

نوشتن آرایش الکترونی

برای تعیین آرایش الکترونی اتمها، نه تنها درباره ترازهای انرژی اصول و قواعدی باید مورد توجه قرار گیرد، بلکه در هر تراز انرژی، در مورد چگونگی اشغال شدن اوربیتالها به وسیله الکترونها نیز اصول و قواعدی وجود دارد که باید رعایت شوند.

اصل طرد پائولی:

این اصل را این طور می توان بیان کرد که «در هیچ اتمی نمی توان دو الکترون یافت که چهار عدد کوانتومی یکسان داشته باشند». با توجه به اینکه هر تراز فرعی دارای اعداد کوانتومی n و l مشخص و ثابتی است و در هر یک از اوربیتالهای آن تراز نمی تواند بیش از دو الکترون قرار گیرد و چون هر اوربیتال نیز عدد کوانتومی m_l مشخص دارد، در این صورت سه عدد کوانتومی n ، l و m_l آن دو الکترون با هم برابر خواهند بود. از آنجا که عدد کوانتومی اسپین الکترون فقط دو مقدار $+\frac{1}{2}$ ، $-\frac{1}{2}$ را می تواند داشته باشد، پس برای رعایت اصل طرد پاولی، حداکثر دو الکترون می تواند در هر اوربیتال وارد شود که تفاوت آنها در عدد کوانتومی اسپین است. زیرا، اگر الکترون سومی به یک اوربیتال اضافه شود، در آن صورت عدد کوانتومی اسپین آن با یکی از دو الکترون دیگر برابر و اصل طرد پاولی نقض خواهد شد.

اصل طرد پاولی بر این اساس استوار است که وقتی دو الکترون در یک اوربیتال اتمی قرار می‌گیرند، چون فاصله بین آنها فوق‌العاده کم می‌شود، نیروی دافعه الکتروستاتیکی بین آنها به شدت افزایش یافته و باعث ناپایداری اتم می‌شود. اما اگر این دو الکترون دارای اسپینهای مخالف باشند، ضمن چرخش به دور محور خود مانند عقربه مغناطیسی که قطبهای غیر همنام آنها در مجاورت هم قرار داشته باشند، عمل می‌کنند. در نتیجه، نیروی جاذبه مغناطیسی بین آنها به وجود می‌آید که با نیروی دافعه الکتروستاتیکی حاصل از بارهای الکتریکی همنام آنها مقابله می‌کند. در نتیجه پایداری اتم تامین می‌شود. از این رو، دو الکترون در یک اوربیتال اتمی با اسپینهای مخالف جفت می‌شوند، یعنی عدد کوآنومی اسپین برای یکی از آنها $+\frac{1}{2}$ و برای دیگری $-\frac{1}{2}$ است.

قاعده هوند:

در یک تراز فرعی، الکترونها ابتدا تک تک و با اسپین موازی، اوربیتال‌ها را پر می‌کنند و سپس الکترونهای دیگر با آنها جفت می‌شوند.

برای نوشتن آرایش الکترونی کار را با اتم هیدروژن که یک الکترون در اوربیتال $1s$ دارد، آغاز می‌کنیم به این ترتیب از عنصری به عنصر بعدی می‌رویم تا به آرایش الکترونی اتم مورد نظر می‌رسیم.

الکترونی که در روش بناگذاری، به آرایش الکترونی یک عنصر افزوده می‌شود تا عنصر بعدی به دست آید الکترون متمایزکننده نامیده می‌شود. این الکترون آرایش الکترونی اتم یک عنصر را از اتم عنصر پیشین متمایز می‌کند. الکترون متمایزکننده در هر مرحله به اوربیتال خالی دارای کمترین انرژی افزوده می‌شود.

