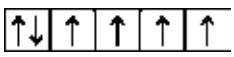
۱ عدد اتمی عنصر موردنظر برابر ۵۰ می‌باشد.

۲ با توجه به آرایش الکترونی اتم موردنظر می‌توان مشاهده نمود که در لایه‌ی آخر آن ۴ الکترون وجود دارد.

۳ زیرلایه‌های s، p و d به ترتیب دارای ۱، ۳ و ۵ اوربیتال هستند و اگر به آرایش الکترونی اتم M نگاهی بیندازیم خواهیم دید که ۲۴ اوربیتال آن پر هستند و زیرلایه‌ی ۵p هنوز پر نشده است.

۸۷ ـ ابتدا آرایش الکترونی اتم Co را در حالت خنثی رسم می‌کنیم و سپس آرایش الکترونی یون $Co^{۳+}$ را رسم می‌کنیم:

$$_{۲۷}Co: [_{۱۸}Ar]\, ۳d^۷ / ۴s^۲ \Rightarrow Co^{۳+}: [_{۱۸}Ar]\, ۳d^۶$$



همان‌طور که مشاهده می‌شود یون $Co^{۳+}$ دارای ۴ الکترون جفت نشده است.

پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۸۸ ـ آرایش الکترونی تک تک گزینه‌ها را رسم می‌کنیم:

۱
$$_{۲۹}Cu: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / ۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^{۱۰} / ۴s^۱$$
$$\rightarrow {}_{۲۹}Cu^+: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / \underbrace{۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^{۱۰}}_{\text{لایه‌ی آخر}}$$
تعداد الکترون‌ها = ۲۸

۲
$$_{۳۳}As: [_{۱۸}Ar] ۳d^{۱۰} / ۴s^۲ ۴p^۳$$
$$\rightarrow {}_{۳۳}As^{۳-}: [_{۱۸}Ar] ۳d^{۱۰} / \underbrace{۴s^۲ ۴p^۵}_{\text{لایه‌ی آخر}}$$
تعداد الکترون‌ها = ۳۵

۳
$$_{۴۲}Mo: [_{۳۶}Kr] ۴d^۵ / ۵s^۱$$
$$\rightarrow {}_{۴۲}Mo^{۲+}: [_{۳۶}Kr] ۴d^۴ \equiv [_{۱۸}Ar] ۳d^{۱۰} / \underbrace{۴s^۲ ۴p^۶ ۴d^۴}_{\text{لایه‌ی آخر}}$$
تعداد الکترون‌ها = ۴۰

۴
$$_{۳۱}Ga: [_{۱۸}Ar] ۳d^{۱۰} \;/\; \underbrace{۴s^۲ ۴p^۱}_{\text{لایه‌ی آخر}}$$
تعداد الکترون‌ها = ۳۱

با توجه به آرایش‌های الکترونی فوق و هم‌چنین جدول ارائه شده می‌توان دریافت که فقط اطلاعات موجود در ردیفِ (۱) یعنی **گزینه‌ی ۱** درست است.

۸۹ ـ با توجه به این‌که یون $A^{۳+}$ دارای ۲۱ الکترون است می‌توان دریافت که اتم A دارای ۲۴ الکترون است که آرایش الکترونی آن به‌صورت زیر است:

$$_{۲۴}A: ۱s^۲ / ۲s^۲ ۲p^۶ / ۳s^۲ ۳p^۶ ۳d^۵ / ۴s^۱$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در آرایش الکترونی اتم A، ۷ الکترون در اوربیتال‌های s قرار دارند. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۹۰ ـ قبل از این‌که الکترون‌ها در زیرلایه‌ی ۲p جای بگیرند حتماً باید زیرلایه‌ی ۲s پر شده باشد. بنابراین آرایش الکترونی نوشته شده در **گزینه‌ی ۲** نادرست است.

۹۱ ـ تعداد پروتون‌های ذره‌ی موردنظر برابر ۱۱ است پس عنصر مربوط به آن سدیم ($_{۱۱}Na$) است که البته چون دارای ۱۰ الکترون است نتیجه می‌گیریم که یک الکترون خود را از دست داده است. پس ذره‌ی موردنظر، یون $_{۱۱}Na^+$ می‌باشد. بنابراین **گزینه‌ی ۳** درست است.

۹۲ ـ ابتدا آرایش الکترونی نقره ($_{۴۷}Ag$) و یون نقره ($_{۴۷}Ag^+$) را رسم می‌کنیم:

$$_{۴۷}Ag: [_{۳۶}Kr] ۴d^{۱۰} / \underbrace{۵s^۱} \longrightarrow {}_{۴۷}Ag^+: [_{۳۶}Kr] ۴d^{۱۰}$$

