

ساختمان نوکلئون‌ها و اثر EMC

مجید مدرس، دانشگاه امیرکبیر
کراسوس غفوری تبریزی، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

در این مقاله مفاهیم کلی در مورد شکل ساختار نوکلئون‌ها داده شده و سپس چگونگی تغییر این ساختار در هسته‌ها تشریح می‌گردد. همچنین نشان داده شده که نمی‌توان در هسته‌ها از ردوبدل شدن کوارک‌ها بین نوکلئون‌ها صرف‌نظر کرد، لذا کوارک‌ها می‌توانند سهم به سزایی در خواص هسته‌ها داشته باشند.

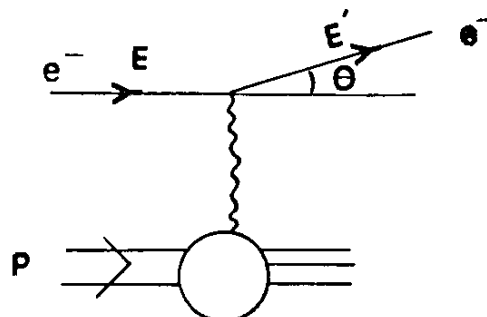
مقدمه

چگونگی ساختار نوکلئون‌ها (پروتون‌ها و نوترون‌ها) همواره مورد سؤال بوده است. کاوش در این مسئله، خصوصاً برای توضیح بعضی از مسائل فیزیک هسته‌ای که هنوز جنبه نظری آن در حال بررسی است، حائز اهمیت است. یکی از آزمایش‌هایی که می‌تواند چگونگی این ساختار را نشان دهد پراکندگی غیرالاستیک از پروتون است که اولین بار در سال‌های بین ۱۹۶۷ و ۱۹۶۸ توسط شتاب‌دهنده 20 GeV در استنفورد مورد بررسی قرار گرفت. بکارگیری الکترون هم از نظر نداشتن ساختار در این مقیاس و هم از نظر نداشتن برهم کنش قوی با پروتون مناسب بنظر می‌رسد. از طرفی برهم کنش الکترومغناطیس الکترون با پروتون بخوبی شناخته شده است. در این نوع برخورد معمولاً انرژی و اندازه حرکت خطی الکترون بعد از برخورد اندازه‌گیری شده و هدف یعنی پروتون به ذرات متعددی خورد می‌شود. در این آزمایش‌ها که در شکل ۱ نشان داده شده

است متوجه شدند که مقدار اندازه‌گیری شده انرژی و توزیع زاویه‌ای الکترون‌های پراکنده شده در یک انرژی ابتدائی با نتایج حاصل در انرژی ابتدائی دیگر فقط در یک ثابت اختلاف دارند. بعبارت دیگر اگر "مقیاس" متناسب با هر انرژی تغییر کند تمام داده‌ها یکی خواهد بود. این مقیاس پذیر بودن نتایج قبلاً توسط یورکن (Bjorken) بصورت نظری پیش‌بینی شده بود (۱). برای روشن شدن مسئله بعنوان مثال مینوان اتم را در نظر گرفت. اتم دارای دو مقیاس است، اندازه خود اتم و اندازه هسته، در مکانیک کوانتومی مقیاس طول و اندازه حرکت خطی عکس یکدیگرند. پس این دو مقیاس بصورت بنیادی در انرژی‌های پائین و بالا قابل تمیز هستند. حال اگر فقط یک مقیاس داشته باشیم چه انرژی پائین باشد و چه انرژی بالا یک پدیده را خواهیم دید. پس در صورتی که نوکلئون‌ها دارای ساختار باشند آنها ذرات بسیار ریزی هستند که اگر ما انرژی یا بعبارت دیگر "دقت" را بالاتر هم ببریم تابع ساختار اندازه‌گیری شده یکسان خواهد بود.

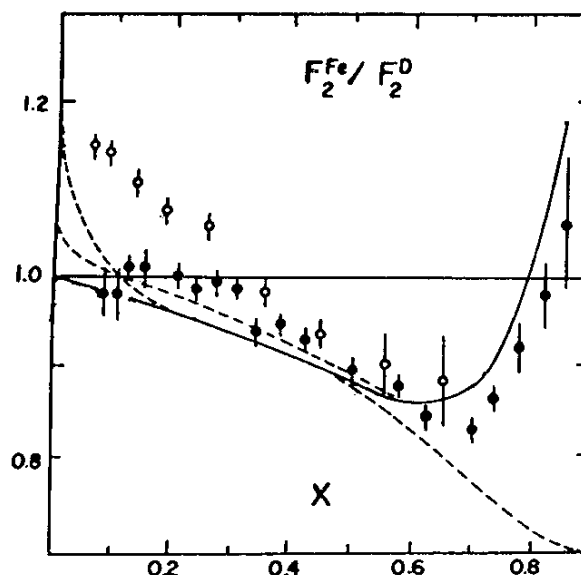
مثلاً "پارتونهای خنثی ، همان گلوانها (کوانتای میدان رنگ) هستند و بعلت اینکه در آزمایش فوق تعداد محدودی پارتون مشاهده نمیگردد این است که گلوانها میتوانند به جفتهای کوآرک - پاد کوآرک تبدیل شوند .