انرژی همه اوربیتال‌های یک پوسته فرعی، یکسان است. مثلاً انرژی هر اوربیتال $3p$ برابر انرژی هر یک از دو اوربیتال $3p$ دیگر است. تمام پنج اوربیتال $3d$ نیز انرژی یکسان دارند. اما در یک پوسته اصلی، پوسته‌های فرعی مختلف انرژی متفاوت دارند. برای هر مقدار n ، انرژی پوسته‌های فرعی، به ترتیب $s < p < d < f$ افزایش می‌یابند. در پوسته $n=3$ ، اوربیتال $3s$ کمترین انرژی، اوربیتال $3p$ انرژی متوسط و اوربیتال $3d$ حداکثر انرژی را دارند. گاهی، انرژی اوربیتال‌های مربوط به پوسته‌های مختلف، همپوشانی دارند. مثلاً در بعضی اتمها، اوربیتال $4s$ ، کم‌انرژی از اوربیتال $3d$ است.

ترتیب معینی برای قرار دادن متوالی اوربیتال‌ها بر حسب انرژی، که برای تمام اتمها صدق کند، وجود ندارد. در فرایند فرضی بناگذاری، خصلت اتم به موازات افزایش یافتن تعداد پروتون و نوترون در هسته و نیز اضافه شدن تعداد الکترون‌ها تغییر می‌کند. خوشبختانه، تغییرات ترتیب انرژی اوربیتال‌ها از عنصری به عنصر بعد به تدریج و به طور منظم صورت می‌پذیرد. در نتیجه می‌توان ترتیب بناگذاری را به دست آورد.

این ترتیب تنها برای موقعیتهای اوربیتالی که الکترون متمایز کننده، در فرایند بناگذاری در آن جا می‌گیرد صادق است. آرایشهای الکترونی را می‌توان با پر کردن متوالی اوربیتالها به دست آورد. به این ترتیب که از پایین شروع می‌کنیم و به تدریج اوربیتال‌های بالاتر را پر می‌کنیم. باید توجه داشت که در پوسته فرعی p سه اوربیتال، در d پنج و در f هفت اوربیتال وجود دارد. هر پوسته فرعی را پیش از آنکه به پوسته بعدی الکترون داده شود پر می‌کنیم.

• به مثالهای زیر توجه کنید:

مثال. نماد الکترونی مربوط به آرایش الکترونی قلع ($Z=50$) را بنویسید.

حل. با استفاده از جدول مسير خود را به طريق زير دنبال مي كنيم. الكترونها را به هر عنصر اضافه

مي كنيم تا به عنصر 50 برسيم. اين روش را با كمك جدول تناوبي كنترل كنيد.

تناوب اول: $1s^2$ (كه ما را تا عنصر $2He$ مي رساند)

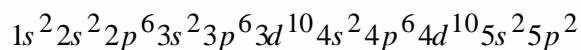
تناوب دوم: $2s^2 2p^6$ (كه ما را تا عنصر $10Ne$ مي رساند)

تناوب سوم: $3s^2 3p^6$ (كه ما را تا عنصر $18Ar$ مي رساند)

تناوب چهارم: $4s^2 3d^{10} 4p^6$ (كه ما را تا عنصر $36Kr$ مي رساند)

تناوب پنجم: $5s^2 4d^{10} 5p^2$ (كه ما را تا عنصر $50Sn$ مي رساند)

جملات دوباره نويسي مي شوند، تا نماد الكتروني به ترتيب صحيح به دست آيد.



مثال. نماد الكتروني مربوط به آرايش الكتروني نيوديميوم ($Z=60, Nd$) را بنويسيد.

حل.

تناوب اول: $1s^2$

تناوب دوم: $2s^2 2p^6$

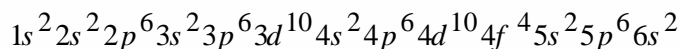
تناوب سوم: $3s^2 3p^6$

تناوب چهارم: $4s^2 3d^{10} 4p^6$

تناوب پنجم: $5s^2 4d^{10} 5p^6$

تناوب ششم: $6s^2 4f^4$

پس از نوآرایی، جملات بالا به صورت نماد الکترونی زیر در می آید:



نماد الکترونی برای لانتان ($Z=57$) و لاتانیدها (Z برابر 58 تا 71)، مساله‌ای پیش می آورد.

