

# اطلاعاتی درباره ساختمان الکترونی و خواص خاکهای کمیاب

نوشته

دکتر مصباح

دانشیار دانشکده فنی

بنظر میرسد برای ایجاد زمینه ذهنی در بعضی از خوانندگان محترم که در موضوع مورد بحث مطالعه قبلی ندارند ذکر مقدمه مختصری اولاً راجع بعلائم و اصطلاحاتی که در مطالعه ساختمان اتمی بکار میروند ثانیاً راجع بعناصری که خاکهای کمیاب<sup>(۱)</sup> نامیده شده اند مفید و شاید لازم باشد بدینجهت هر یک از دو موضوع بالا بطور خیلی مختصر از نظر خوانندگان میگذرد و متذکر میشود که برای مطالعه عمیقتر در این زمینه ها میتوان بکلیه کتابهای تحت عناوین اتم و طیف - فیزیک اتمی - شیمی ساختمانی و غیره همچنین کتابهای شیمی عمومی و شیمی معدنی مراجعه کرد ولی آنچه که قسمت اساسی این مقاله را تشکیل میدهد هنوز بصورت کتاب جامع و کاملی منتشر نشده است .

در اوایل قرن بیستم اکتشافات روترفرد<sup>(۲)</sup> و بوهر<sup>(۳)</sup> و سومرفلد<sup>(۴)</sup> و دیگران ثابت کرده است الکترونهاى هراتم که روی مدارهای بیضوی دورهسته مرکزی گردش میکنند بوسیله چهار عدد کوانتائی<sup>(۵)</sup>  $n$  و  $l$  و  $s$  و  $j = l + s$  و یا تصویر  $z$  روی میدان مغناطیسی بنام  $m$  مشخص میشوند هر یک از بیضوی ها که با سه عدد معین  $n$  و  $l$  و  $m$  شناخته میشود یک مدار فرعی یا یک تراز انرژی تشکیل داده و انرژی کلی یک یا دو الکترون روی آن با در نظر گرفتن مقادیر عددی  $n$  و  $l$  و  $m$  و  $s$  و رعایت خطاهای کوانتائی بوسیله مکانیک موجی محاسبه میشود قسمت عمده خطاهای کوانتائی مربوط به تأثیر الکترونهاى مدارهای زیرین روی جاذبه بین هسته و الکترونهاى خارجی<sup>(۶)</sup> و تغییر جرم الکترون در نتیجه تغییرات سرعت آن<sup>(۷)</sup> همچنین تأثیر جرمهای مختلف موجود در هسته ایزوتوپهای مختلف یک عنصر میباشد بنابراین بهر الکترون روی هر تراز معین مقادیر مشخصی از  $n$  و  $l$  و  $s$  و  $j$  و انرژی ثابتی تعلق میگیرد در نتیجه تحریکهای خارجی مثل حرارت دادن یا تخلیه های الکتریکی مختلف ممکن است یک یا چند عدد از الکترونهاى اتم از تراز خود خارج و بتراز انرژی بالاتری رفته در نتیجه انرژی بیشتری دارا شوند که مقدار آن از روی مقادیر عددی جدید

۱—Terres rares

۲—Rutherford

۳—Bohr

۴—Sommerfeld

۵—Nombres quantiques

۶—Effct écran

۷—Variations relativistes

$n$  و  $s$  و  $l$  و  $m$  ( یا  $j$  ) بدست میآید باید دانست که  $n$  میتواند اعداد صحیح از یک به بالا داشته باشد برای  $l$  کلیه اعداد صحیح از صفر تا  $n-1$  و برای  $m$  کلیه اعداد صحیح از  $-l$  تا  $+l$  از جمله صفر ممکن است و  $s$  همیشه برابر بعلاوه یا منهای  $\frac{1}{2}$  است .

این انتقالات الکترونی که بطور انفصالی و همیشه از یک تراز به تراز انرژی مشخصی انجام میشود تابع اصل انتخاب<sup>(۱)</sup> بوده ضمن انتقال تغییر اعداد کوانتائی الکترون مقدار معینی خواهد بود . الکترون در مراجعت بتراز اولیه انرژی اضافی خود را بشکل نور یکنرنگی<sup>(۲)</sup> پس میدهد که فرکانس آن از فرمول  $\Delta W = h \times N$  بدست میآید .