الکترونی جدا می‌شود که عددهای کوانتومی آن برابر است با:

$$n=۵\,,\; l=۰\,,\; m_l=۰$$

پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۹۳ ـ از آن‌جا که تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها در اتم A برابر است، تفاوت شمار الکترون‌ها و نوترون‌ها برابر با تفاوت شمار پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز می‌باشد (یعنی برابر ۳ است). از سوی دیگر حتماً می‌دانید که همواره تعداد نوترون‌ها یا بیش‌تر از تعداد پروتون‌ها است یا با آن‌ها برابر است؛ یعنی $N-Z=۳ \Rightarrow N=Z+۳$. پس:

$$A=Z+N \Rightarrow ۴۷=Z+(Z+۳) \Rightarrow ۲Z=۴۴ \Rightarrow Z=۲۲$$

پس عدد اتمی عنصر موردنظر برابر ۲۲ است. اکنون آرایش الکترونی یون A^{2+} را رسم می‌کنیم:

$$_{22}A: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^2/4s^2$$

$$\Rightarrow {}_{22}A^{2+}: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^2$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در بیرونی‌ترین زیرلایه‌ی یون A^{2+} (یعنی 3d) دو الکترون وجود دارد. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

۹۴ ـ اگر در یک آرایش الکترونی زیرلایه‌ی 3d داشته باشیم، اما زیرلایه‌ی 4s نداشته باشیم، آن آرایش حتماً متعلق به یک یون مثبت (کاتیون) است. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۹۵ ـ هر دو یون A^{2-} و B^{3+} هم الکترون هستند (هر دو ۳۶ الکترون دارند). اختلاف تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها در دو یون ${}_{34}A^{2-}$ و ${}_{39}B^{3+}$ به‌ترتیب برابر ۲ و ۳ است.

۱) هر دو یون دارای ۳۶ الکترون هستند.

۲) هر دو یون، آرایش گاز نجیب کریپتون ($_{36}Kr$) را دارند.

۳) تعداد نوترون‌ها در ${}^{79}_{34}A^{2-}$ و ${}^{89}_{39}B^{3+}$ به‌ترتیب برابر ۴۵ و ۵۰ می‌باشد. اختلاف نوترون‌ها و پروتون‌ها در هر دو یون برابر ۱۱ است.

پس **گزینه‌ی ۴** درست است.

۹۶ ـ یون $_{12}Mg^{2+}$ دارای آرایش الکترونی گاز نجیب نئون ($_{10}Ne$) و یون‌های $_{17}Cl^-$ و $_{21}Sc^{3+}$ دارای آرایش الکترونی گاز نجیب آرگون ($_{18}Ar$) می‌باشند. پس **گزینه‌ی ۱** درست است.

۹۷ ـ آرایش الکترونی اتم خنثای X به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$X^{3+}: [_{18}Ar]3d^7 \rightarrow X: [_{18}Ar]3d^8/4s^2$$

پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۹۸ ـ یون $_{34}Se^{2-}$ دارای ۳۶ الکترون است و یون‌های $_{35}Br^-$، $_{37}Rb^+$ نیز همین تعداد الکترون دارند. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۹۹ ـ چون یون A^{3+} دارای ۲۱ الکترون است پس اتم خنثای A دارای ۲۴ الکترون می‌باشد. ابتدا آرایش الکترونی اتم خنثا را رسم می‌کنیم:

$$_{24}A: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^5/4s^1$$

$l = 0$ بیان‌گر زیرلایه‌ی s است. با توجه به آرایش الکترونی اتم موردنظر می‌توان مشاهده نمود که در اتم این عنصر، ۷ الکترون دارای $l = 0$ هستند. پس **گزینه‌ی ۳** درست است.

۱۰۰ ـ $_{39}A$ و $_{33}B$ به‌ترتیب متعلق به گروه‌های ۳ و ۱۵ جدول تناوبی هستند. پس یون‌های پایدار آن‌ها به‌ترتیب به‌صورت A^{3+} و B^{3-} می‌باشد. پس **گزینه‌ی ۲** درست است.

آدم‌های بزرگ درباره‌ی ایده‌ها سخن می‌گویند
آدم‌های متوسط درباره‌ی چیزها سخن می‌گویند
آدم‌های کوچک پشت سر دیگران سخن می‌گویند

پلکان آموزش ۲
پاسخ تست‌های پلکان آموزش ۵۳
پلکان آزمون ۶۲
آزمون یکم ۶۲
آزمون دوم ۶۳
پاسخ‌های پلکان آزمون ۶۶

پلکان آزمون

آزمون یکم

۲۱ دقیقه

۱ ـ یک یون تک اتمی با بار +۲ که ۱۸ الکترون دارد ... *(المپیاد شیمی ملی امریکا ـ ۲۰۰۴)*

۱) ۱۶ پروتون دارد.
۲) دارای نماد شیمیایی Ar^{2+} می‌باشد.
۳) ۱۸ نوترون دارد.
۴) با آرگون هم الکترون است.

۲ ـ واحد جرم اتمی در شیمی امروزی چیست؟ *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۸ ـ نوبت صبح)*

۱) جرم اتمی هیدروژن می‌باشد.
۲) یک شانزدهم جرم اتمی اکسیژن ۱۶ است.
۳) جرم به اندازه یک نوترون می‌باشد.
۴) یک دوازدهم جرم اتمی کربن ۱۲ است.