نماد $57La$ به $4f^0 5s^2 5p^6 5d^1 6s^2$... ختم می شود. می توان انتظار داشت که نماد عنصری

بعدی $58Ce$ به $4f^1 5s^2 5p^6 5d^1 6s^2$... ختم شود. اما الکترون متمایزکننده‌ای که در $57La$ به

اوربیتال $5d$ افزوده شده بود به پوسته فرعی $4f$ بر می گردد، به نحوی که نمایش الکترونی $58Ce$

با $4f^4 5s^2 5p^6 5d^0 6s^2$... ختم می شود.

در عناصر بعدی آرایشهای الکترونی به $4f^3 5s^2 5p^6 5d^0 6s^2$... (برای $59Pr$)

و $4f^4 5s^2 5p^6 5d^0 6s^2$... (برای $60Nd$) ختم می شوند.

مثال. نماد الکترونی مربوط به آرایش الکترونی تنگستن ($Z=74$, W) را بنویسید.

حل.

$1s^2$ تناوب اول

$2s^2 2p^6$ تناوب دوم

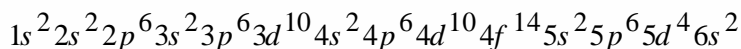
$3s^2 3p^6$ تناوب سوم

$4s^2 3d^{10} 4p^6$ تناوب چهارم

$5s^2 4d^{10} 5p^6$ تناوب پنجم

$6s^2 4f^{14} 5d^4$ تناوب ششم

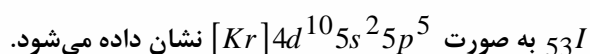
از نوآرایی جملات، نماد الکترونی به صورت زیر به دست می آید:



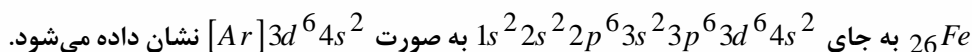
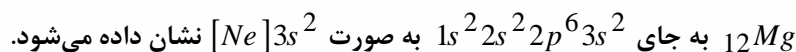
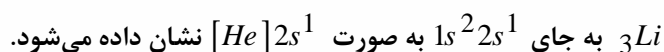
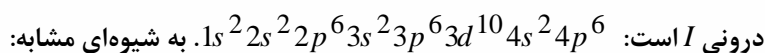
گاهی نمادهای الکترونی به صورتی خلاصه نوشته می شوند. بدین گونه که نماد اتمی یک گاز

نجیب درون یک قلاب برای نشان دادن آرایش الکترونی لایه های داخلی به کار برده می شوند. بنابراین

مثلاً



در اینجا نماد $[Kr]$ به جای آرایش الکترونی Kr نشسته است که نماینده 36 الکترون لایه های



در جدول زیر، نماد الکترونی پوسته های بیرونی اتمهای سه تناوب اول، نشان داده شده است. در

اتمهای دارای پوسته های درونی، این پوسته ها کامل شده اند. به تشابه آرایش الکترونی عناصر یک گروه

توجه کنید. مثلاً تمام عناصر گروه IA ، یک الکترون در اوربیتال s پوسته بیرونی دارند. تشابه آرایش

الکترونی عناصر یک گروه، خواص مشابه آنها را توجیه می کند.

پوسته بیرونی این عناصر پوسته والانس و الکترونهای این پوسته الکترونهای والانس نامیده

می شوند. برای عناصر موسوم به عناصر نماینده (عناصری که در جدول، در گروههای A قرار دارند).

تعداد الکترونهاى والانس، برابر شماره گروه است. گازهاى نجيب (گروه صفر) در پوسته والانس خود

هشت الکترون دارند، بجز هليم که داراى دو الکترون است.