$h$  مقدار ثابت پلانک<sup>(۳)</sup> نامیده شده و مقدار عددی آن برابر  $6.62504 \times 10^{-27}$  ارگ - ثانیه میباشد بنابراین با مطالعه طول موجهای اشعه موجود در طیف اتمی میتوان بطرز قرار گرفتن الکترونها در مدارهای خارجی اتم که اکثراً از الکترون اشباع نیستند و موجب تولید طیف خطی<sup>(۴)</sup> و ایجاد خواص شیمیائی و فیزیکی عناصر هستند پی برد مدارهای زیرین بانظم معینی که در همه عناصر یکسان است از الکترون پر شده و در تولید طیف اتمی و خواص شیمیائی و بسیاری از خواص فیزیکی دخالتی ندارند بدینجهت الکترونهای مدارهای خارجی را الکترونهای نوری<sup>(۵)</sup> یا الکترونهای ظرفیت مینامند .

در بسیاری از عناصر در نتیجه تحریک شدیدتر مثلاً ایجاد جرقه الکتریک ممکن است یک یا چند الکترون بکلی از اتم جدا شوند ( یونیزاسیون ) و سایر الکترونهای مدارهای خارجی بترازهای بالاتر منتقل و ضمن مراجعت طیف خطی دیگری ایجاد کنند شعاعهای موجود در این طیف که طیف ایونی<sup>(۶)</sup> نامیده میشود نیز میتوانند وسیله شناسائی یک اتم قرار گیرند .

بنابراین ساختمان و خواص عمومی اتم یک عنصر با در دست داشتن وضعیت الکترونها در مدارهای غیر کامل کاملاً مشخص میشود بدینجهت گشت آورهاى مختلف حرکتی و چرخشی و مغناطیسی الکترونهای مدارهای خارجی را که مقادیر آنها بترتیب با اعداد  $l$  و  $s$  و  $m$  یا  $j$  و بر حسب واحد کوانتائی  $\frac{h}{2\pi}$  معین شده است طبق قاعده مخصوصی با یکدیگر جمع و متوجه آنها را گشت آورهاى حرکتی و چرخشی و مغناطیسی اتم مینامند .

$$\vec{L} = \epsilon l \quad \vec{S} = \epsilon s \quad \vec{J} = \vec{L} + \vec{S} = \epsilon l + \epsilon s$$

با تشبیه این مجموعه بیک الکترون واحد حالت عمومی و الکترونی اتم را بطور سمبولیک بر حسب مقادیر عددی  $L$  که اعداد صحیح مساوی با بزرگتر از صفر است با حروف  $S$  و  $P$  و  $D$  و  $F$  و  $G$  و  $H$  و  $I$  و غیره

۱—Principe de sélection

۲—Monochromatique

۳—Planck

۴—Spectre de raies

۵—Electrons optiques

۶—Spectre d'ion

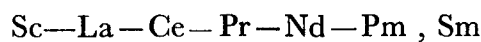
نشان میدهند مقدار عددی  $J$  را بشکل اندیس حروف فوق و عدد معرف چندگانگی<sup>(۱)</sup> را در طرف راست و بالای حرف مینویسند اگر الکترونها مدارهای غیر کامل همگی دارای عدد کوانتائی اصلی  $(n)$  یکسان باشند این عدد نیز در طرف چپ حرف نوشته میشود مثلاً سمبول  $4^2F_{5/2}$  نمایش حالت اساسی<sup>(۲)</sup> اتمی است که الکترونها نوری آن همگی در مدار  $n=4$  قرار داشته و مقدار عددی  $L$  برابر ۳ و  $J$  برابر  $\frac{5}{2}$  و چندگانگی برابر دو میباشد.

چندگانگی عبارت از تعداد ترازهای انرژی مختلف و فوق العاده نزدیک بهم است که همگی ممکن است ضمن یک انتقال الکترونی واحد بوجود آیند و در نتیجه بجای یک شعاع کاملاً یکرنگ بهمان تعداد شعاعهای با طول موجهای خیلی نزدیک بهم ایجاد شود مثلاً طبق محاسبه چندگانگی حالت اساسی اتم سدیم برابر دو میباشد و مشاهده میشود که نور زرد سدیم از دو شعاع بطول موجهای  $58899.6$  و  $58909.8$  آنگستروم تشکیل شده است<sup>(۳)</sup>.

