مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

۲۰ /۱۰/ ۱۳۷۹

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده علوم پایه

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد فیزیک

موضوع

اسپکتروسکوپی موسبائر ترکیب فری سیانید آهن
(راه اندازی و طیف گیری)

استاد راهنما

دکتر محبوبه هوشیار

-9125

استاد مشاور

دکتر محمد مهدی تهرانچی

نگارش

موسی الرضا محمدی

۳۱۵۲۴

سپاسگزاری

اکنون که به لطف و یاری خداوند مهربان توفیق اتمام این پایان نامه میسر شده است سزاوار است خداوند منان را شکر گزار باشم.

بر خود واجب می دانم که از راهنماییهای مشفقانه و بی دریغ سرکار خانم دکتر محبوبه هوشیار و جناب آقای دکتر محمدمهدی تهرانچی سپاسگزاری نمایم.

از کلیه دوستان در گروه لیزر و دانشکده شیمی که همواره از همکاریهای صمیمانه ایشان برخوردار بودم کمال تشکر را دارم.

۳۱۵۲۴

چکیده :

کشف اثر موسبائر، که همان جذب و نشر تشدیدی بدون پس زنی تشعشع گاما بوسیله هسته است، منجر به ارائه اسپکتروسکوپی موسبائر شد که برای بدست آوردن اطلاعاتی در زمینه فیزیک و شیمی، مانند اسپین هسته‌ای ، گشتاور چهار قطبی هسته، تغییرات شعاع هسته، تعیین ساختار مولکول و ساختار شبکه بلوری برخی مواد، تعیین خواص مغناطیسی و الکتریکی برخی بلورها و آلیاژها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در راستای اهداف این پایان نامه برای راه اندازی اسپکتروسکوپی موسبائر تلاش شد، بدین منظور قسمت‌های مختلف اسپکترومتر قدیمی موجود در آزمایشگاه تست شد و اشکالات بخشی از این اسپکترومتر بر طرف شد. برای آزمایش ، نمونه جذب کننده‌ای از ترکیب پودری فری سیانید آهن $K_3Fe(CN)_6$ ، به شکل قرص ساخته و با استفاده از چشمه Co^{57} موجود در آزمایشگاه طیف موسبائر مربوط به این ترکیب در دمای اطاق ثبت شد . نتایج حاصله با گزارشات موسبائر مربوط به این ترکیب توافق دارد.فقدان لوازم مربوط به اسپکتروسکوپی در دماهای پائین و ضعف چشمه، از محدودیتهای عملی این اسپکتروسکوپی در آزمایشگاه به شمار می‌رود، با این وجود ، با توجه به امکانات موجود در آزمایشگاه حالت جامد، امکان ساخت برخی از آلیاژهای آهن بوسیله کوره و ثبت طیف موسبائر مربوطه در دمای اتاق وجود دارد، در پایان ، ترکیب جدید $(R = Nd, sm, Gd), R_3(Fe_{1-x}Mo_x)$ ، بعنوان نمونه‌ای از این مواد برای ساخت و طیف نگاری موسبائر ، در صورت داشتن چشمه قوی ، پیشنهاد شده است.

فهر ست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه و معرفی اثر موسبائر ۱

۱-۱- پهنای خط طبیعی هایزنبرگ ۲

۱-۲- انرژی پس زنی و پهن شدگی دوپلری ۴

۱-۳- اساس کار اسپکتروسکوپی موسبائر ۸

فصل دوم- مبحث تئوری ۱۰

عامل دبای- والر ۱۲

فصل سوم- کاربردهای اسپکتروسکوپی موسبائر ۱۵

۳-۱ فیزیک هسته‌ای، فیزیک حالت جامد و شیمی ۱۵

۳-۱-۱- طول عمر حالت برانگیخته ۱۵

۳-۱-۲- اسپین هسته‌ای (I) و گشتاور چهار قطبی هسته (Q) ۱۶

۳-۱-۳- تغییرات شعاع هسته (جابجایی ایزومری δ) ۲۱

۳-۱-۴- گشتاور دو قطبی مغناطیسی هسته ۲۳

۳-۲- سایر کاربردها ۲۴

۳-۲-۱- جابجایی قرمز گرانشی ۲۵

۳-۲-۲- جابجایی شتاب ۲۶

۳-۲-۳- اندازه‌گیری ضریب شکست ۲۶

عنوان | صفحه

۳-۳- مطالعات اخیر مربوط به اسپکتروسکوپی موسبائر..... ۲۶

۳-۳-۱- اسپکتروسکوپی‌موسبائر مربوط به تک کریستال $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG)... ۲۶

۳-۳-۲- اسپکتروسکوپی مربوط به مخلوط جامد $Ce_2Fe_{17-x}Ga_x$..... ۲۸

۳-۳-۳- مطالعات موسبائر مربوط به اثر سوهان کاری بر روی .....

