

Persian CPH E-Book  
**Theory of CPH**

Section Ten

Effective Nuclear Charge

نیروی الکتریکی موثر هسته بر الکترونها

*Hossein Javadi*

*Azad University, Tehran, Iran*

[Javadi\\_hossein@hotmail.com](mailto:Javadi_hossein@hotmail.com)

فهرست مطالب

مقدمه

قاعده ی استیلر

روش کلمنتی و ریموندی

پایه نظری برای نیروی الکتریکی موثر هسته

دیدگاه سی. پی. اچ.

نیروی الکتریکی موثر هسته و سی. پی. اچ.

اثر کامپتون در ساختمان اتم

## نیروی الکتریکی موثر هسته بر الکترونها

### مقدمه

نیروی الکتریکی موثر هسته، نیرویی است که از طرف هسته به یک الکترون در مدار اتم وارد می شود. تصور رایج این است که این نیرو برای تمام الکترونهاي یک اتم برابر و مضربی از نیروی وارد از یک پروتون به یک الکترون با توجه به فاصله آنها است. اما واقعیت این نیست.



نیروی الکتریکی ناشی از هسته که الکترون حس می کند کمتر از نیروی الکتریکی پروتون در عدد اتمی است

به عنوان مثال فرض کنیم هسته ی اتم هیدروژن یک واحد نیروی الکتریکی به الکترونی که در این اتم قرار دارد، وارد می کند. اگر این نیرو ثابت باشد، در اتم هلیوم که دو پروتون وجود دارد، به هر الکترون بایستی دو واحد نیروی الکتریکی از هسته ی همان اتم وارد شود. اما اینطور نیست و هر الکترون در اتم هلیوم نیرویی تقریباً برابر 1.7 واحد احساس می کند. یعنی کمتر از مقداری که دو پروتون باید وارد کنند. در فیزیک مدرن هیچ یایه نظری برای آن وجود ندارد. اما نظریه سی. پی. ایچ. با استفاده از تبدیل نیرو به انرژی و بالعکس آن را توجیه می کند.

### قاعده ی استیلر

برای اولین بار استیلر در دهه ی 1930 یک قاعده برای محاسبه نیروی الکتریکی موثر هسته ارائه داد. طبق این قاعده می توان نیروی الکتریکی موثر هسته، وارد به هر الکترون را در تمام اتمها حساب کرد. برای محاسبه نیروی الکتریکی موثر رابطه ی زیر را در نظر بگیرید:

$$Z^* = Z - S$$

نیروی الکتریکی موثر هسته

$Z^*$

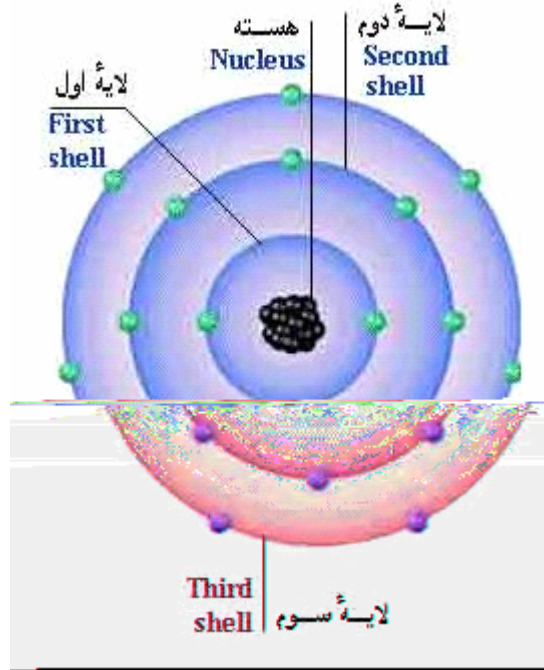
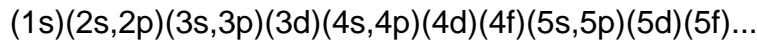
تعداد پروتونها - عدد اتمی

$Z$

عدداستیلر

$S$

با توجه به قاعده استیلر باید با در نظر گرفتن مکان الکترون در اتم که از رابطه زیر به دست می آید، عوامل موثر در کاهش نیروی الکتریکی هسته را شناسایی کرد.