با ذکر این مقدمه میخواهیم حالات اساسی الکترونی عناصر موسوم بخواکهای کمیاب را بشناسیم خاکهای کمیاب ابتدا در سالهای  $1794$  و  $1804$  توسط گادولین<sup>(۴)</sup> و برزلیوس<sup>(۵)</sup> و کلاپروت<sup>(۶)</sup> در بعضی سنگهای معدنی سیلیکاته و فسفات کشف شدند کاشفین اولیه در نتیجه اعمال شیمیایی روی سنگهای معدنی اجسامی خاک مانند و فاقد جلای فلزی بدست میآوردند که آنها را عنصر میدانستند ولی بعدها لاوازیه<sup>(۷)</sup> متوجه شد که آنچه بدست میآمده سزکوی اکسید عناصر جدیدی میباشد نه خود این عناصر با وجود این عنوان خاکهای نادر برای همیشه روی آنها باقی ماند.

عناصر مختلف خاکهای نادر اکثراً در سنگهای معدنی در کنار هم وجود دارند و جدا کردن املاح آنها از یکدیگر بعلت داشتن خواص شیمیایی کاملاً مشابه بطرق شیمیایی غیر مقدور است و فقط از راههای فیزیکی مثل تبلور جزء بجزء یا جذب و دفع نوینی (کروماتوگرافی) میتوان املاح خالص هر عنصر را تهیه کرد. امروزه تحت عنوان خاکهای کمیاب مجموعه چهارده فلز را میشناسند که همگی دارای خواص شیمیایی مشابه و ظرفیت سه ولی جرمهای مختلف و اعداد اتمی متوالی (از ۵۸ تا ۷۱) میباشد عنصر ۵۷ یعنی لانتان<sup>(۸)</sup> را با وجود ساختمان اتمی متفاوت و عناصر اسکاندیوم<sup>(۹)</sup> و ایتریوم<sup>(۱۰)</sup> را که از نظر جرم و عدد اتمی خیلی از این خانواده دورند بعلت تشابه خواص معمولاً جزء خاکهای کمیاب بررسی میکنند این هفده عنصر را بر حسب قابلیت انحلال سولفات مضاعف آنها با پتاسیم بسه گروه تقسیم کرده اند:

۱ - خاکهای سریک<sup>(۱۱)</sup> با سولفات مضاعف نامحلول شامل:



۱—Multiplicité

۲—Etat fondamental

۳—Doublet

۴—Gadolin

۵—Berzelius

۶—Claproth

۷—Lavosier

۸—Lanthane

۹—Scandium

۱۰—Yttrium

۱۱—Terres Ceriques

۲ - خاکهای تریتییک<sup>(۱)</sup> با سولفات مضاعف کم محلول شامل Eu—Gd—Tb .

۳- خاکهای ایتریک<sup>(۲)</sup> با سولفات مضاعف محلول شامل Dy—Ho—Er—Tm—Y—Yb , Lu

ظرفیت عمومی سه برای هفده عنصر نامبرده نشان میدهد که تمام آنها دارای سه الکترون ظرفیت (یا الکترون ایتیک) هستند ولی چون اعداد اتمی و در نتیجه تعداد کلی الکترونها آنها با هم تفاوت دارند ناچار این اختلاف باید در الکترونها طبقات زیرین موجود باشد یعنی یک یا بعضی از طبقات زیرین الکترون اشباع نبوده و ایونهای سه ظرفیتی عناصر مزبور فاقد ساختمان الکترونی یک گاز نادر باشند (عناصر سری ثانوی) این ساختمان ناقص باید در ایون خواص بخصوصی مانند تولید ترکیبات کمپلکس - رنگین بودن و پارامانیسم<sup>(۳)</sup> ایجاد کند که تماماً مرهون وجود الکترونها مجرد<sup>(۴)</sup> در ایون میباشد تجربه وجود این خواص را در ایونهای سه ظرفیتی خاکهای نادر تأیید میکند .