آلیاژ آهن- آلومینیوم 28% ۳۰

۳-۳-۴- مطالعات موسبائر مربوط به مغناطیس دائمی $Nd_{16}Fe_{76-x}Sn_xB_8$ ۳۲

۳-۳-۵- اسپکترو سکوپی موسبائر مربوط به ترکیب $GeFe_2O_x$ ۳۵

فصل چهارم- روش عملی ۳۸

۴-۱- تنظیم انرژی پرتو گاما بوسیلهٔ سرعت ۳۸

۴-۲- تحلیل گر چند کاناله..... ۴۰

۴-۳- مجموعهٔ اسپکترومتر موسبائر..... ۴۱

۴-۳-۱- آشکار ساز ۴۲

۴-۳-۲- سیستم مربوط به حرکت مکانیکی چشمه ۴۶

۴-۴- چشمه و جذب کننده ۴۷

۴-۵- اسپکترومتر موجود در آزمایشگاه ۴۸

۴-۵-۱- FHT-403 (ADC) ۴۸

۴-۵-۲- FHT-402A/B ۴۸

عنوان | صفحه

۴-۵-۳- FHT-401 ..... ۵۱

۴-۵-۴- FHT-800A ۵۱

۴-۵-۵- آشکار ساز ۵۱

۴-۵-۶- اتصالات مدار ۵۲

فصل پنجم- گزارش و روش کار ۵۳

۵-۱- مقدمات ۵۳

۵-۲- ساخت جذب کننده ۵۶

۵-۳- مشخصات شیمیایی جذب کننده ۵۷

۵-۴- نتایج آزمایش و طیف حاصله ۶۰

۵-۵- تحلیل و تفسیر طیف ۶۳

فصل ششم- نتیجه‌گیری ۶۵

۶-۱- گزارش کار بطور خلاصه ۶۵

۶-۲- مقایسهٔ یک اسپکترومتر مدرن با اسپکترومتر موجود در آزمایشگاه ۶۵

۶-۳- کالیبراسیون دستگاه ۶۷

۶-۴ موانع و محدودیتها ۶۹

۶-۵- راهبردهای آینده ۷۰

فصل اول- مقدمه و معرفی اثر موسبائر

پدیدهٔ فیزیکی که در این مبحث ، بحث خواهد شد ، اثر موسبائر (Mössbauer effect) است . کشف این اثر منجر به ارائه یک روش جدید اسپکتروسکوپی بنام اسپکتروسکوپی موسبائر (Möss-spectroscopy) شد . در این روش از جذب و نشر تشدیدی بدون پس زنی تشعشع گاما بوسیلهٔ هسته ها که همان اثر موسبائر است : برای بدست آوردن اطلاعاتی در قلمرو فیزیک و شیمی ، مانند طول عمر حالت بر انگیخته برخی هسته ها ، اسپین هسته ،گشتاور چهار قطبی هسته ، تغییرات شعاع هسته در گذار از حالت بر انگیخته به پایه و بالعکس ، تعیین ساختار مولکول ، شکل فضایی آن و ... ، استفاده می شود .

در جذب تشدیدی ،یک ماده ابتدا تشعشع را نشر و سپس با همان انرژی آن را جذب می کند . به عنوان یک مثال از جذب تشدیدی می توان به فلورسانس تشدید اتمی که مربوط به ترازهای الکترونی اتم است ، اشاره کرد . جذب تشدیدی مربوط به ترازهای هسته ای مربوط به هستهٔ یک اتم تا سال ۱۹۲۰ هنوز مشاهده نشده بود ، اما اصول هسته ای این پدیده در اوایل این سال پیش بینی شد و در سال ۱۹۵۷ رادولف موسبائر (R. Mössbauer)) بطور تجربی جذب تشدیدی بدون پس زنی مربوط به ترازهای هسته ای را مشاهده نمود و این پدیده بنام او شهرت یافت . موسبائر در سال ۱۹۶۱ جایزهٔ نوبل را برای کشف این اثر به خود اختصاص داد .