نخست باید به موقعیت الکترون مورد نظر در ساختمان اتم توجه داشت. الکترون های سمت راست هیچ تاثیری در محاسبات ما ندارند، زیرا نیرویی که از هسته وارد می شود قبل از آنکه به الکترونهاي سمت راست برسد، اثر خود را اعمال کرده است. برای الکترونهاي سمت چپ به روش زیر عمل می کنند:

For 1s

$$S=0.3$$

For electron in s or p, when  $n>1$

$$S = 1.00 N_2 + 0.85 N_1 + 0.35 N_0$$

$N_2$  تعداد الکترونها در دو لایه قبلی  
 $N_1$  تعداد الکترونها در لایه ی قبلی

$N_0$  تعداد الکترونها در لایه مربوط به الکترون مورد نظر

مثال:

Example: atom As, electron in 3d

As has 33 protons;

مدار	کاهش نیرو
$1s^2$	$2 \times 1 = 2$
$2s^2, 2p^6$	$8 \times 1 = 8$
$3s^2, 3p^6$	$8 \times 0.85 = 6.8$
$2d^{10}$	$10 \times 0.35 = 3.5$
Total	$S = 20.3$

$$Z^* = Z - S = 33 - 20.3 = 12.7$$

### روش کلمنتی و ریموندی

کلمنتی و ریموندی در دهه ی 1960 روی نیروی الکتریکی موثر هسته کار کردند. زیرا با پیشرفتهایی که در مکانیک کوانتوم انجام شده بود و دقت و سائل آزمایشگاهی بالا رفته بود، کلمنتی و ریموندی با استفاده از تابع موج، طیف اتمی هیدروژن و کریپتون را مطالعه کردند. این مشاهدات نشان داد که نیروی موثر الکتریکی هسته از قاعده استیلر تبعیت نمی کند.

ایشان یک مدل ریاضی برای نیروی الکتریکی موثر هسته ارائه کردند. بر اساس این مدل که با طیف اتمها و مولکولهای مورد بررسی سازگار بود، نتایج با قاعده استیلر اختلاف داشت. برای نمونه، با روش کلمنتی و ریموندی برای مثال قبل نتیجه ی زیر به دست می آید:

$$\text{As, } 3d, Z^* = 17.378$$

که با نتایج روش استیلر 12.7 تفاوت چشمگیری داشت.

### پایه نظری برای نیروی الکتریکی موثر هسته

آنچه که در اینجا شایان توجه است، این است که هر دو روش یاد شده مبتنی بر آزمایش و بررسی طیف اتمها و مولکولها است. و فاقد یک پایه ی نظری می باشد که چرا نیروی الکتریکی موثر هسته باید کاهش یابد. اگر از دیدگاه مکانیک کلاسیک به این مسئله نگاه کنیم، چنین تغییری قابل توجیه نیست. زیرا در مکانیک کلاسیک کنش از راه دور انجام می شود و محیط انتقال نبایستی روی نیرو موثر باشد. از دیدگاه مکانیک کوانتوم هم نمی توان این پدیده را توجیه کرد. زیرا در مکانیک کوانتوم فوتون های مجازی که نیروی الکتریکی را حمل می کنند و با فرض اینکه هسته ی اتم هلیوم دو فوتون بطرف هر یک از الکترونهاي خود ارسال می کند، این فوتونها بایستی بطور کامل به الکترونها رسیده و نیرویی برابر 2 واحد به آنها اعمال کنند. در حالیکه نیروی موثر اعمال شده تقریباً 1.7 واحد است.

حال باید دید چه اتفاقی برای فوتونها روی می دهد که قسمتی از نیروی خود را از دست می دهند.

