

Методи за изучаване на ядрените сили. Изотопична инвариантност. Свойства на ядрените сили. Теория на ядрените сили

Методи за изучаване на ядрените сили. Изотопична инвариантност

Ядрени се наричат силите, действащи между нуклоните. Изучаването им е необходимо за разбиране на структурата на ядрото и ядрените реакции. Електромагнитните и гравитационните сили са изследвани, като се измерват силите, действащи между частици при различни разстояния, скорости и ориентации. Тъй като ядрените сили имат радиус на действие от порядъка на 10^{-15} m и освен това от съотношението за неопределеност $\Delta x \Delta p \geq h$ не е възможно да се “поставят” неподвижно два нуклона за разумно време, изучаването на ядрените сили е свързано с косвени измервания (от гледна точка на класическата физика). Например за системата нуклон-нуклон непосредствено могат да се измерят характеристиките на свързаното състояние и зависимостта на диференциалното сечение от ъглите и енергиите.

За определяне на ядрените сили е необходимо да се изучи взаимодействието $(n - n)$, $(n - p)$ и $(p - p)$. За сега сравнително добре са изучени последните две системи; за първата не може да се каже същото, тъй като няма неутронни мишени.

Разглеждането на взаимодействието нуклон-нуклон е прието да се прави отделно за няколко области: ниски енергии – до около 100 keV; междинна област – (0,1÷10) MeV; високи енергии – над 10 MeV. Физичният смисъл на това разделение се изразява в следното: при ниски енергии дължината на вълната на дьо Бройл за частицата е много голяма, сравнена с радиуса на действие на ядрените сили ($\lambda \gg R$) и тя проявява вълновите си свойства; при високи енергии дължината на вълната на дьо Бройл за частицата е много малка, сравнена с радиуса на действие на ядрените сили ($\lambda \ll R$) и тя проявява корпускуларните си свойства.

Ядрените сили имат свойството изотопична инвариантност (зарядова инвариантност). За описване на това свойство се въвежда физичната величина **изотопичен спин**. Протонът и неутронът имат еднакви маси и спинове. Протонът, за разлика от неутрона, има електричен заряд. Това определя различното им поведение в атомната и ядрената физика.

В атомната физика, където кулоновите сили са водещи – разликата между протона и неутрона е колосална. При добавянето на един протон към ядрото, неговият атомен номер се увеличава с единица, т.е. изменят се химичните свойства на атома. Добавянето на един неутрон към ядрото на атома го прави друг изотоп, имащ същите химични свойства.

В ядрената физика кулоновите сили са твърде слаби спрямо ядрените сили. Спрямо ядрените сили протонът и неутронът имат еднакво поведение. Това е израз на така наречената **зарядова независимост** на ядрените сили.

Нека ядрените сили са еднакви не само за протона и неутрона, но и за всяка кохерентна суперпозиция:

$$(1) \Psi = \alpha \Psi_p + \beta \Psi_n.$$

Това е израз на изотопичната инвариантност. При това електричният заряд в състояние Ψ няма определена стойност. Той е равен на единица с вероятност $|\alpha|^2$ и е равен на нула с вероятност $|\beta|^2$.

В изотопичното пространство $\xi\eta\zeta$ (тримерно евклидово пространство, в което частицата се намира, в центъра на координатната система и може да извършва само въртеливи движения) частиците притежават изотопичен спин. Квантуването на изотопичния спин е също, както и за обикновения спин. Той може да бъде:

$$T = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, 2, \dots$$

като проекцията му по изотопичната ос (ζ) има стойности:

$$T_\zeta = T, T-1, \dots, 0, \dots, -T.$$

Частица с изотопичен спин T има $2T+1$ различни състояния в изотопичното пространство. Съвкупността от тези състояния се нарича **мултиплет**. В изотопичното пространство мултиплета е една и съща частица, но различно ориентирана. Например, протонът и неутронът са различно ориентирани състояния на една и съща частица – нуклона. Изотопичният спин на протона е $T_\zeta = \frac{1}{2}$, а на неутрона $T_\zeta = -\frac{1}{2}$.

Преобразуването (1) съответства на различно завъртане в изотопичното пространство. Например,

при завъртане около оста η неутронът преминава в протон. *Ядрените взаимодействия са инвариантни спрямо относителното завъртане в изотопичното пространство.* Това означава, че съществува закон за запазване на изотопичния спин.

Свойства на ядрените сили. Теория на ядрените сили

На основата на получените експериментални данни могат да се обобщят следните свойства на ядрените сили:

- Ядрените сили са големи по абсолютна стойност. Като пример е достатъчно да се каже, че обусловената от ядрените сили енергия на връзката на най-простото ядро – деутрона – е 12,23 MeV, докато в същото време обусловената от електромагнитните сили енергия на връзката на най-простия атом – водорода – е 13,6 eV;

- Ядрените сили са близкодействащи. Радиусът на тяхното действие е от порядъка на 10^{-15} m;

- Те зависят съществено от спина. Съществува ядро, съставено от един протон и един неутрон с паралелни спинове (деутрон, ${}^2_1\text{H}$), но не съществува такова ядро с противоположни спинове на протона и неутрона;

- Те са нецентрални сили. Нецентралността следва непосредствено от наличието при деутрона на квадруполен електричен момент. Казано на класически, неквантов език, силите не са насочени по правата, която съединява взаимодействащите частици. От различните възможни видове нецентрални сили, за взаимодействието нуклон–нуклон очевидно основна роля играе спин–орбиталното взаимодействие, което се стреми да ориентира спиновете на нуклоните успоредно на орбиталния момент на тяхното относително движение;

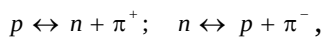
- Ядрените сили са изотопически инвариантни. Характеристиките на ядрата, отнасящи се за силното взаимодействие, не зависят от броя на протоните и неутроните в ядрото, а само от масовото число. По тази причина огледалните ядра (ядра изобари, при които броят на протоните в едното е равен на броя на неутроните в другото, напр. ${}^3_1\text{H}$ и ${}^3_2\text{He}$) са идентични относно ядрените сили;

- Тези сили имат обменен характер. Обменността е съществено квантово свойство, благодарение на което нуклоните при удар могат да предават един на друг своите заряди, проекцията на спиновете си и даже своите координати;

- На големи разстояния те са сили на привличане, а на малки (спрямо 10^{-15} m) са сили на отблъскване;

- Ядрените сили притежават свойството насищане. Насищането се проявява в това, че специфичната енергия на връзка на нуклоните в ядрото при увеличение размера на ядрата не расте, а остава приблизително постоянна.

Въпросът за природата на ядрените сили е един от най-трудните и все още не е напълно разрешен. Според съвременните схващания ядрените сили имат обменен характер. Взаимодействието между отделните нуклони се осъществява чрез непрекъснат обмен на елементарни частици, наречени *пиони*. Те могат да бъдат отрицателно или положително заредени, а също така и електронеутрални: π^- , π^+ , π^0 . Тяхната маса е около 270 пъти по-голяма от масата на електрона. Предполага се, че нуклоните непрекъснато раждат и поглъщат пиони по следната схема:



т.е. всеки нуклон е обкръжен от облак от пиони.