در حدود $\frac{1}{3}$ از عناصر شناخته شده (معمولاً آنهایی که سنگین تر هستند) از واپاشی رادیو اکتیو یک ایزوتوپ از همان عنصر یا عنصر متفاوت بدست می آیند ،در ابتدا هسته در حالت برانگیخته است ،بعد از یک تأخیر کوتاه از مرتبهٔ یک میلیونیم ثانیه (که طول عمر حالت برانگیخته

است) به حالت پایه برگشت داده می شود و انرژی با فرکانس بالایی را معمولاً در ناحیهٔ طیف گاما نشر می کند . در اسپکتروسکوپی موسبائر ، نشر گاما توسط یک هسته رادیواکتیو بواسطهٔ وقوع اثر موسبائر و جذب مجدد آن توسط هسته های دیگر با همان هویت بررسی می شود . برخی از این هسته ها عبارتند از : Fe^{57} ، Ni^{61} ، Zn^{67} ، Sn^{117} ، I^{127} ، I^{129} ، Xe^{131} ، Pt^{195} ، Au^{197} ،...انرژی هایی که در آنها تشعشع جذب یا نشر می شود ، بوسیلهٔ محیط شیمیایی اتم[1] جا به جا می شوند ، این جا جابجایی های انرژی توسط اسپکتروسکوپی موسبائر ، بدست می آیند و از اینها برای بدست آوردن اطلاعات فیزیکی و شیمیایی ترکیبات مختلف مربوط به این عناصر ،استفاده می شود. [۱]

قبل از پرداختن به اصول فیزیکی این پدیده ، لازم است برخی مفاهیم و تعاریف که در زیر معرفی می شوند ، توضیح داده شود :

۱-پهنای خط طبیعی هایزنبرگ

۲-انرژی پس زنی و گسترش گرمایی

۳-اساس کار اسپکتروسکوپی موسبائر

۱-۱- پهنای خط طبیعی هایزنبرگ

وقتی هسته از حالت برانگیخته به حالت پایه برمی گردد ، فوتون گامایی نشر می کند که انرژی این فوتون برابر اختلاف انرژی بین تراز برانگیخته و تراز پایه است (E_0) ، اما از آنجا که طول عمر حالت برانگیختهٔ هسته محدود است ، مطابق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ ، یک جا به جایی انرژی ΔE ، در انرژی فوتون گاما انتظار می رود ، که منجر به توزیع انرژی می شود .

۱-محیط شیمیایی اتم (هسته) ، عبارت است از ساختار بلوری یا شبکه ای که اتم در آن واقع است و همچنین مولکولها و اتمهایی که با این اتم پیوند برقرار کرده اند .

مطابق اصل عدم قطعیت می توان نوشت :

$$\Delta E \Delta T \geq h$$

حالت پایهٔ تراز هسته ای ، دارای طول عمر بی نهایت است ، لذا عدم قطعیت در انرژی حالت پایه،برابر صفر است ، ولی برای حالت برانگیخته چشمه دارای عمر متوسط τ ، از مرتبهٔ میکرو ثانیه یا کمتر است ، بنابر این توزیع انرژی تشعشع گاما پهن می شود ،اگر این پهنا با Γ نمایش داده شود. مطابق رابطهٔ عدم قطعیت بدست می آید :

$$\Gamma \tau \approx h$$

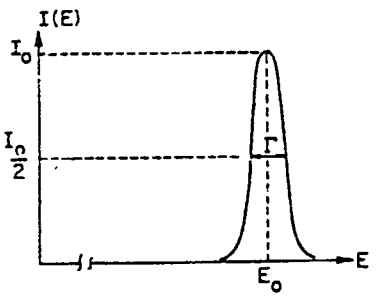
برای یک حالت بر انگیخته با طول عمر متوسط τ ، Γ از رابطهٔ زیر بدست می آید : [۲]

$$\Gamma(ev) = 6.58\times10^{16} / \ \tau\ (sec) \qquad (۱-۱)$$

فوتونهای نشر شده در یک گذار از حالت برانگیخته با طول عمر متوسط τ ، به حالت پایه ، دارای یک توزیع انرژی با شکل لورنتسی هستند ،که از رابطه زیر بدست می آید :

$$I(E) = const\frac{\Gamma}{2\pi}\frac{1}{(E-E_0)^2+\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2} \qquad (۲-۱)$$

