مطالعه برخورد ذرات پرانرژی باهسته اتم

نوشته :

دکتر حسن رضائی دلفی

موسسه علوم و فنون هسته‌ای - دانشگاه تهران

چکیده :

هرگاه یک‌ذره باانرژی خیلی زیاد باهسته‌اتم برخورد کند، بخاطر حرکت سریعش می‌تواند یک تصویر لحظه‌ای ازمواد داخلی هسته تولید کند. مطالعه وبررسی این تصویر لحظه‌ای اطلاعات نوینی را در مورد ساختمان هستهٔ اتم در اختیار ما می‌گذارد. بنظر میرسد که‌در داخل هسته‌اتم در زمانی بسیارکوتاه بجای پروتون ونوترون‌ذرات عجیبی از نوع Δ وغیره می‌توانند وجود داشته باشد.

۱ـ مقدمه :

از مطالعه مسئله برخورد ذرات پرانرژی‌باهستهٔ‌اتم میتوان اطلاعات فراوانی در مورد ساختمان هسته بدست آورد. درگذشته دراین زمینه الکترونها وپروتونهای پرانرژی بکار برده شده‌اند تاتوزیع باروماده‌را در داخل هسته بررسی کنند. دراین مورد الکترونها بیشتر برای اندازه‌گیری توزیع بار بوده‌اند وذراتی دیگر ازنوع پروتونها که‌دارای اثرات متقابل‌قوی با نوکلئونها میباشند، اطلاعات لازم در مورد توزیع نوکلئونها در اختیار گذارده‌اند.

امروزه با در دسترس بودن ذرات باانرژی خیلی زیاد که‌از شتاب دهنده‌ها خارج میشوند و مطالعهٔ اثرات متقابل آنها باهسته میتوان انتظار اطلاعات خیلی جالبی را داشت. مادراین جا ببررسی دقیق‌این اثرات متقابل قوی می‌پردازیم که نظریه وجودذرات عجیب در داخل هسته را بمیان می‌کشد وامیدمیرودارائه‌این مطلب گامی باشد در راه شناخت نیروی - هسته‌ای.

۲ـ نظریهٔ وجود ذرات عجیب درهسته :

ذرات باردار تولیدشده در شتاب دهنده‌ها،اگر بقدرکافی عمر این را داشته‌باشند که بیایند ودر ماده‌بمانند غالباً اثرات متقابل جالبی‌رانشان میدهند، بخصوص ذرات بابار منفی، ممکنست آنهاواقعاً بمدارهای اتمی‌هسته‌ها بروند ویک‌نوع اتم‌های مجازی‌تشکیل‌دهند[1]. اتم‌های مجازی تشکیل‌شده باذرات μ^- و π^- و Σ^-وغیره درگذشته مطالعه‌شده‌اندواطلاعات فراوانی در مورد توزیع‌بار وماده در هسته‌اتم در اختیارگذارده‌اند. در دنبالهٔ این بحث درمورد سرنوشت این ذرات که دارای اثرات متقابل قوی در مدارهای اتمی ودر داخل هسته میباشند[2]،گوئیم‌نوکلئونها می‌توانند در حالات تحریکی وجود داشته باشند که‌اینها گروه‌بندی شده‌اند ومهمترین‌اینهاعبارتندازذرات عجیب Λ ، Σ ، Δ و Ω که‌خودگروه خاصی از ذرات بنیادی

را تشکیل میدهند. حال گوئیم عیناً مانند پروتون ونوترون ،برخی ازاین نوکلئونهای تحریک شده وشاید تمام آنها میتوانند بهستهٔ اتم بسته گردند وچیزی بنام پاراهسته را بوجود آورند. بهترین مثال دراین موردهسته‌ای بایک Λ است که‌سالها قبل‌توسط دو دانشمند لهستانی کشف شده بود. میتوان گفت که یک نیروی جاذبه برد کوتاه بین Λ و نوکلئون وجود دارد. بادر نظرگرفتن‌بقاء اعداد کوانتومی شاید بتوان‌گفت که تبادل‌یک مزون K بین Λ ونوکلئون است که‌این نیروی‌برد کوتاه را بوجود میآورد. البته نیروی مذکور باندازهٔ کافی‌قوی‌نیست که یک حالت‌وابسته پروتون ـΛ یا نوترون ـΛ رابدست دهد ولی برای هسته‌های سنگین‌تر از دوترون ،Λ می‌تواند بهسته بسته‌گردد ویک‌هی‌پر هسته سنگینترا بوجود آورد :

$$_1H + \Lambda \longrightarrow {}^3H_\Lambda$$

این موضوع را میتوان عمومیت داد باگفتن اینکه بهرهستهٔ پایدار می‌توان یک Λ اضافه کرد وهسته دیگری بدست‌آورد که دوباره می‌تواند ذره پایدار باشد ، حتی برخی‌از هسته‌های ذره ناپایدار می‌توانند با جذب یک Λ دوباره ذره پایدارگردند، بهترین مثال دراین مورد هسته ذره ناپایدار He^5 است که باگرفتن یک ذره Λ تشکیل کر $_\Lambda He^6$ را میدهد که هسته‌ای پایدارتر می‌باشد .