۳ ـ کربن دارای دو ایزوتوپ پایدار است. این دو ایزوتوپ در کدام مورد با هم تفاوت دارند؟ *(المپیاد بین‌المللی شیمی آمریکا ـ ۱۹۸۸)*

۱) جرم اتمی
۲) تعداد پروتون‌ها
۳) عدد اتمی
۴) آرایش الکترونی

۴ ـ فلز نقره دارای دو ایزوتوپ به جرم‌های اتمی ۱۰۶/۹ و ۱۰۸/۹ است که به ترتیب درصد فراوانی آن‌ها ۵۱/۸۴ و ۴۸/۱۶ می‌باشد جرم اتمی متوسط نقره کدام است؟ *(آزاد ـ پزشکی ـ ۸۷)*

۱) ۲۱۴ ۲) ۱۱۰ ۳) ۱۰۵/۴ ۴) ۱۰۷/۸۵

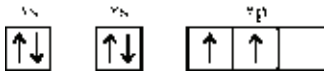
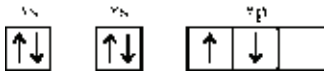
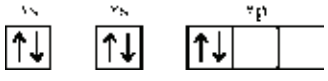
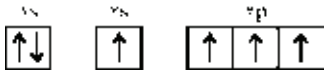
۵ ـ سومین لایه الکترونی شامل چند زیرلایه بوده، گنجایش چند الکترون را دارد و دارای چند اوربیتال است؟

۱) ۲ ـ ۱۸ ـ ۹ ۲) ۲ ـ ۸ ـ ۴ ۳) ۳ ـ ۱۸ ـ ۹ ۴) ۳ ـ ۱۴ ـ ۷

۶ ـ کدام مورد از روی شکل اوربیتال قابل پیش‌گویی است؟ *(سراسری ـ تجربی ـ ۷۳)*

۱) احتمال حضور الکترون در بخشی از فضای اطراف هسته
۲) چگونگی حرکت الکترون در فضای اطراف هسته
۳) فاصله‌ی دقیق الکترون تا هسته
۴) مسیر حرکت الکترون به دور هسته

۷ ـ کدام نمایش اوربیتالی برای اتم $_6C$، سطح انرژی پایین‌تری دارد؟

۱) 
۲) 
۳) 
۴) 

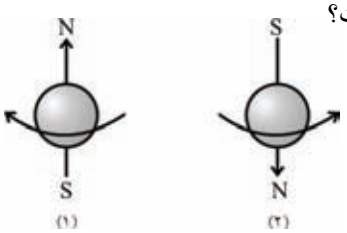
۸ ـ جهت‌گیری اوربیتال‌ها در فضا با کدام عدد کوانتومی مشخص می‌شود؟ *(المپیاد شیمی مرحله‌ی اول ـ ۸۳ ـ ۸۲)*

۱) m_l ۲) l ۳) n ۴) m_s

۹ ـ در یک اتم چند الکترونی، اوربیتال 2s و یک اوربیتال 2p در کدام مورد مشابه هستند؟

۱) شکل اوربیتال ۲) گنجایش الکترونی ۳) عدد کوانتومی اوربیتالی ۴) انرژی اوربیتال

۱۰ ـ با توجه به شکل مقابل که گردش الکترون را حول محور خود نشان می‌دهد، کدام جمله نادرست است؟



۱) m_s برای الکترون (۱)، برابر $+\frac{۱}{۲}$ است.

۲) m_s برای الکترون (۲) برابر $-\frac{۱}{۲}$ است.

۳) این دو الکترون می‌توانند در یک اوربیتال قرار بگیرند.

۴) این دو الکترون مربوط به الکترون‌های آخرین زیرلایه‌ی اتم $_{۱۴}Si$ هستند.

۱۱ ـ در کدام عنصر زیر همه‌ی اوربیتال‌های d تک الکترونی‌اند؟ *(آزاد ـ پزشکی ـ ۸۷ و ریاضی ـ ۸۴)*

۱) $_{۲۵}Mn$ ۲) $_{۲۶}Fe$ ۳) $_{۲۷}Co$ ۴) $_{۲۸}Ni$

۱۲ ـ آرایش الکترونی یون $M^{۲+}$ به $۳d^۹$ ختم می‌شود. آرایش حالت خنثی برای این اتم کدام است؟

۱) $[Ar]۳d^۲۴s^۲$ ۲) $[Ar]۳d^۷۴s^۲$ ۳) $[Ar]۳d^{۱۰}۴s^۱$ ۴) $[Ar]۳d^{۱۰}۴s^۲۴p^۱$

۱۳ ـ کدام جمله صحیح نیست؟

۱) مجموعه‌ای از اوربیتال‌ها با مقدار l برابر، یک زیرلایه را ایجاد می‌کنند.

۲) مجموعه‌ای از زیرلایه‌ها با n برابر، یک لایه الکترونی را تشکیل می دهند.

۳) انرژی یک زیرلایه، تنها با عدد کوانتومی n تعیین می‌شود.

۴) تفاوت گنجایش الکترونی زیرلایه‌های f و d برابر ۴ است.