توضیح اینکه روی هر مدار فرعی که با سه عدد کوانتیک n و l و m مشخص میشود ممکن است دو الکترون وجود داشته باشند که جهت حرکت وضعی آنها عکس یکدیگر است :

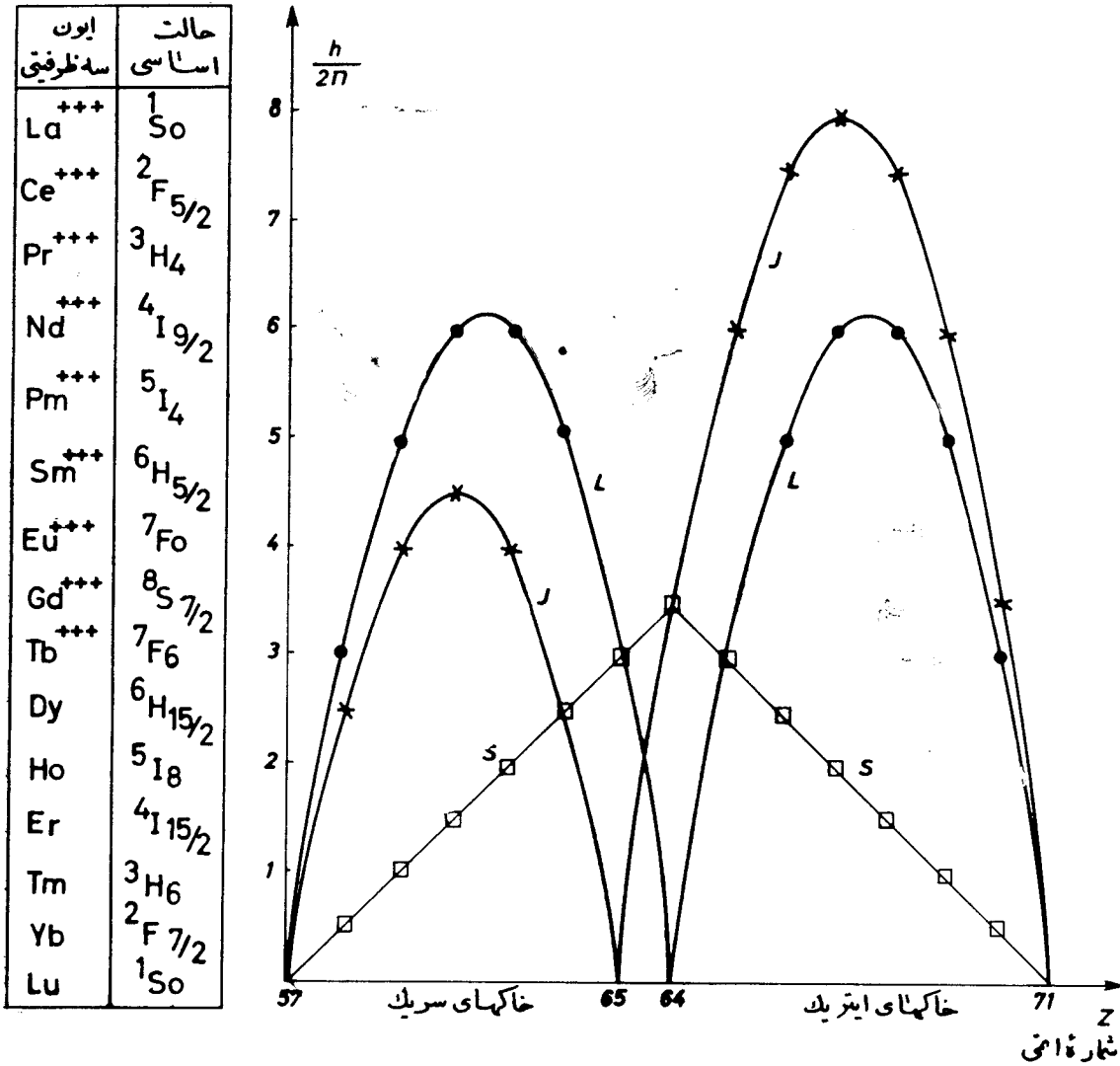
$$\left( s_2 = -\frac{1}{4} \quad \text{و} \quad s_1 = +\frac{1}{4} \right)$$