بطور تجربی میتوان تابع ساختار نوکلئونها را برحسب کسری از اندازه حرکت خطی نوکلئونها (x) که توسط کوآرکهای آن حمل میشود بدست آورد . در ابتداء برای چنین آزمایشهایی از دو تریم استفاده میگردد . زیرا این هسته شامل یک نوترون و یک پروتون است و متوسط ساختار آن میتواند ساختار یک نوکلئون آزاد را بدهد . در سال ۱۹۸۳ گروهی در مرکز CERN بنام European Muon Collab. که مخفف آن EMC است ، برای بدست آوردن نتایج آزمایش بهتر بجای دو تریم از هسته آهن ^{56}Fe استفاده کردند . زیرا تصور مینمودند که نتایج حاصل از پراکندگی الکترون (یا موئون) از نوکلئونها این هسته را میتوان بطور همدوس با هم



شکل ۱- پراکندگی غیرالاستیک الکترون از پروتون وقتی فقط یک فوتون معاوضه میشود .

برای توجیه مسئله فوق فی من (Feynman) (۱) فرض کرد که نوکلئونها (یابطور کلی هیدرونها از ذرات جزئی بنام پارتونها تشکیل شدهاند و در حقیقت الکترونها در آزمایش پراکندگی با پارتونها برخورد میکنند و این بیان علت مشاهده نتایج یکسان آزمایش با تغییر متناسب "مقیاس" است . اولین تصویری که از پارتونها میتوان داشت کوآرکها و گلوانها در چهارچوب QCD (۱) است .

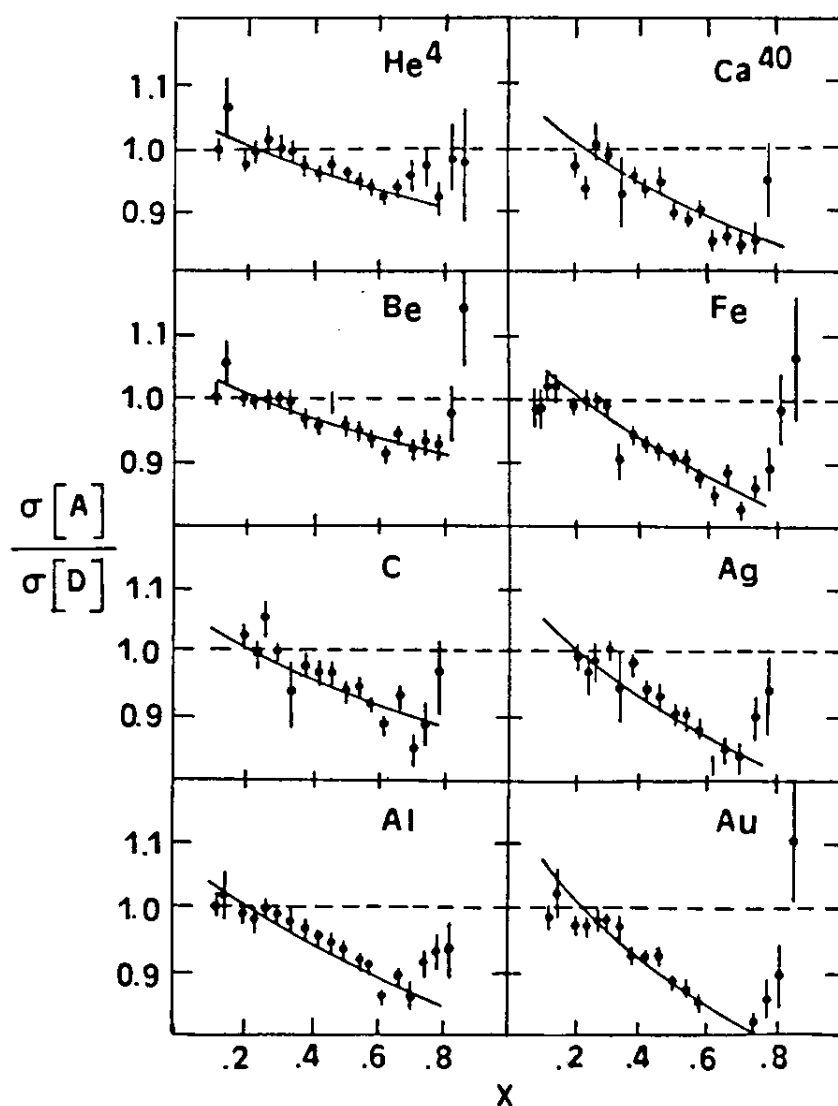


شکل ۲- نسبت ساختاریک نوکلئون در هسته آهن ^{56}Fe به دوتریم برحسب x (اندازه حرکت خطی کوآرک) منحنی پرنمایش بررسی نظری است بدون در نظر گرفتن درجه آزادی کوآرکها .