۱۴ ـ در اتم کروم $_{۲۴}Cr$ چند الکترون با $l=۰$ وجود دارد و این عنصر جزء کدام دسته از عناصر است؟

۱) ۸ و d ۲) ۷ و d ۳) ۱۳ و s ۴) ۱۴ و s

۱۵ ـ کدام گروه از اعداد کوانتومی زیر برای یک الکترون صحیح نیست؟ *(المپیاد شیمی ملی آمریکا ـ ۲۰۰۵)*

۱) $n=۱, l=۰, m_l=۰, m_s=+\frac{۱}{۲}$

۲) $n=۲, l=۱, m_l=-۱, m_s=-\frac{۱}{۲}$

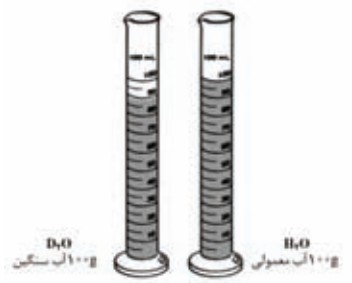
۳) $n=۳, l=۳, m_l=۱, m_s=-\frac{۱}{۲}$

۴) $n=۴, l=۳, m_l=۲, m_s=+\frac{۱}{۲}$

آزمون دوم

۲۴ دقیقه

۱ ـ با توجه به شکل روبه‌رو، کدام مطلب درست است؟



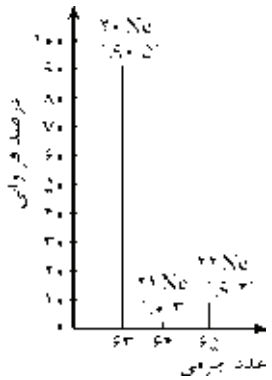
۱) چگالی $H_۲O$ بیش‌تر از $D_۲O$ است.

۲) بیانگر تفاوت خواص فیزیکی و شیمیایی ایزوتوپ‌ها ست.

۳) یک قطعه یخ $D_۲O$ در آب معمولی ($H_۲O$) فرو می‌رود.

۴) جرم مولی $D_۲O$ با $H_۲O$ یکسان است.

۲ ـ با توجه به شکل روبه‌رو که فراوانی ایزوتوپ‌های نئون را در طبیعت نشان می‌دهد، جرم اتمی میانگین نئون کدام است؟



۱) ۲۱/۱۴

۲) ۲۰/۱۸

۳) ۲۲/۳۸

۴) ۲۰/۸۳۲۴

۳ ـ کدام گزینه ترتیب درست پر شدن زیرلایه‌ها را نشان می‌دهد؟

۱) $3p \rightarrow 3d \rightarrow 4s \rightarrow 4p$
۲) $5s \rightarrow 5p \rightarrow 4d \rightarrow 4f$
۳) $4s \rightarrow 4p \rightarrow 4d \rightarrow 5s$
۴) $6s \rightarrow 4f \rightarrow 5d \rightarrow 6p$

۴ ـ اوربیتال‌های لایه‌ی ظرفیت کدام عنصر زیر، همه نیمه پُر هستند؟ *(آزاد ـ ریاضی ـ ۸۸ ـ نوبت عصر)*

۱) ${}_{29}Cu$
۲) ${}_{30}Zn$
۳) ${}_{26}Fe$
۴) ${}_{24}Cr$

۵ ـ طبق اصل ..... برای قرار دادن الکترون‌های یک اتم در زیرلایه‌ها، از زیرلایه‌ای که پایین‌ترین سطح انرژی را داشته شروع کرده و طبق قاعده‌ی ..... در اوربیتال‌هایی که انرژی یک‌سانی دارند ابتدا هر اوربیتال توسط ..... الکترون با اسپین ..... پر می‌شود.

۱) بناگذاری ـ پائولی ـ یک ـ یک‌سان
۲) هوند ـ پائولی ـ دو ـ مخالف
۳) پائولی ـ بناگذاری ـ دو ـ مخالف
۴) بناگذاری ـ هوند ـ یک ـ یک‌سان

۶ ـ کدام مجموعه اعداد کوانتومی برای یک الکترون مجاز نیست؟

۱) $n=2, l=1, m_l=0, m_s=+\frac{1}{2}$
۲) $n=4, l=3, m_l=-2, m_s=+\frac{1}{2}$
۳) $n=3, l=2, m_l=+1, m_s=-\frac{1}{2}$
۴) $n=4, l=2, m_l=-3, m_s=-\frac{1}{2}$

۷ ـ آرایش الکترونی نوشتاری اتم نیتروژن ($_7N$) به‌صورت ..... و آرایش الکترونی نموداری آن به‌صورت ..... است و ..... الکترون در آن دارای عدد کوانتومی $l=0$، اند. *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۵ ـ خارج از کشور)*

۱) $1s^2 2s^2 2p^3$، سه
۲) $1s^2 2s^2 2p^3$، سه
۳) $1s^2 2s^2 2p^3$، چهار
۴) $1s^2 2s^2 2p^3$، چهار

۸ ـ ترکیبات جیوه (I) شامل کاتیون دو اتمی $_{80}Hg_2^{2+}$ می‌باشند. تعداد کل الکترون‌های این یون چند تا است؟

۱) ۱۶۰
۲) ۱۵۹
۳) ۱۵۶
۴) ۱۵۸

۹ ـ در اتم آرسنیک ($_{33}As$)، به ترتیب چند سطح انرژی و چند تراز فرعی انرژی از الکترون اشغال شده‌اند و لایه‌ی ظرفیت آن شامل چند الکترون است؟ *(سراسری ـ تجربی ـ ۸۵)*