جدول آرایش الکترونى پوسته بیرونى عناصر سه تناوب اول

I A							VIII A
1H $1s^1$							2He $1s^2$
	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	
3Li $2s^1$	4Be $2s^2$	5B $2s^2 2p^1$	6C $2s^2 2p^2$	7N $2s^2 2p^3$	8O $2s^2 2p^4$	9F $2s^2 2p^5$	10Ne $2s^2 2p^6$
11Na $3s^1$	12Mg $3s^2$	13Al $3s^2 3p^1$	14Si $3s^2 3p^2$	15P $3s^2 3p^3$	16S $3s^2 3p^4$	17Cl $3s^2 3p^5$	18Ar $3s^2 3p^6$

در جدول بعدى صورت کاملی از آرایش الکترونى عناصر داده شده است. این جدول که

مشاهده‌هاى حاصل از اسپکتروسکپی و ساير داده‌هاى تجربی را در نظر گرفته، با جدولی که فقط بر

مبنای اصل کلی آفبا ساخته می‌شود، تفاوتهاى جزئی دارد. در هر مورد که استثنایى پیش آید، با یک

فلش مشخص می‌شود. در این موارد، ترازهاى انرژی فوق‌العاده به یکدیگر نزدیک بوده و عوامل دیگری از

قبیل اثرات متبادل الکترونها و رسیدن به حالتهاى نیمه‌پایدار، تکلیف نهایی انرژی اربیتال را تعیین

می‌کند.

بنابراین همواره به خاطر داشته باشیم که طرح آفبا یک ابداع نظری است و چنانچه زیاده از حد

تعمیم یابد، به اشتباهات و سردرگمی‌هاى منجر می‌گردد.

به جای شکل تفصیلی طرح آفبا، می توان از ترتیب زیر نیز برای مرور سریع دوره های تناوبی از

نظر ترازهای انرژی، استفاده کرد. در این ترتیب نیز دیده می شود که براساس بار هسته و تعدادی عوامل

دیگر، برخی جایجایی ها، صورت می گیرد:

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s <$$

$$4d < 5p < 6s < 5d \quad 4f < 6p < \underline{7s} < 6d < 5f$$

آرایش الکترونی عناصر جدول تناوبی¹



1 H $1s$
 2 He $1s^2$ تناوب اول

3 Li $[K] 2s$
 4 Be $[K] 2s^2$
 5 B $[K] \dots 2p$
 6 C $[K] \dots 2p^2$
 7 N $[K] \dots 2p^3$
 8 O $[K] \dots 2p^4$
 9 F $[K] \dots 2p^5$
 10 Ne $[K] 2s^2 2p^6$ تناوب دوم

11 Na $[K] [L] 3s$
 12 Mg $[K] [L] 3s^2$
 13 Al $[K] [L] \dots 3p$
 14 Si $[K] [L] \dots 3p^2$
 15 P $[K] [L] \dots 3p^3$
 16 S $[K] [L] \dots 3p^4$
 17 Cl $[K] [L] \dots 3p^5$
 18 Ar $[K] [L] \dots 3p^6$ تناوب سوم

19 K $[K] [L] \dots \dots 4s$
 20 Ca $[K] [L] \dots \dots 4s^2$
 *21 Sc $[K] [L] \dots \dots 3d \dots$
 *22 Ti $[K] [L] \dots \dots 3d^2 \dots$
 *23 V $[K] [L] \dots \dots 3d^3 \dots$
 → *24 Cr $[K] [L] \dots \dots 3d^5 4s$
 *25 Mn $[K] [L] \dots \dots 3d^5 4s^2$ تناوب چهارم



*26	Fe	K	L	$3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$	
*27	Co	K	L	$.. .. 3d^7 ..$	
*28	Ni	K	L	$.. .. 3d^8 ..$	
→ *29	Cu	K	L	$3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$	
*30	Zn	K	L	M	$4s^2$
31	Ga	K	L	M	$.. 4p$
32	Ge	K	L	M	$.. 4p^2$
33	As	K	L	M	$.. 4p^3$
34	Se	K	L	M	$.. 4p^4$
35	Br	K	L	M	$.. 4p^5$
36	Kr	K	L	M	$.. 4p^6$