دراین مورد حال سئوالات فراوانی وجود دارد ،مثلااینکه چگونه یک ذره Λ در پتانسیل هسته‌ای حرکت می‌کند؟آیا این حقیقت که اصل پائولی بین نوکلئونها برقرار است بقدرکافی پراکندگی نوکلئون ـΛ رامحدود می‌کند ، طوریکه Λ رفتاری چون یک ذره مستقل داشته‌باشد؟این موارد توسط دانشمندان مورد بررسی قرارگرفته ولی‌دانسته‌هابقدر کافی در دسترس نبوده‌اند که‌انسان بتواند راجع بآنها دقیقاً اظهار نظرکند.حال بابررسی بهتر تصاویر لحظه‌ای‌گمان میرود بتوان دراین راه به پیشرفتهائی دست یافت .

۳ـ محاسبهٔ انرژی پیوندی

حال می‌پردازیم بمحاسبهٔ انرژی‌پیوندی Λ یعنی انرژی لازم برای‌کندن ذره Λ از هسته‌ها ی‌مورد نظر.دراین مورد از روش Jastrow استفاده میگردد[۳] . این روش ابتدا برای محاسبهٔ انرژی بستگی نوکلئون در ماده هسته‌ای بکار برده شده‌بود. بدیهی‌است که‌انرژی Λ بحرکت نسبی زوج نوکلئون ـΛ بستگی‌دارد ودراین مورد میتوان نوشت :

$$E_\Lambda = \rho \int [f(r)\, H_{\Lambda N} f(r)]dr \qquad (۱)$$

دراین رابطه ρ چگالی ثابت ماده هسته‌ای است. تابع $f(r)$ تابع کورلاسیون نوکلئون ـΛ و r فاصله بین ذره Λ و یک نوکلئون یعنی $r = |\vec{r}_\Lambda - \vec{r}_N|$ می‌باشد . $H_{\Lambda N}$ هامیلتونین‌حرکت‌نسبی‌زوج‌نوکلئون‌ـΛ است که‌دارای‌فرم‌زیرمی‌باشد:

$$H_{\Lambda N} = -\frac{\hbar^2}{2M_{\Lambda N}} \nabla_r^2 + V_{\Lambda N}(r) \qquad (۲)$$

در رابطهٔ فوقM_{VN}جرم‌نقصانی‌زوج نوکلئون‌ـΛ و $V_{\Lambda N}(r)$ انرژی پتانسیل‌ونمایندهٔ‌اثرات متقابل $\Lambda - N$ است.درحالت ساده اثرات متقابل نوکلئون‌ـΛشامل یک‌کسر سخت با چاه مربعی جاذبه‌ای‌در نظرگرفته میشود. بادرنظرگرفتن‌یک شکل تحلیلی ساده[۴]برای تابع $f(r)$ که شامل پارامترهائی چند است میتوان انرژی E_Λ را نسبت بپارامترهای مزبور می‌نیمم کرد وتغییرات آن‌را مطالعه کرد که‌دراین جااز ذکر جزئیات خود داری میشود.

۴ـ هسته با چند ذره عجیب :

اخیراً هسته‌هائی‌هم کشف‌شده‌اند که شامل دو ذره Λ میباشند دلیلی وجود نمیدارد براینکه‌چراآنها نبایدبیشترو بیشتر بهسته‌ها بسته‌گردند وهسته‌های سنگینتر را بوجود آورند . البته باید در نظر داشت بمحض اینکه بیش‌از دو Λ موجودباشد بافرض برقراری اصل پائولی بین آنها که‌انتظارش میرود، سپس Λ های اضافی بایستی‌سطوح بالاتررا پرکنند. این بحث‌را میتوان عمومیت‌داد، مبنی‌براینکه نه‌تنهاوجود ذره Λ، بلکه وجود ذرات‌عجیب‌دیگر نظیر Σ و Δ راهم میتوان