### دیدگاه سی. پی. اچ.

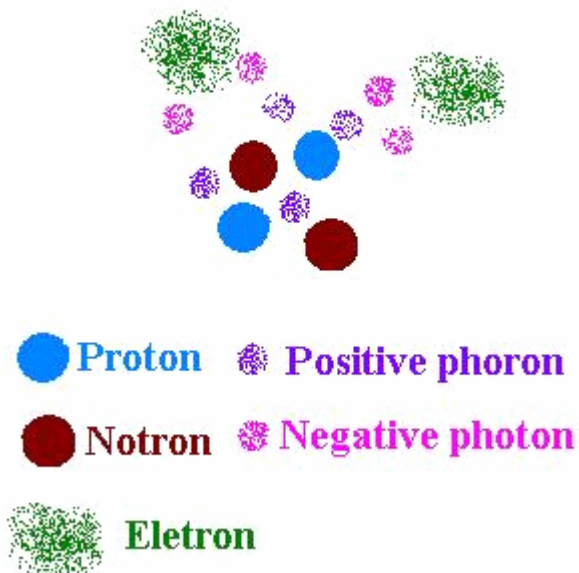
با توجه به نظریه سی. پی. اچ. دو نکته قابل توجه است. یکی تبدیل نیرو و انرژی بیکدیگر و دیگری ساختمان فوتون. بارها بر این نکته تاکید شده که از دیدگاه نظریه سی. پی. اچ. هنگامیکه جسمی را بطرف بالا پرتاب می کنیم، جسم هنگام صعود انرژی خود را از دست می دهد و این انرژی به نیرو (گراویتیونها یا بار-رنکها) تبدیل می شود و هنگام سقوط، نیرو به انرژی تبدیل می شود.

در میدان گرانشی زمین امکان چنین بررسی وجود ندارد که ببینیم وقتی که جسمی را بطرف بالا پرتاب می کنیم، شدت میدان گرانشی در این صعود چقدر تغییر می کند. اما نیروی الکتریکی موثر هسته بخوبی نشان می دهد که نیروی اعمال شده علاوه بر ذرات کنش کننده، تحت تاثیر محیط انتقال نیز می باشد.

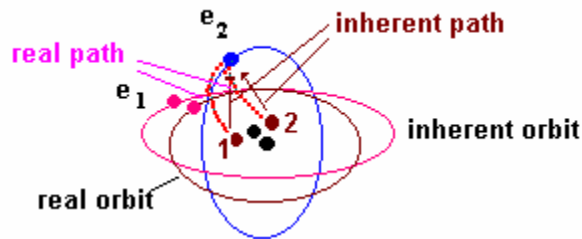
**نیروی الکتریکی موثر هسته و سی. پی. اچ.**

در نظریه سی. پی. اچ. همه ی ذرات از سی. پی. اچ. تشکیل شده اند. از جمله فوتونهای عامل انتقال نیروی الکتریکی. همچنین ذره ی باردار فوتونی را جذب می کند که از نظر الکتریکی مخالف آن باشد.

## Helium Atom



در شکل بالا نمادی از اتم هیدروژن ترسیم شده است که بطور تقریبی نشان می دهد الکترونها و فوتونهای مجازی از بار-رنگها تشکیل شده اند. فوتون در فضای بسیار کوچک اتم، با همه ی ذرات باردار تحت کنش است. در این فضای بسیار کوچک، فوتونی را در نظر بگیرید که بطرف الکترون در حرکت است. این فوتون موجب انحراف الکترون دیگر می شود و بهمین ترتیب، خود فوتون نیز از مسیر هدف منحرف می شود. شکل زیر



$$Fw_1 + Fw_2 = Ee \text{ for changing orbit}$$

$$Ee = Ee_2 - Ee_1, Ee_2 = \text{energy on real path}$$

$$Ee_1 = \text{energy on inherent path}$$

$$Fz^* = Fz - (Fw_1 + Fw_2)$$

در حقیقت مسیر حرکت فوتون مستقیم و از طرف پروتون بطرف الکترون نیست. (هرچند که خود الکترون نیز در یک جا ثابت نیست، اما این در بحث ما تاثیر ندارد). در این فرایند تأثیری که الکترون بعدی روی فوتون دارد، این است که تعدادی از بار-رنگهای آن را خارج کرده و بطرف خود می کشد. در نتیجه فوتون با تعداد بار-رنگ کمتری به الکترون هدف می رسد.

همچنانکه در شکل بالا دیده می شود، دو پروتون هسته ی هلیوم، هریک، یک فوتون (حامل نیروی الکتریکی) می فرستند که بطرف الکترون 2 حرکت می کنند. این دو الکترون مسیر حرکت الکترون شماره یک را تغییر می دهند. و الکترون روی مدار جدید حرکت خواهد کرد که مدار واقعی آن است، نه مداری که ما تصور می کنیم. یعنی یک جابجایی خواهد داشت. در این جابجایی مفداری کار از طرف دو فوتون روی الکترون 1 انجام می شود و انرژی آن را تغییر می دهد.

$$Fw_1 = k_1 Fg.Lp$$

کاری که فوتون 1

روی الکترون 1 انجام می دهد

$$Fw_2 = k_2 Fg.Lp$$

کاری که فوتون 2

روی الکترون 1 انجام می دهد

$$k_1 + k_2$$

تعداد بار-رنگهایی که از دو فوتون خارج می شوند. اینها به انرژی افزوده شده ی الکترون 1 تبدیل می شوند.