این دو الکترون را مزدوج<sup>(۵)</sup> مینامند اگر روی یک مدار فقط یک الکترون وجود داشت آنرا مجرد میگویند از طرف دیگر بعضی از عناصر این گروه علاوه بر ظرفیت عمومی سه دارای ترکیباتی با ظرفیتهای دو و چهار نیز میباشد بنابراین علاوه بر سه الکترون ظرفیت بایستی یکی از الکترونها طبقات زیرین نیز بتواند در ایجاد ظرفیت و خواص شیمیایی عنصر شرکت کند چنین ساختمان الکترونی نامنظم و مرسوم توجه بسیاری از محققین را جلب نموده تا با مطالعه طیفهای جذبی و تشعشعی ساختمان الکترونی دقیق عناصر خاکهای نادر را بشناسند اولین مطالعات و توجیه دقیق در سال ۱۹۲۷ توسط هوند<sup>(۶)</sup> روی ایونهای سه ظرفیتی خاکهای نادر انجام شد مطالعات هوند بر این پایه قرار دارد که اولاً منتجه گشت آورهای L و S و J برای الکترونها مدارهای اشباع شده برابر صفر است ثانیاً هرگاه تعداد الکترونها موجود در یک مدار فرعی کمتر از نصف تعداد لازم جهت اشباع آن مدار باشد حالت الکترونی پائین (تحریک نشده) مربوط به کوچکترین مقدار ممکنه  $\vec{J}$  بوده و مقدار عددی J برابر تفاضل L و S است  $J=L-S$  (چند گانه مستقیم<sup>(۷)</sup>) و برعکس هرگاه تعداد الکترونها بیش از نصف تعداد لازم باشد چند گانه معکوس<sup>(۸)</sup> و حالت تحریک نشده مربوط بزرگترین مقدار  $\vec{J}$  است  $J=L+S$  هر چند نتیجه محاسبات هوند با نتایج دقیقتری که بعد بدست آمد کمی اختلاف دارد ولی از نظر اینکه میتوان وی را بنیان گزار مطالعات صحیح در این زمینه دانست نتایج محاسبات او بشکل جدول

۱—Terres terbiques	۲—Terres yttriques	۳—Paramagnetisme
۴—Electron célibataire	۵—Electrons couplés	۶—Hund
۷—Multiplet direct	۸—Multiplet inverse	

و منحنی زیر ارائه میشود .

در سالهای بعد برای تجزیه و تحلیل طیف خاکهای نادر مطالعات نظری و عملی دقیقی بتوسط دانشمندانی نظیر روسل<sup>(۱)</sup> و کینگ<sup>(۲)</sup> و مگرزس<sup>(۳)</sup> و آلبرتسون<sup>(۴)</sup> و بالاخره کلینکنبرگ<sup>(۵)</sup> انجام شد اشکال عمده این مطالعات این است که اولاً طیف اتمی خاکهای کمیاب از تعداد خیلی زیادی شعاع تشکیل میشود ثانیاً پتانسیل یونیزاسیون آنها خیلی کوچک است ( حدود پنج تا هفت الکترون ولت ) در نتیجه حتی تحریکات ضعیف مثل قوس الکتریکی همیشه مخلوطی از طیفهای اتمی و ایونی ایجاد میکند که تفکیک آنها از هم بسیار



تمام حالات الکترونی فوق از راه محاسبه بدست آمده و تنها حالت ایون سه ظرفیتی سریوم  $Ce^{+++}$  برسیله تجربه ایجاد شده است .

مشکل است معذالک امکاناتی وجود دارد که این کار را تا حدودی آسان میکند مثلاً کینگ بعنوان منبع تحریک از حرارت یک کوره الکتریکی استفاده نمود مگرزس و سکرینبر<sup>(۶)</sup> ملاحظه کرده اند که افزودن حدود

۱—Russel  
۴—Albertson

۳—King  
۵—Klinkenberg

۳—Meggers  
۶—Scribner

۱۰-۲۰٪ از عناصر با پتانسیل تحریک پائین مثل سزیوم Cs شدت طیف ایونی را بطور قابل ملاحظه تخفیف میدهد با مقایسه خطوط چنین طیفی با طیف دیگری از همان عنصر که بدون افزودن سزیوم و توسط جرقه تولید شده باشد میتوان خطوط طیف اتمی و طیف ایونی را از هم تمیز داد .