۱) پنج ـ نه ـ سه
۲) پنج ـ نه ـ پنج
۳) چهار ـ هشت ـ پنج
۴) چهار ـ هشت ـ سه

۱۰ ـ کدام گزینه می‌تواند نشانگر اعداد کوانتومی یکی از الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت اتم فسفر در حالت پایه‌ی آن باشد؟

۱) $n=2, l=1, m_l=0, m_s=+\frac{1}{2}$
۲) $n=3, l=0, m_l=0, m_s=0$
۳) $n=3, l=1, m_l=-1, m_s=+\frac{1}{2}$
۴) $n=3, l=2, m_l=1, m_s=-\frac{1}{2}$ *(المپیاد بین‌المللی امریکا ـ ۱۹۹۸)*

۱۱ ـ کدام مطلب درباره‌ی عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l) نادرست است؟

۱) جهت‌گیری اوربیتال‌ها را در فضا معین می‌کند.
۲) m_l همه‌ی عددهای صحیح بین $-l$ تا $+l$ را در بر می‌گیرد.
۳) در اتم $_3Li$ فقط یک الکترون دارای $m_l=0$ می‌باشد.
۴) اگر $l=2$ باشد برای m_l مقادیر ۲ـ، ۱ـ، ۰، ۱ و ۲ به دست می‌آید.

۱۲ ـ نقره ($_{47}Ag$)، از دسته عنصرهای ..... است که در آن تعداد الکترون‌هایی که دارای عدد کوانتومی $l=2$ هستند برابر ..... می‌باشد.

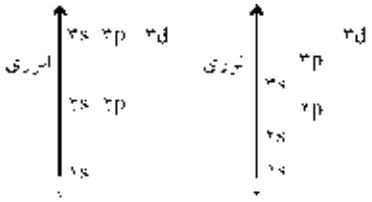
۱) اصلی ـ ۲۰
۲) واسطه ـ ۱۹
۳) اصلی ـ ۱۹
۴) واسطه ـ ۲۰

۱۳ ـ در یون $_{۲۶}Fe^{۲+}$، چه تعداد الکترون دارای اعداد کوانتومی $(m_l = -۱, l = ۱)$ می‌باشند؟

۱) ۲ ۲) ۳

۳) ۴ ۴) ۵

۱۴ ـ در مورد شکل‌های زیر مفهوم کدام گزینه صحیح است؟



۱) شکل (۱) ترتیب انرژی زیرلایه‌ها در یک اتم چند الکترونی را نشان می‌دهد.

۲) شکل (۲) ترتیب انرژی زیرلایه‌ها در اتم هیدروژن را نشان می‌دهد.

۳) در شکل (۱) اعداد کوانتومی n و l هر دو در تعیین انرژی الکترونی مؤثر هستند.

۴) در شکل (۲) به علت دافعه‌های بین الکترونی، انرژی زیرلایه‌های موجود در یک لایه الکترونی با هم تفاوت دارند.

۱۵ ـ آرایش الکترونی کدام جفت یون‌ها، به $۳d^{۱۰}$ ختم می‌شود و هر یک از آن‌ها به ترتیب (از راست به چپ)، چند الکترون دارند؟

۱) $_{۲۹}Cu^{۲+}$ و $_{۲۸}Ni^{۲+}$، ۲۷ و ۲۶ ۲) $_{۲۹}Cu^{۲+}$ و $_{۳۱}Ga^{۳+}$، ۲۷ و ۲۷ *(سراسری ـ ریاضی ـ ۸۵ ـ خارج از کشور)*

۳) $_{۲۹}Cu^{+}$ و $_{۳۰}Zn^{۲+}$، ۲۸ و ۲۸ ۴) $_{۲۹}Cu^{+}$ و $_{۲۸}Ni^{۲+}$، ۲۸ و ۲۶

۱۶ ـ در کدام عنصر واسطه‌ی زیر تعداد الکترون‌های اوربیتال‌های ۳p و ۳d با هم برابر است؟ *(آزاد ـ تجربی ـ ۸۶)*

۱) $_{۲۶}Fe$ ۲) $_{۲۵}Mn$

۳) $_{۲۴}Cr$ ۴) $_{۲۹}Cu$

فهرست
پلکان آموزش ۲
پاسخ تست‌های پلکان آموزش ۵۳
پلکان آزمون ۶۲
پاسخ‌های پلکان آزمون ۶۶
آزمون یکم ۶۶
آزمون دوم ۶۷

پاسخ‌های پلکان آزمون

پاسخ تست‌های آزمون یکم

۱ ـ ۴ عدد اتمی آرگون برابر ۱۸ است یعنی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های آن برابر ۱۸ است. پس یون موردنظر که ۱۸ الکترون دارد با آرگون هم الکترون است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۱ بار یون برابر تعداد پروتون‌ها منهای تعداد الکترون‌ها است:

$$+۲ = p - e = p - ۱۸ \Rightarrow p = ۲۰$$

پس یون موردنظر ۲۰ پروتون دارد.

۲ یون $_{۱۸}Ar^{۲+}$ دارای ۱۶ الکترون است نه ۱۸ الکترون.

۳ از روی عدد اتمی و هم‌چنین تعداد الکترون‌ها نمی‌توان تعداد نوترون‌ها را به دست آورد.