که در اینجا، I شدت ،E انرژی بین فوتون نشر شده و E_0 محتملترین انرژی برای این فوتون است شکل توزیع بصورت زیر است :



شکل (۱-۱)، توزیع لورنتسی انرژی فوتونهای نشر شده از هسته [۲]

۱-۲- انرژی پس زنی و پهن شدگی دوپلری

وقتی یک اتم منفرد در حالت سکون که هیچ وابستگی قیدی به محیط ندارد ، مطابق شکل (۱-۲) ، فوتون گاما نشر کند ، از آنجا که فوتون دارای انرژی و اندازه حرکت است ،مطابق قوانین بقاء اندازه حرکت و انرژی ، بدست می آید :

$$P_{nucleus} = - P_{photon}$$

$$P_{photon} = \frac{E_{photon}}{C}$$

شکل (۱-۲) ، پس زنی هسته

انرژی پس زنی یا انرژی جنبشی هسته از رابطه زیر بدست می آید :

$$R = \frac{P_{nucleus}^2}{2M} = \frac{E_{photon}^2}{2MC^2} \qquad (۱-۳)$$

اگر E_0 انرژی برانگیختگی تراز هسته ای باشد ،از آنجا که $R \ll E_0$ ،بطور تقریبی بدست می آید :

$$R \approx \frac{E_0^2}{2MC^2} \qquad (۱-۴)$$

که در نهایت به معادلهٔ عددی زیر منجر می شود :

$$R(ev) = 5.37 \times 10^{-4} E_0^2 (kev) / A \qquad (۱-۵)$$

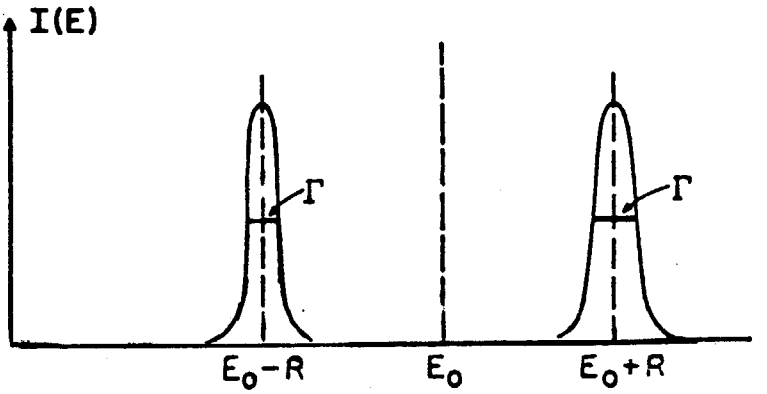
که در اینجا ، A عدد اتمی هستهٔ واپاشی کننده است .

بر طبق بقای انرژی برای نشر و جذب می توان نوشت :

$E_{photon} = E_0 - R$ نشر

$E_{photon} = E_0 + R$ جذب

لذا شکل توزیع انرژی مربوط به نشر و جذب برای یک اتم منفرد بصورت زیر است :



شکل (۱-۳)،توزیع انرژی فوتونهای نشر و جذب برای یک اتم منفرد

هسته‌ها در اجسام با حالت گازیا جامددرحالت سکون نیستندو با سرعتهای زیادی حرکت می‌کنند. سرعت حرکت هسته را می‌توان از معادلات کلاسیکی بدست آورد، انرژی جنبشی یک اتم، بوسیلهٔ رابطهٔزیر داده می شود : [۲]

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m V_0^2 = \frac{3}{2} KT \qquad (۶-۱)$$

T بر حسب کلوین و K ثابت بولتزمن $K= 8.62 \times 10^{-5}$ ev/k است .

در دمای اتاق ، سرعت ها در حدود چند صد متر بر ثانیه (m/sec) هستند ، چنین سرعتی منجر بـه یک جابه جایی در انرژی ، بواسطهٔ اثر دوپلر می شود ، که به آن پهن شدگی دوپلری گفته می شود.