همچنین هر چه عدد اتمی عنصری بزرگتر باشد طیف آن ساده تر و دارای خطوط کمتری است و ساده تر

از همه طیف عنصر آخر یعنی لوتسیوم<sup>(۱)</sup> است مگر س ملاحظه نمود که بین شماره های موجی  $(\nu = \frac{1}{\lambda})$  شعاعهای قوی متوالی طیف لوتسیوم همیشه اختلاف ثابتی برابر  $1994 \text{ cm}^{-1}$  موجود است عدد مزبور در محاسبات اسپکتروسکوپی برای حالت اساسی اتم لوتسیوم LuI نمایش الکترونی  $4f^{14}5d^16s^2$  یا حالت  $^2D$  را بدست میدهد ( یعنی دو الکترون در مدار  $6s$  و یک الکترون در مدار  $5d$  و چهارده الکترون  $4f$  ) وی بهمین ترتیب برای حالت اساسی لوتسیوم یکبار یونیزه شد Lu II نمایش الکترونی  $4f^{14}6s^2$  یا  $^1S$  و برای لوتسیوم دوباره یونیزه شده Lu III نمایش  $4f^{14}6s$  یا حالت  $^2S$  را بدست آورد مگر س در نتیجه مطالعات خود متوجه شد که هر چند مدار  $4f$  برای اشباع شدن از الکترون تمایل بیشتری از مدار  $5d$  نشان میدهد معذالک نمیتوان اختلاف تمام عناصر مختلف خاکهای کمیاب را فقط در پر شدن تدریجی و مرتب مدار  $4f$  دانست چه در این صورت فقط عنصر گادولینیوم Gd باید در مدار  $4f$  هفت الکترون داشته باشد در صورتیکه مطالعات طیفی برای عنصر سابق یعنی اروپیم Eu نیز هفت الکترون  $4f$  نشان میدهند و چهارده الکترون  $4f$  که باید مخصوص لوتسیوم Lu باشد برای عنصر ایتربیوم Yb نیز دیده میشود .

محققین دیگری طیف عنصر ۶۱ یعنی پرومیتیم Pm یا اپلینیوم II<sup>(۲)</sup> را مطالعه و در فاصله ۲۳۳۷ تا ۶۸۷۲ آنگستروم در حدود ۲۲۰ شعاع یافته اند که اکثر آنها را به ایون پروتیم Pm II نسبت میدهند بعلاوه چون پروتیم رادیوآکتیف بوده ضمن یک فعل و انفعال  $\beta^-$  به عنصر ساماریوم Sm تبدیل میشود در طیف آن همیشه خطوط مربوط به ساماریوم نیز وجود دارد و با مقایسه شدتهای خطوط معینی از طیف پروتیم که در دو نوبت در فاصله زمانی معینی ثبت شده باشند میتوان نیمه عمر رادیوآکتیویته آنها را بدست آورد کاملترین و دقیقترین مطالعاتی که تا کنون برای شناسائی ساختمان الکترونی خاکهای کمیاب انجام شده متعلق به کلینکن برگ<sup>(۳)</sup> است وی برای حالت اتمی و حالت ایونی ( اولین ایونیزاسیون ) چهارده عنصر فوق نمایش الکترونی دقیقی پیشنهاد نموده است که هم با نتایج تجربیات حرارتی کینگ و هم با مطالعات دقیق طیفهای جذبی و تشعشعی که محققین دیگر انجام داده اند مطابقت دارد .

در سالهای اخیر محققین زیادی با اتکاء به نتیجه کارهای کلینکن برگ در زمینه های دیگر طیف خاکهای کمیاب مثلاً اثر زیمان<sup>(۴)</sup> که تبدیل بعضی خطوط طیفی چند مؤلفه نزدیک بهم در اثر میدان مغناطیسی است یا جابجا شدن ایزوتوپی<sup>(۵)</sup> ( اختلافات خیلی کوچک در طول موج شعاع معینی از طیف که بوسیله ایزوتوپهای

۱—Lutecium

۲—Promethium—Yllinium

۳—Klinhenberg

۴—Effet zeeman

۵—Déplacement isotopique

مختلف عنصر واحدی حاصل شده‌اند ( مطالعه و موفق شده‌اند انتقالات الکترونی مولد این تشعشعات را پیدا کنند نتیجه اکثر این مطالعات با ساختمانهای پیشنهادی کلینکن برگ مطابقت کامل دارد .  
 برای جلوگیری از اطاله کلام از ذکر جزئیات صرفنظر و نتیجه مطالعات هوند و مگرس و کلینکن برگ که از کارهای دیگران اساسی تر است در جدول زیر از نظر میگذرد .