۲ ـ ۴ بدون شرح!

۳ ـ ۱ ایزوتوپ‌های یک عنصر در تعداد نوترون‌ها و در نتیجه در جرم اتمی متفاوت هستند.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۲و۳ تعداد پروتون‌های (یعنی عدد اتمی) ایزوتوپ‌های یک عنصر با هم برابر می‌باشد.

۴ تفاوت ایزوتوپ‌ها در تعداد نوترون‌ها است و تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های آن با هم برابر است. لذا آرایش الکترونی آن‌ها یک‌سان است.

۴ ـ ۴ با توجه به داده‌های مسأله می‌توان نوشت:

$$M = \frac{M_۱F_۱ + M_۲F_۲}{F_۱ + F_۲} = \frac{۱۰۶/۹(۵۱/۸۴) + ۱۰۸/۹(۴۸/۱۶)}{۵۱/۴۸ + ۴۸/۱۶} = ۱۰۷/۸۶$$

یک راه میان‌بر! این تست را می‌توان بدون انجام محاسبات نیز حل نمود! جرم اتمی متوسط یک عنصر باید چیزی بین جرم اتمی ایزوتوپ‌های آن باشد. یعنی جرم اتمی متوسط نقره باید عددی بین ۱۰۶/۹ و ۱۰۸/۹ باشد. با نگاهی مختصر به گزینه‌ها می‌توان دریافت که گزینه‌های (۱)، (۲) و (۳) هیچ‌کدام واجد این شرایط نیستند. پس فقط گزینه‌ی (۴) می‌ماند و بس!

۵ ـ ۳ لایه‌ی الکترونی سوم ($n = ۳$) شامل سه زیرلایه (s، p و d) است. در هر لایه‌ی الکترونی حداکثر $۲n^۲$ الکترون و $n^۲$ اوربیتال وجود دارد. پس در $n = ۳$، حداکثر $۲(۳)^۲ = ۱۸$ الکترون و $۳^۲ = ۹$ اوربیتال وجود دارد.

۶ ـ ۱ با توجه به تعریف ارائه شده درباره‌ی اوربیتال، از روی شکل اوربیتال فقط احتمال حضور الکترون در اطراف هسته را می‌توان پیش‌گویی کرد. در ضمن اصولاً مطالب گفته شده در گزینه‌های (۲)، (۳) و (۴) اصلاً قابل تعیین کردن نیستند.

۷ ـ ۱ طبق قاعده‌ی هوند، زیرلایه‌هایی که بیش از یک اوربیتال هم انرژی دارند (مانند زیرلایه‌ی 2p) به گونه‌ای پر می‌شوند که ابتدا در هر اوربیتال یک الکترون (با اسپین یک‌سان) وارد شود و پس از نیمه پر شدن آن زیرلایه، شروع به جفت شدن می‌کند. با این توضیحات آرایش الکترونی $_{۶}C$ به‌صورت زیر است. توجه داشته باشید آرایشی که طبق قاعده‌ی هوند باشد **پایدارترین** آرایش و در نتیجه **پایین‌ترین سطح انرژی** را خواهد داشت.



۸ ـ ۱ عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l)، جهت‌گیری اوربیتال‌ها را در فضا مشخص می‌کند.

۹ ـ ۲ هر اوربیتال (چه اوربیتال s و چه اوربیتال p) حداکثر گنجایش دو الکترون را دارد. بررسی سایر گزینه‌ها:

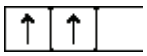
۱ شکل اوربیتال s کروی و اوربیتال p، دمبلی است.

۳ عدد کوانتومی اوربیتالی (l) اوربیتال s و p به ترتیب برابر صفر و ۱ است.

۴ در یک اتم **چند الکترونی**، انرژی اوربیتال 2s پایین‌تر از اوربیتال 2p است.

۱۰ ـ ④ آرایش الکترونی $_{14}Si$ به‌صورت زیر است:

$$_{14}Si:[_{10}Ne]3s^2/3p^2$$



در آخرین زیرلایه‌ی Si (زیرلایه‌ی 3p) دو الکترون وجود دارد که دارای اسپین یکسان ($m_s=+\frac{1}{2}$) هستند، در حالی که در شکل‌های (۱) و (۲) اسپین الکترون‌ها متفاوت (به ترتیب $+\frac{1}{2}$ و $-\frac{1}{2}$) است. پس گزینه‌ی ۴ عبارتی نادرست است.

۱۱ ـ ① ظاهراً چاره‌ای نداریم جز این‌که آرایش الکترونی تک تک گزینه‌ها را رسم کنیم.

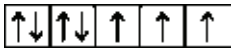
۱) $_{25}Mn:[_{18}Ar]3d^5/4s^2$



۲) $_{26}Fe:[_{18}Ar]3d^6/4s^2$



۳) $_{27}Co:[_{18}Ar]3d^7/4s^2$



۴) $_{28}Ni:[_{18}Ar]3d^8/4s^2$



همان‌طور که مشاهده می‌شود در $_{25}Mn$ همه‌ی اوربیتال‌های 3d، تک الکترونی هستند.