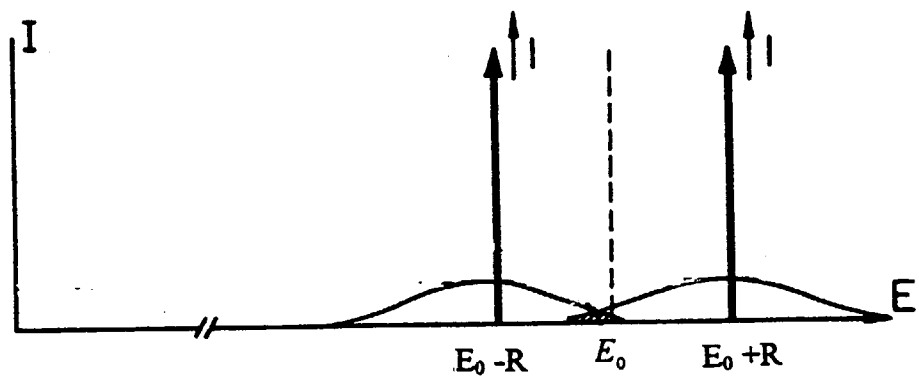
انرژی تشعشع گامای نشر شده بوسیلهٔ یـک چشـمهٔ متحـرک (هسـتهٔ متحـرک) بـا مولفـهٔ سرعت V_r در جهت نشر ، به اندازهٔ ΔEجا به جا می شود :

$$\Delta E = \frac{V_r}{C} E_0 \qquad (۷-۱)$$

در چشمهٔ گازی جهت سرعت اتم نشر کننده ، بطور اتفاقی(کاتوره‌ای)نسبت به راستای چشمه جذب کننده تغییر می کند ،سرعت در راستای تابش از V_0- تا V_0 + تغییر می کند ، بدین ترتیب شکل خط مشاهده شده ،که مربوط به تعداد زیادی اتم واپاشی کننده است ، مطابق رابطهٔ زیر پهن می شود:

$$D \approx 2\frac{V_0}{C}E_0 \qquad (۸-۱)$$

بعنوان یک مثال برای ، E_0=66 kev ، A=100 وT=300K، این پهن شدگی در حدود0.1ev است که از همان درجهٔ بزرگی R است ، بواسطهٔ این پهن شدگی ، توزیع های شکل (۱-۳) بصورت شکل (۱-۴) تغییر می یابند و همپوشی می کنند :



شکل (۱-۴) ، همپوشی توزیعهای نشر و جذب بواسطه پهن شدگی دوپلری [۲]

در یک جامد ،اتم نشر کننده یا جذب کننده در محل خود ، در شبکهٔ کریستالی نوسان می کند ،فرکانس نوسانی در محدودهٔ متوسط ،از درجهٔ 10^{12}HZ است ، از آنجا که دورهٔ زمانی مربوط به این نوسان ، در مقایسه با طول عمر حالت برانگیخته ، بسیار کوچک است ، متوسط جابه جایی هسته در طول عملیات موسبائر صفر است ،با این وجود ، اگر معادلهٔ نسبیتی اثر دوپلر ،در نظر گرفته

شود ، برای هسته ای که با سرعت V حرکت می کند ، فرکانس مشاهدهٔ ν' برای یک فوتون نشر شده بصورت زیر است :

$$\nu' = \nu(1-\frac{V}{C})(1-\frac{V}{C})^{-1} \qquad (۹-۱)$$

$$\nu' = \nu\left(1-\frac{V}{C}\right)\left(1+\frac{V^2}{2C^2}\right)$$

که در اینجا ν فرکانس تابش از هستهٔ در حال سکون است .