در داخل هسته در نظرگرفت. البته باید دانست بمحض اینکه انسان مثلا وجود یک ذره عجیب Σ^- را در درداخل هسته در نظر گیرد بخاطروجود پروتون درهسته فوراً اثرات متقابل قوی از نوع: $\Sigma^- + P \longrightarrow \Lambda + N$ روی میدهد. بنابراین ذره Σ^- درداخل هسته بخاطر وجود پروتون عمر زیادی نخواهد داشت. همینطور ذره Σ^+ بخاطر اثر متقابل قوی با نوترون نمیتواند در داخل هسته زیاد باقی بماند. البته استثناهائی می‌تواند وجوداشته باشد، بدینگونه که ترکیبی ازنوع ترکیب ذره α بشکل مثلا $\Sigma^-\Sigma^-nn$ که ازدوذره عجیب ودو نوترون تشکیل شده میتواند پایدار باشد. یک ترکیب پایدارتر می‌تواند بصورت $\Sigma^-\Sigma^-\Lambda\Lambda nn$ باشد که در قالب فیزیک نظری میتوان چگونگی پایداری این ترکیبات راپیش بینی کرد که در دست مطالعه است.

یک موضوع جالب دیگر در این زمینه که درسالهای اخیر توسط دانشمندانی چند در نظرگرفته شده، عبارتست از وجود مجازی ذره عجیب Δ در هسته‌ها بخصوص در دوترون. فرض وجود Δ درهسته ابتدا بکار برده شده بود تابرخی اثرات عجیب دیده شده در مورد سمان مغناطیسی، مقطع مؤثر جذب نوترون- پروتون وغیره راتوجیه کند. باوجودآنکه هنوز برخی فیزیک دانان نظری دراین زمینه وبوجود ذرات عجیب در داخل هسته ایمان ندارند ولی نتایج نشان میدهد که باید موضوع وجود مولفه $\Delta\Delta$ را بخصوص در هستهٔ دوترون جدی در نظرگرفت. بادرنظرگرفتن ایزوسپین دوترون میتوان گفت که دوترون می‌تواند به دو Δ تبدیل شود مثلا به $\Delta^-\Delta^{++}$ و $\Delta^\circ\Delta^+$ بااحتمال مساوی. باتوجه به نتایج تجربی حاصله از آزمایش برخورد مزون π^+ پرانرژی بادوترون، که توسط گروهی ازفیزیک‌دانان تجربی دانشگاه‌های پنسیلوانیا وایالت فلوریدا[4] انجام گرفته‌است، میتوان گفت که دوترون برای جزئی از زمان بصورت ترکیب $\Delta\Delta$ می‌باشد. البته برخی فیزیک‌دانان نظری را عقیده برآن است که قسمتی از دوترون همواره بصورت مولفه $\Delta\Delta$ است. ولی باتوجه به در نظرگرفتن وبررسی کامل تصویرهای لحظه‌ای که در هنگام برخورد ذره باهسته بدست می‌آید، بنظر میرسد که نظریه اول درست باشد، مبنی براینکه دوترون برای جزئی از زمان بصورت مولفه $\Delta\Delta$ است. باتوجه بگواههای موجود، میتوان گفت که دوترون ۲ بار در ثانیه به دو Δ تبدیل میگردد که سپس آنها در حدود 10^{-23} ثانیه بعد دوباره به پروتون ونوترون تبدیل میگردند واین عمل همچنان ادامه می یابد.

این ایده‌ها باذرات پرانرژی دیگرهم باید بررسی گردد که البته مطالعات ومحاسباتی دراین زمینه فعلا در دست انجام است. هنوز نکات فراوانی وجود دارد که باید بررسی گردد. مسئله پراکندگی پیون- هسته باید بادر نظرگرفتن تصاویر لحظه‌ای بسیار دقیق مطالعه گردد که امید فراوان میرود دراین راه بسیاری از مسائل ناشناخته حل گردند. درهرصورت باید متذکر شد که مسئله وجود ذرات عجیب در هستهٔ اتم واقعاً سزاوار مطالعه و بررسی بیشتر هم از لحاظ تجربی و هم از لحاظ نظری میباشد.

REFERENCES

1. R. M. Sternheimer and M. Goldhaber, Phys. Rev. A8 (1973) 2207 .

2. W. M. Bugg, G. T. Condo, E. E. Hart, H. U. Coku and R. D . Mc Culloch, Phys. Rev. Letters 31 (1973) 475.

3. R. Jastrow, Phys. Rev. 98 (1955) 1479.

4. S. Hagapian, C. Horne, D. Pewitt, B. Wind and V.Hagapian (Florida State University) and J. Besinger (Pennsylvania University). 1973