۱۲ ـ ③ آرایش الکترونی اتم M به‌صورت زیر است:

$$M^{2+}:[_{18}Ar]3d^9 \longrightarrow M:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^1$$

۱۳ ـ ③ در اتم هیدروژن انرژی زیرلایه‌ها فقط به عدد کوانتومی اصلی (n) وابسته است ولی در اتم‌های چند الکترونی عدد کوانتومی اصلی (n) و عدد کوانتومی اوربیتالی (l) هر دو مقدار انرژی زیرلایه‌ها را معین می‌کنند. با این توضیحات عبارت گزینه‌ی ۳ نادرست است. سایر گزینه‌ها همگی درست است.

۱۴ ـ ② ابتدا آرایش الکترونی کروم ($_{24}Cr$) را رسم می‌کنیم:

$$_{24}Cr:1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^5/4s^1$$

$l=0$ بیانگر زیرلایه‌ی s است و همان‌طور که مشاهده می‌شود ۷ الکترون در زیرلایه‌های s قرار دارند. در ضمن چون در کروم زیرلایه‌ی d در حال پر شدن است این عنصر جزو عنصرهای دسته‌ی d می‌باشد.

۱۵ ـ ③ اگر $n=3$ باشد مقدار l می‌تواند صفر، ۱ یا ۲ باشد، پس نمی‌تواند برابر ۳ باشد.

پاسخ تست‌های آزمون دوم

۱ ـ ③ همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، حجم ۱۰۰ گرم D_2O کم‌تر از حجم ۱۰۰ گرم H_2O است. این واقعیت به معنای آن است که جرم حجمی (چگالی) D_2O بیش‌تر از H_2O است، لذا اگر یک قطعه یخ D_2O در آب معمولی (H_2O) بیندازیم، در آن فرو می‌رود.

بررسی سایر گزینه‌ها:

۱ همان‌طور که بیان شد، چگالی D_2O بیش‌تر از H_2O است.

۲ ایزوتوپ‌ها فقط از نظر خواص **فیزیکی** تفاوت دارند اما از نظر شیمیایی یک‌سان هستند.

۳ جرم مولی D_2O از H_2O بیش‌تر است.

۲ ـ ② با توجه به شکل موردنظر، فراوانی ایزوتوپ‌های ^{20}Ne، ^{21}Ne و ^{22}Ne به ترتیب برابر ۹۰/۵٪، ۰/۳٪ و ۹/۲٪ می‌باشد. پس می‌توان نوشت:

$$M=\frac{M_1F_1+M_2F_2+M_3F_3}{F_1+F_2+F_3}=$$

$$\frac{20(90/5)+21(0/3)+22(9/2)}{90/5+0/3+9/2}=20/18$$

۳ ـ ④ با توجه به رابطه‌ی $\mathbf{ns(n-2)f(n-1)dnp}$ ابتدا 6s، سپس 4f، بعد 5d و در آخر 6p پر می‌شود.

بررسی سایر گزینه‌ها:

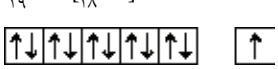
۱ ترتیب درست به‌صورت: $3p+4s+3d+4p$ می‌باشد.

۲ باید جای 5p و 4d عوض شود. در ضمن بعد از زیرلایه‌ی 5p، زیرلایه‌ی 6s پر می‌شود.

۳ بعد از 4s، 3d قرار می‌گیرد. در ضمن جای 5s و 4d باید عوض شود.

۴ ـ ④ آرایش الکترونی تک تک گزینه‌ها را رسم می‌کنیم:

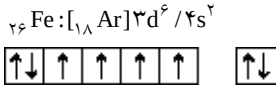
$_{29}Cu:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^1$



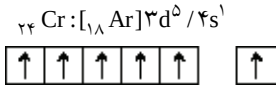
$_{30}Zn:[_{18}Ar]3d^{10}/4s^2$



$_{26}Fe:[_{18}Ar]3d^6/4s^2$



$_{24}Cr:[_{18}Ar]3d^5/4s^1$



همان‌طور که ملاحظه می‌شود در کروم ($_{24}Cr$) اوربیتال‌های لایه‌ی ظرفیت (3d و 4s) همه نیمه پر هستند.

۵ ـ (۴) طبق اصل **بناگذاری (آفبا)** برای قرار دادن الکترون‌های یک اتم در زیرلایه‌ها، از زیرلایه‌ای که پایین‌ترین سطح انرژی را داشته شروع می‌کنیم. و طبق **قاعده‌ی هوند** در پر شدن زیرلایه‌هایی که بیش از یک اوربیتال هم انرژی دارند، ابتدا هر اوربیتال توسط **یک** الکترون با اسپین **یک‌سان** پر می‌شود تا این‌که آن زیرلایه نیمه پر شود، سپس شروع به جفت شدن می‌کند.

۶ ـ (۴) اگر $l=2$ باشد مقدار m_l می‌تواند بین ۲- تا ۲+ باشد، پس نمی‌تواند برابر ۳- باشد.

۷ ـ (۴) آرایش الکترونی نوشتاری و نموداری $_{7}N$ به‌صورت زیر است:

نوشتاری ⇐ $_{7}N: 1s^2/2s^2 2p^3$

نمودار ⇐



عدد کوانتومی $l=0$ بیانگر زیرلایه‌ی s است و همان‌طور که ملاحظه می‌شود **۴ الکترون** در این زیرلایه‌ها وجود دارند.