شماره

37	Rb	K	L	M	$.. .. 5s^1$
38	Sr	K	L	M	$.. .. 5s^2$
*39	Y	K	L	M	$.. .. 4d$
*40	Zr	K	L	M	$.. .. 4d^2$
→ *41	Nb	K	L	M	$.. .. 4d^4 5s^1$
→ *42	Mo	K	L	M	$.. .. 4d^5 5s^1$
*43	Tc	K	L	M	$.. .. 4d^5 5s^2$
→ *44	Ru	K	L	M	$.. .. 4d^7 5s^1$
→ *45	Rh	K	L	M	$.. .. 4d^8 5s^1$
→ *46	Pd	K	L	M	$.. .. 4d^{10}$
*47	Ag	K	L	M	$.. .. 5s$
*48	Cd	K	L	M	$.. .. 5s^2$
49	In	K	L	M	$.. .. 5p$
50	Sn	K	L	M	$.. .. 5p^2$
51	Sb	K	L	M	$.. .. 5p^3$
52	Te	K	L	M	$.. .. 5p^4$
53	I	K	L	M	$.. .. 5p^5$
54	Xe	K	L	M	$.. .. 5p^6$

شماره پنجم

55	Cs	K	L	M	$4s^2 4p^6 4d^{10}$	$5s^2 5p^6$	$6s$
56	Ba	K	L	M	.. .. .	.. ..	$6s^2$
→ *57	La	K	L	M	.. .. .	.. .. $5d$	..
▼58	Ce	K	L	M	.. .. .	$4f^2$	.. ..
▼59	Pr	K	L	M	.. .. .	$4f^3$	.. ..
▼60	Nd	K	L	M	.. .. .	$4f^4$	.. ..
▼61	Pm	K	L	M	.. .. .	$4f^5$	.. ..
▼62	Sm	K	L	M	.. .. .	$4f^6$	.. ..
▼63	Eu	K	L	M	.. .. .	$4f^7$	.. ..
→ ▼64	Gd	K	L	M	.. .. .	$4f^7$	.. .. $5d$
▼65	Tb	K	L	M	.. .. .	$4f^9$	.. ..
▼66	Dy	K	L	M	.. .. .	$4f^{10}$	.. ..
▼67	Ho	K	L	M	.. .. .	$4f^{11}$	.. ..
▼68	Er	K	L	M	.. .. .	$4f^{12}$	.. ..
▼69	Tm	K	L	M	.. .. .	$4f^{13}$	.. ..
▼70	Yb	K	L	M	.. .. .	$4f^{14}$	.. ..
→ ▼71	Lu	K	L	M	$4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14}$	.. .. $5d$	..

مثال نماینده سری لانتانیدها



*72	Hf	K	L	M	N	.. ..	$5d^2$	..
*73	Ta	K	L	M	N	.. ..	$5d^3$	..
*74	W	K	L	M	N	.. ..	$5d^4$	..
*75	Re	K	L	M	N	.. ..	$5d^5$	..
*76	Os	K	L	M	N	.. ..	$5d^6$	..
*77	Ir	K	L	M	N	.. ..	$5d^7$	..
→ *78	Pt	K	L	M	N	.. ..	$5d^9$	$6s$
→ *79	Au	K	L	M	N	.. ..	$5d^{10}$	$6s$
*80	Hg	K	L	M	N	.. ..	..	$6s^2$
81	Tl	K	L	M	N	.. ..	..	$6p$
82	Pb	K	L	M	N	.. ..	..	$6p^2$
83	Bi	K	L	M	N	.. ..	..	$6p^3$
84	Po	K	L	M	N	.. ..	..	$6p^4$
85	At	K	L	M	N	.. ..	..	$6p^5$
86	Rn	K	L	M	N	.. ..	..	$6p^6$

تناوب ششم

1 فلش نماینده آرایشهای غیرعادی و متفاوت با طرح آفبا ستاره نماینده عناصر واسطه سریهای سه گانه معروف به

عناصر واسطه d (عناصر واسطه خارجی)