ν' ، شامل دوجمله از V و V^2 است ، جملهٔ درجهٔاول ،یک تابع از سرعت نوسانی هسته در شبکه در جهت تشعشع گاما است که همانطور که اشاره شد ، متوسط آن روی طول عمر حالت برانگیخته صفر است . جملهٔ درجهٔ دوم ،از مرتبهٔ V^2 است و متوسط آن صفر نیست ، این جمله به‌جابجایی دوپلری درجهٔ دوم معروف است . این جابجایی دوپلری منجر به پهن شدگی خطوط نشر و جذب در جامد می شود . برای فرکانس مشاهده شدهٔ ν' از یک فوتون نشر شده از هسته در شبکهٔ جامد با حذف شدن جملهٔ درجهٔ اول مربوط به V ،بدست می آید :

$$\nu' = \nu\left(1+\frac{\langle V^2\rangle}{2C^2}\right) \qquad (۱۰-۱)$$

و از آنجا جابجایی انرژی در خطوط نشر و جذب ،بوسیله رابطهٔ زیر داده می شود :

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{\delta\nu}{\nu} = -\frac{\langle V^2\rangle}{2C^2} \qquad (۱۱-۱)$$

با استفاده از مدل های شبکه ای حالت جامد ،برای دماهای بالا بدست می آید :

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{\delta\nu}{\nu} = -\frac{3}{2}\frac{RT}{MC^2} \qquad (۱۲-۱)$$

در یک جامد ،چون اتمها در شبکه جامد . مقید هستند ،انرژی پس زنی R به میزان قابل توجهی کاهش می یابد از طرفی بدلیل پهن شدگی ،خطوط نشر و جذب در منطقه ای با هم همپوشی می کنند ، در این منطقه ، این امکان وجود دارد که یک اتم گامایی تابش

کند که توسط یک اتم (هسته)مشابه دیگر جذب شود ،یعنی در اصل جذب تشدیدی صورت بگیرد، بدیهی است که هر چه نیروهای قیدی نگهدارندهٔ اتم در شبکه ،قوی تر باشند ،انرژی پس زنی R کوچکتر خواهد بود ، به عبارت دیگر هنگامی که نشر یا جذب توسط یک هسته صورت می گیرد ،جرم کل شبکه پس زده می شود ، لذا مطابق رابطهٔ (۱-۴) ، اگر به جای جرم اتم در این رابطه ،جرم شبکه قرار داده شود ، مقدار R کاهش می یابد . بواسطهٔ پهن شدگی ،شدت خطوط (ارتفاع خطوط) نشر و جذب به شدت کاهش پیدا می کند ،با توجه به رابطهٔ (۱-۶) با کاهش دما ،سرعت اتمها کاهش می یابد ، در نتیجه از پهن شدگی زیاد جلوگیری می شود . نهایتاً اگر برای یک چشمه ، آثار پس زنی و گرمایی حذف شود ، انرژی فوتون گامای مربوط به تابش این چشمه ، دارای یک توزیع لورنتسی با پهنای خط طبیعی هایزنبرگ است و در حقیقت تابشی تک رنگ با درجهٔ خلوص بسیار بالا ($\Gamma/E_0 \approx 10^{-12}$) بدست می آید .

در میان رویدادهای جذب ونشر تشدیدی ،در منطقه همپوشی خطوط جذب و نشر ، تعدادی از این رویدادها بدون پس زنی هسته صورت می گیرند که همان اثر موسبائر است ، احتمال وقوع اثر موسبائر در مبحث تئوری محاسبه می شود .

۱-۳- اساس کار اسپکتروسکوپی موسبائر

همانطور که در بخش (۱-۲) اشاره شد ، درمیان فوتونهای نشر شده از یک چشمهٔ جامد ، تعدادی ناشی از وقوع پدیدهٔ نشر بدون پس زنی می باشد ، در اسپکتروسکوپی موسبائر ازاین فوتونها به عنوان یک مبداء سنجش استفاده می شود ، بدین صورت که این تابش ، با جذب کننده ای از جنس همان مادهٔ چشمه ، که از نظر محیط شیمیایی با چشمه تفاوت دارد ، برخورد می کند ، این اختلاف

در محیط شیمیایی ، باعث ایجاد جابجایی های در انرژی های جذب ، در جذب کننده می شود ،بنابراین جذبی صورت نمی گیرد ،ولی با حرکت چشمه و جذب کننده نسبت به یکدیگر با استفاده از اثر دوپلر این جابجایی های انرژی جبران می شود و جذب صورت می گیرد و در طیف بدست آمده ، در سرعتهایی که جذب صورت می گیرد ، پیک هایی مشاهده می شود، با تشریح این پیک ها واستفاده از مدل های تئوری ، محیط شیمیایی هسته جذب کننده، توصیف می شود[۳و۲] .