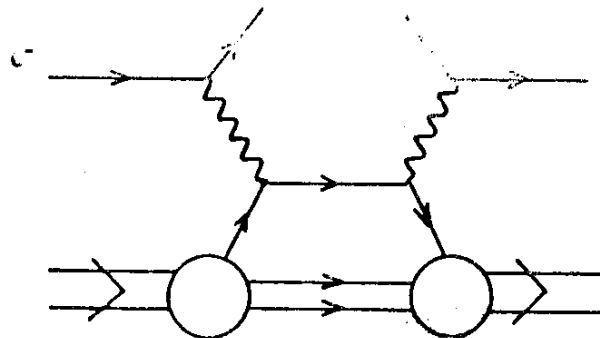
گروه EMC مورد تأیید قرار گرفت. در حال حاضر این نتایج برای هسته‌های مختلفی موجود است که در شکل ۳ نشان داده شده است.

ظرف چندسال گذشته نظریات مختلفی برای توجیه این مسئله ارائه گردیده است. اولین موضوعی که درابتداء مدنظر قرار میگیرد، قرار

جمع نمود. ولی در عمل متوجه شدند که شکل ساختار در واحد نوکلئون این هسته با ساختار در واحد نوکلئون دو ترم متفاوت است که در شکل ۲ نشان داده شده است. این پدیده به اثر EMC معروف گردیده است. آزمایشهای مشابهی در مرکز BCDMS, SLAC (۳) نیز صورت گرفت و نتایج



شکل ۳- وابستگی اثر EMC



شکل ۴- پارتون مدل برای پراکندگی الکترون .

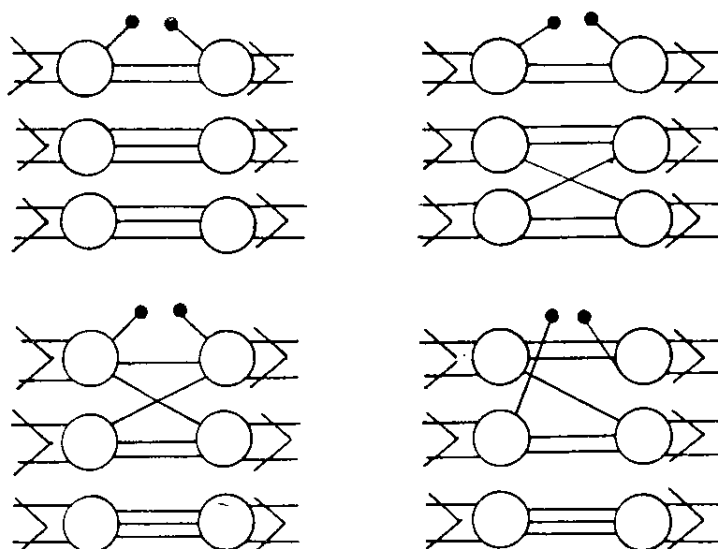
برقرار است (M جرم نوکلئون فرض شده است) حال در صورتیکه x خیلی کوچک مثلاً " $x = 0.05$, $\xi \leq 4 \text{ fm}$ ، میشود . لذا با توجه به اینکه شعاع یک نوکلئون حدوداً " 0.9 fm است احتمال وجود کوارک در خارج نوکلئون وجود دارد . پس چنین درجه آزادی باید وارد معادلات گردد .

توجیه مسئله فوق با در نظر گرفتن اینکه مدل متداول فیزیک هسته‌ای یعنی شکل یافتن هسته‌ها از تعدادی نوکلئون که در عمل میتوان این نوکلئون - ها را بصورت ذراتی بدون ساختار در نظر گرفت . جالب است و تا اندازه‌ای میتوان نتایج تجربی را توجیه کرد . در حقیقت در این مدل میتوان مطابق شکل ۴ اینطور تصور نمود که الکترون فقط کوارک - های داخل هر نوکلئون را مشاهده میکند و تنها تفاوت در این است که خود نوکلئون‌ها چون تحت اثر محیط هسته قرار گرفته‌اند لذا ساختار آنها با یک نوکلئون آزاد فرق دارد .