عنصر	ساختمان نظری		ساختمان تجربی					
	Hund 1927		اتم خنثی			اتم یک بار یونیزه شده		
	اتم خنثی	حالت اتمی	Meggers 1942	Klinkenberg 1947	حالت اتمی	Meggers 1942	Klinkenberg 1947	حالت اتمی
La	$4f^0 5d 6s^2$		$5d 6s^2$	$5d 6s^2$	$2D_{3/2}$	-	$5d^2$	$3F_2$
Ce	$4f 5d 6s^2$	$3H$	$4f 5d 6s^2$	$4f^2 6s^2$	$3H$	$4f^2 6s$	$4f^2 6s$	$4H_{7/2}$
Pr	$4f^2 5d 6s^2$	$4K$	$4f^2 5d 6s^2$	$4f^3 6s^2$	$4I$	$4f^3 6s$	$4f^3 6s$	$5I_4$
Nd	$4f^3 5d 6s^2$	$5L$	$4f^4 6s^2$	$4f^4 6s^2$	$5I$	$4f^4 6s$	$4f^4 6s$	$6L_{7/2}$
Pm	$4f^4 5d 6s^2$	$6L$	$4f^5 6s^2$	$4f^5 6s^2$	$6H$	-	$4f^5 6s$	$7H$
Sm	$4f^5 5d 6s^2$	$7K$	$4f^6 6s^2$	$4f^6 6s^2$	$7F$	$4f^6 6s$	$4f^6 6s$	$8F_{1/2}$
Eu	$4f^6 5d 6s^2$	$8H$	$4f^7 6s^2$	$4f^7 6s^2$	$8S_{7/2}$	$4f^7 6s$	$4f^7 6s$	$9S_4$
Gd	$4f^7 5d 6s^2$	$9D$	$4f^7 5d 6s^2$	$4f^7 5d 6s^2$	$9D_2$	$4f^7 5d 6s$	$4f^7 5d 6s$	$10D_{5/2}$
Tb	$4f^8 5d 6s^2$	$8H$	$4f^8 5d 6s^2$	$4f^8 5d 6s^2$	$8H$	-	$4f^8 5d 6s$	$8H$
				$4f^9 6s^2$	$6H$	-	$4f^9 6s$	$7H$
Dy	$4f^9 5d 6s^2$	$7K$	$4f^{10} 6s^2$	$4f^{10} 6s^2$	$5I$	-	$4f^{10} 6s$	$6H$
				$4f^9 5d 6s^2$	$7K$	-	$4f^9 5d 6s$	$8K$
Ho	$4f^{10} 5d 6s^2$	$6L$	$4f^{11} 6s^2$	$4f^{11} 6s^2$	$4I$	-	$4f^{11} 6s$	$5I$
				$4f^{10} 5d 6s^2$	$6L$	-	$4f^{10} 5d 6s$	$7L$
Er	$4f^{11} 5d 6s^2$	$5L$	$4f^{12} 6s^2$	$4f^{12} 6s^2$	$3H$	-	$4f^{12} 6s$	$4H$
				$4f^{11} 5d 6s^2$	$5L$	-	$4f^{11} 5d 6s$	$6L$
Tm	$4f^{12} 5d 6s^2$	$4K$	$4f^{13} 6s^2$	$4f^{13} 6s^2$	$2F_{7/2}$	$4f^{13} 6s$	$4f^{13} 6s$	$3F_4$
Yb	$4f^{13} 5d 6s^2$	$3H$	$4f^{14} 6s^2$	$4f^{14} 6s^2$	$1S$	$4f^{14} 6s$	$4f^{14} 6s$	$2S_{1/2}$
Lu	$4f^{14} 5d 6s^2$	$2D$	$4f^{14} 5d 6s^2$	$4f^{14} 5d 6s^2$	$2D_{3/2}$	$4f^{14} 6s^2$	$4f^{14} 6s^2$	$1S_0$

از آنچه تا کنون باختصار ذکر شد نتایج کلی زیر حاصل میشود :