بنابراین فوتونهایی که به الکترون 2 می رسند، مقدار

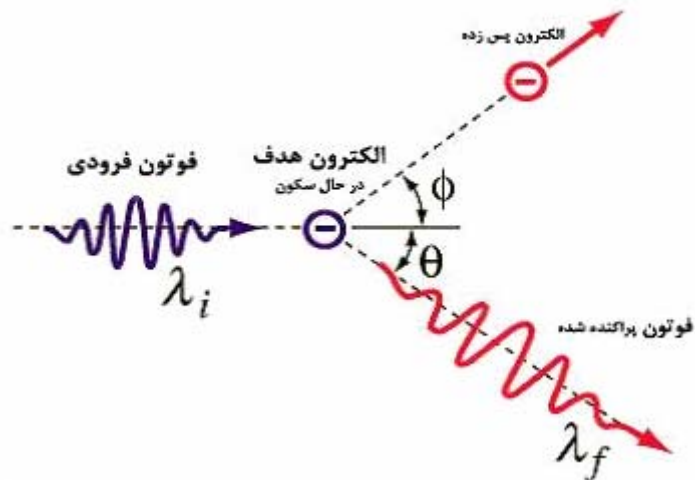
$$k_1 + k_2$$

بار-رنگ از دست داده اند. همین فرایند برای الکترون 1 نیز روی می دهد و هر دو الکترون نیروی الکتریکی کمتری احساس می کنند.

اثر کامپتون در ساختمان اتم

این پدیده نظیر اثر کامپتون هنگام برخورد فوتون و الکترون است. در اثر کامپتون فوتون فرودی قسمتی از انرژی خود را از دست می دهد و الکترون انرژی می گیرد. شکل زیر

### پراکندگی کامپتون



هنگام بررسی پدیده ی کامپتون با استفاده از نظریه سی. پی. اچ. گفته شد که تعدادی از بار-رنگها، ساختمان فوتون را ترک کرده و جذب الکترون می شوند. در اثر کامپتون فوتون فرودی (فوتون حقیقی) دارای انرژی الکترومغناطیسی است.

انرژی الکترومغناطیسی از سه نوع رنگ تشکیل می شود. بار- رنگ مثبت و بار-رنگ منفی (زیرا فوتون از نظر الکتریکی خنثی است) و مغناطیس-رنگ. بهمین دلیل انرژی الکترون هدف پایدار است. اما در اینجا یک تفاوت کلی وجود دارد. تفاوت در این است که فوتون مجازی تنها از یک نوع بار-رنگ تشکیل شده است.

همچنانکه در فصل 4 بحث شد، الکترون بمحض دریافت بار-رنگ مثبت، آن را باز پس می دهد. چون موجودیت الکترون بر حفظ بقای خاصیت الکتریکی ثابت آن است. در اینجا نیز همین فرایند انجام می شود. الکترون بار-رنگهای دریافتی را بسرعت باز پس می دهد و در نتیجه، انرژی و بار الکتریکی آن به حالت قبل بر می گردد. این بار-رنگها در فضا منتشر شده و پروتون برای تولید فوتون مثبت از آن استفاده کند. پروتون با متراکم کردن بار-رنگهای مثبت و انتشار آن محیط اطراف خود را از بار-رنگ مثبت تخیله می کند. اما دوباره بار-رنگهای مثبت به فضا بر می گردند و این فرایند دائماً ادامه دارد. فرایند مشابهی برای بار-رنگ منفی و الکترون وجود دارد. بنابراین نیروی الکتریکی نیز کمیتی تغییر پذیر است و هنگام عبور از یک محیط مقداری از بار-رنگهای خود را از دست می دهد. فوتون تعدادی از بار

References;

<http://www.webelements.com/>

<http://www.madsci.org/posts/archives/1067535650.Ch.r.html>

<http://www.chm.davidson.edu/ChemistryApplets/AtomicOrbitals/ZeffSize.html>