۸ ـ (۴) یون $_{80}Hg_2^{2+}$ دارای دو اتم است که هر یک در حالت خنثی دارای ۸۰ الکترون هستند. با توجه به این‌که بار این یون +۲ است می‌توان نوشت:

تعداد الکترون‌ها $= (2\times 80)-2=158$

۹ ـ (۳) آرایش الکترونی آرسنیک (As) به‌صورت زیر است:

$_{33}As: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^{10}/4s^2 4p^3$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در آرایش الکترونی آرسنیک، ۴ سطح انرژی (لایه‌ی الکترونی) و ۸ تراز فرعی (زیرلایه) توسط الکترون‌ها اشغال شده‌اند و در لایه‌ی ظرفیت آن، ۵ الکترون ($4s^2 4p^3$) وجود دارد.

۱۰ ـ (۳) آرایش الکترونی فسفر ($_{15}P$) به‌صورت زیر است:

$_{15}P: [_{10}Ne]3s^2 3p^3$

لایه‌ی ظرفیت فسفر (لایه‌ی سوم) دارای عدد کوانتومی $n=3$ می‌باشد، پس تا این‌جا گزینه‌ی ۱ به دلیل داشتن $n=2$ نادرست است. در ضمن گزینه‌ی ۲ هم نادرست است زیرا $m_s=0$ اصلاً وجود ندارد. گزینه‌ی ۴ نیز نادرست است زیر در اتم فسفر اصلاً الکترونی در زیر لایه‌ی $(n=2)$۵ وجود ندارد.

۱۱ ـ (۳) آرایش الکترونی $_{3}Li$ به‌صورت زیر است:

$_{3}Li: 1s^2/2s^1$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود **هر سه الکترون** Li در زیرلایه‌های s (که m_l آن‌ها برابر صفر است) قرار دارند. پس گزینه‌ی ۳ عبارتی نادرست است. سایر گزینه‌ها همگی درست هستند.

۱۲ ـ (۴) ابتدا آرایش الکترونی $_{47}Ag$ را رسم می‌کنیم:

$_{47}Ag: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^{10}/4s^2 4p^6 4d^{10}/5s^1$

با توجه به این‌که نقره، زیرلایه‌ی d در حال پرشدن است در می‌یابیم که این عنصر از دسته عنصرهای واسطه است. با نگاهی به آرایش الکترونی $_{47}Ag$ می‌توان مشاهده نمود که در این اتم، ۲۰ الکترون در زیرلایه‌های ۳d و ۴d (که دارای $l=2$ هستند) جای دارند.

۱۳ ـ (۳) ابتدا آرایش الکترونی $_{26}Fe^{2+}$ را رسم می‌کنیم:

$_{26}Fe: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^6/4s^2 \rightarrow$

$_{26}Fe^{2+}: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^6$

$l=1$ و $m_l=-1$ نشان‌دهنده‌ی یکی از اوربیتال‌های سه‌گانه‌ی زیرلایه‌ی p می‌باشد. به راحتی می‌توان دریافت که در هر یک از زیرلایه‌های ۲p و ۳p دو الکترون دارای چنین ویژگی‌هایی هستند. پس در مجموع ۴ الکترون دارای $l=1$ و $m_l=-1$ هستند.

۱۴ ـ (۴) شکل (۱) ترتیب زیرلایه‌ها در اتم هیدروژن و شکل (۲) ترتیب زیرلایه‌ها را در یک اتم چند الکترونی نشان می‌دهند. در اتم هیدروژن انرژی زیرلایه‌ها فقط به عدد کوانتومی اصلی (n) وابسته است از این‌رو همه‌ی زیرلایه‌های موجود در یک لایه‌ی الکترونی، هم انرژی هستند ولی در یک اتم چند الکترونی به علت ایجاد دافعه‌های بین الکترونی، عدد کوانتومی (n) و (l) هر دو مقدار انرژی زیرلایه‌ها را معین می‌کنند. به همین دلیل سطح انرژی زیرلایه‌های موجود در یک لایه‌ی الکترونی برابر نیستند.

۱۵ ـ (۳) آرایش الکترونی یون‌های $_{29}Cu^+$ و $_{30}Zn^{2+}$ به‌صورت زیر است:

$_{29}Cu \rightarrow [_{18}Ar]3d^{10}/4s^1 \rightarrow {}_{29}Cu^+ \rightarrow [_{18}Ar]3d^{10}$

$_{30}Zn \rightarrow [_{18}Ar]3d^{10}/4s^2 \rightarrow {}_{30}Zn^{2+} \rightarrow [_{18}Ar]3d^{10}$

همان‌طور که مشاهده می‌شود آرایش الکترونی این دو یون به $3d^{10}$ ختم می‌شود و هر دو دارای ۲۸ الکترون هستند.

۱۶ ـ (۱) در آرایش الکترونی اتم آهن ($_{26}Fe$)، زیرلایه‌های ۳p و ۳d هر دو دارای ۶ الکترون هستند.

$_{26}Fe: 1s^2/2s^2 2p^6/3s^2 3p^6 3d^6/4s^2$

www.KONKUR.IN