- I — تعداد الکترونهاى اپتيك خاكهاى كيمياى ممكن است از يك تا هشت تغيير كند و هر نمايش الکترونى ميتواند شامل يك تا چهار نوع مختلف الکترون باشد .
- II — هر چه تعداد الکترونهاى يكه در نمايش يك حالت اتمى شركت دارند بيشتر باشد تنوع حالات و عده ترازاى ممكنه بيشتر است مثلاً اگر نمايش الکترونى فقط شامل يك الکترون  $f$  باشد دوترازو براى دو الکترون  $fs$  چهارتراز - براى سه الکترون  $f^2s$  بيست و چهارتراز - براى چهار الکترون  $f^2p.s$  صدوسى و چهار و براى  $f^2dp$  سيصدوسى و چهار ترازانرژى مختلف موجود است .
- III — در اولين ايونيزاسيون هميشه يك الکترون  $6s$  خارج ميشود جز در مورد لوتسيوم كه اولين ايونيزاسيون بخرج الکترون  $od$  انجام ميگيرد .
- IV — ظرفيت عمومى سه خاكهاى كيمياى مربوط به دو الکترون  $6s$  و يك الکترون  $od$  ميباشد در مورد عناصرى مانند  $Ce$  و  $Pr$  و  $Nd$  كه تركيبات چهار ظرفيتى وجود دارد ابتدا يكي از الکترونهاى مدار  $f$  بمدار  $od$  منتقل و سپس همراه سه الکترون والانس از اتم جدا ميشود ولى براى عناصر بعدى كه تعداد الکترونهاى مدار  $f$  زياد شده و بحالت اشباع نزديك ميشود خروج يكي از اين الکترونها باشكال صورت ميگيرد و تهيه تركيبات با ظرفيت چهار تقريباً غيرمقدور است .
- V — علت رنگين بودن ايونهاى سه ظرفيتى خاكهاى نادر كه فاقد الکترونهاى والانس  $6s^2$  و  $od$  هستند وجود الکترونهاى مجرد در مدار  $f$  است كه حتى با جذب فوتونهاى ضعيف نور مرئى از سجل خود منتقل ميشوند ولى ايونهاى سه ظرفيتى لانتان  $Lu^{+++}$  كه الکترون  $f$  ندارد و  $Lu^{+++}$  كه تمام الکترونهاى  $f$  آن مزدوج هستند بيرنگ ميباشند .
- همچنين پارامانيتيسم اين اسلح مربوط بوجود همين الکترونهاى مجرد است و گشت آور مغناطيسى ايون با تعداد الکترونهاى مجرد  $f$  زياد شده سپس بتدريج كه الکترونها باهم مزدوج ميشوند گشت آور كم ميشود براى ايونهاى لانتان و لوتسيوم گشت آور مغناطيسى صفر و پارامانيتيسم نامشهود است .
- نظر باینكه در ايونهاى سه ظرفيتى الکترونهاى مجرد  $f$  بوسيله مدارهاى كامل  $os^2$  و  $op^6$  پوشيده و محافظت ميشوند خواص مغناطيسى ايون از تأثير متقابل ايونها و اتمهاى مجاور در امان است .
- VI — وجود الکترونهاى مجرد  $f$  به ايونهاى خاكهاى نادر امكان كووالانس و تشكيل تركيبات كمپلكس ميدهد تعداد كووالانس طبق قاعده كلى برابر تعداد الکترونهاى مجرد است ولى پايدارى تمام كمپلكس هاى يك عنصر يكسان نيست .
- براى بسيارى از اين عناصر تا كنون كمپلكس هاى آلئى مختلف مانند سري تارترات پتاسيم و كمپلكسهاى معدنى مختلف مثل كمپلكس هاى سولفيديك شناخته شده ولى براى آنها كه مدار  $f$  اشباع و فاقد الکترون مجرد است تركيب كمپلكس بدست نيامده است .
- نظر باینكه بحث طولانى تر درباره عناصر خاكهاى كيمياى از حدود يك مقاله خارج است مطالب را بهمين جا ختم کرده از خوانندگان گرامى براى اختصارات زيادى كه بكار رفته معذرت ميخواهد .



## فهرست منابع

- 1— W. Meggers—J. Opt. Soc. 21,157 (1941)
- 2— A. King—Rev. Mod. Phys. 14,96 (1942)
- 3— Pascal—Traité de Chimie générale, tome VI. Dunod Paris
- 4— H.N. Russell—Astrophys. J. 96,11 (1942)
- 5— Meggers—Science 105,514 (1942)
- 6— Klinkenberg—Physica 11,325 (1945) 11,419 (1946) 12,33 (1946)
- 7— W. Meggers, B.F. Scribner, W.R. Bozman—J. of National Bureau of Standard 46-2 Feb. 1951/19-31 (1937)
- 8—Klinkenberg—Physica-21,53 (1955)