ولی همانطوریکه گفته شد ، برای اینکه بتوان نتایج تجربی را بهتر توجیه نمود . بنظر میرسد بایستی درجه آزادی کوارک‌ها را بطور صریح در

گرفتن نوکلئون‌های یک هسته تحت اثر میدان حاصل از نوکلئونهای دیگر تشکیل دهنده آن هسته است (پتانسیل هسته‌ای) اثر دوم محدود بودن اندازه حرکت خطی نوکلئون‌ها در داخل هسته است (معروف به حرکت فرعی) . تصور می‌رود برای x های بزرگ اثر حرکت فرعی موثر باشد و بالعکس در x های کوچکتر از شدت این اثر کاسته شده و اثر میدان هسته‌ای خود را نشان دهد . محاسبات انجام شده برای گاز فرعی از نوکلئون با عدد موجی معادل هسته آهن ^{56}Fe نسبت ساختارها را چیزی شبیه به نتایج آزمایش بدست آمده در شکل ۲ را میدهد . بطوریکه ملاحظه می‌گردد این اختلاف در x های کوچک بیشتر میشود . علت آن میتواند این باشد که ما در محاسبات درجه آزادی کوارک‌ها را وارد نکرده‌ایم و برای بدست آوردن نتایج نظری فوق هنوز از نوکلئون به عنوان یک نقطه فرضی در معادلات استفاده نموده‌ایم .

برای تشریح مسئله فوق ، بطور ساده با استفاده از روابط سینماتیک میتوان نشان داد که همواره رابطه $\xi \leq \frac{1}{Mx^3}$ برای یک کوارک به مکان ξ



شکل ۵- ردو بدل شدن کوارکها بین نوکلئون ها در هسته .

نماید و اثری در نتیجه ساختار نوکلئون داشته باشد بعنوان مثال یک هسته سه نوکلئون در صورتیکه ردو بدل شدن یک کوارک را بین دو نوکلئون بخواهیم در نظر بگیریم چهار حالت امکان پذیر است (شکل ۵) و در هر حالت امکان پراکندگی الکترونها از کوارکها وجود دارد . نتایج محاسبات اولیه نشان میدهد که با در نظر گرفتن اثر فوق خصوصا " در x های کوچک نتایج تجربی و نظری به یکدیگر نزدیکتر میشوند . با توجه به اینکه ساختار هسته های بزرگ از لحاظ تجربی دقیقتر قابل اندازه گیری شدن است ، لذا محاسبه نظری ساختار هسته های بزرگ به روش فوق لازم بنظر میرسد . در حال حاضر مسئله اعمال جابجائی یک کوارکی در یک گاز فرعی از نوکلئون ها مورد بررسی قرار گرفته و نتایج محاسبات بصورت یک مقاله بطور جداگانه عرضه شده است (۴) .

هسته ها وارد نمود یعنی در واقع در محاسبات اجازه داد تا کوارکها بتوانند از یک نوکلئون به نوکلئون دیگر جابجا شوند . این مسئله در حال حاضر بطور نظری بسیار پیشرفت نموده و احتمالا " در آینده نه فقط توجیهی برای اثر EMC خواهد بود بلکه کلا " مسائل مختلف دیگر که هنوز در فیزیک هسته ای کاملا " توجیه نشده است را (مثل خواص الکترو- مغناطیس هسته ها یا تولید پایوندها در برخورد پروتون به هسته) جوابگو خواهد شد .

در این نظریه بطور بنیادی هسته مورد نظر با استفاده از توابع موج ، فرضی که برای کوارکها در نظر گرفته میشود ، ساخته میشود . سپس امکان جابجائی کوارکها از داخل یک نوکلئون به نوکلئون دیگر نیز وارد میشود در اینحالت احتمال دارد الکترون پراکنده شده از هسته با یکی از این کوارکها که در حال جابجائی بین دو نوکلئون است برخورد

«معيد مدرس و كراسوس غفوري تهريزي . ساختمان نوكلئونها و اثر EMC .

References

1. F. Halzen and A.D. Martin, Quarks & Leptons Wiley (1984).
2. J. J. Aubert et al. Phys. Lett. 123B, 275 (1983).
3. A. Bodek et al. Phys. Rev. Lett. 50, 1431 (1983).
4. M. Modarres and K. Ghafoori-Tabrizi, J. Phys. G, to be Published (1988).

NUCLEON STRUCTURE AND EMC EFFECT

M. Modarres
Department of Physics, Amir-Kabir University
and
K. Ghafoori-Tabrizi
Department of Physics, Shahid Beheshti University

Abstract

In this paper, we give general concepts of nucleon structure and how this structure changes in different nuclei. It is shown that we can not neglect quark exchange between nucleons.