

## Поиск электрического дипольного момента нейтрона.

Ю. П. Брагинец

Петербургский институт ядерной физики, Гатчина, Россия  
тел.: (81371) 4-64-10; эл. почта: aiver@npi.spb.ru

Поиск электрического дипольного момента (ЭДМ) нейтрона является одной из важнейших задач современной физики, поскольку проблема существования ЭДМ нейтрона тесно связана с фундаментальными проблемами нарушения симметрии нашего Мира. Дело в том, что дипольный момент может быть отличен от нуля только при нарушении CP-симметрии, а также нарушении симметрии относительно зеркального отражения пространства (P) и операции обращения времени (T).

Впервые на необходимость экспериментальной проверки существования ЭДМ у элементарной частицы обратили внимание в 1950 г. Парселл и Рамзей [1]. Но лишь в 1964 г., когда было непосредственно обнаружено нарушение CP-инвариантности в распаде нейтрального  $k$ -мезона, эта проблеме привлекла к себе достойное внимание [2]. До недавнего времени это был единственный известный случай экспериментального обнаружения CP-нарушения. Летом 2004 г. две большие международные коллаборации Belle и BaBar, работающие в Японии и США, сообщили о наблюдении CP-нарушения в распадах нейтральных B-мезонов, содержащих тяжелые кварки [3, 4]. Косвенным свидетельством CP-нарушения является барионная асимметрия Вселенной, которая не находит своего объяснения в рамках Стандартной Модели (СМ) электрослабых взаимодействий.

В настоящее время существует довольно большое число различных CP-неинвариантных моделей, предсказывающих существование ЭДМ у нейтрона. Значение ЭДМ сильно зависит от выбора конкретной модели CP-нарушения, так как различные теории приводят к очень широкому спектру значений для ЭДМ нейтрона. Например, Стандартная модель дает оценку на величину ЭДМ нейтрона на уровне  $\sim 10^{-33}$  е-см, который находится далеко за пределами современных экспериментальных возможностей измерения. Однако в моделях, объясняющих барионную асимметрию Вселенной, ЭДМ нейтрона оказывается на уровне  $\sim 10^{-26} - 10^{-28}$  е-см, его обнаружение было бы прямым свидетельством в пользу объединяющих различные взаимодействия моделей, таких, как суперсимметричные и модели Великого объединения.

Почти все эксперименты по поиску ЭДМ нейтрона основаны на использовании магниторезонансного метода. Этот метод в свою очередь подразделяется на пучковый и УХН методы. Первые ЭДМ эксперименты проводились

с использованием магниторезонансных спектрометров на пучках поляризованных нейтронов (пучковый метод). Наиболее точный результат, полученный этим методом, дал ограничение на величину ЭДМ  $D < 3 \cdot 10^{-24}$  е-см [5]. Однако возможности метода были на этом практически исчерпаны. Для улучшения чувствительности метода к ЭДМ необходимо было увеличить время пребывания нейтрона внутри установки. Этого удалось достичь, используя ультрахолодные нейтроны (метод УХН). Лучшее ограничение на величину ЭДМ нейтрона полученное этим методом  $D < 2.9 \cdot 10^{-26}$  е-см [6]. Это одна из самых высоких точностей достигнутых в мире к настоящему моменту. Если нейтрон представить в виде шара размером  $R \approx 10^{-13}$  см, то  $D/R \approx 2.9 \cdot 10^{-13}$ . Если представить себе, что размер нейтрона равен размеру Земли, то сдвиг между положительным и отрицательным элементарными зарядами составит всего 2 мкм.

Альтернативой магниторезонансного метода является кристалл-дифракционный метод поиска ЭДМ нейтрона. Первый кристалл-дифракционный эксперимент был проведен в 1967 г. Шаллом и Натансоном [7]. Долгое время он оставался единственным экспериментом такого типа. Ограничение на ЭДМ полученное в этом эксперименте  $D < 5 \cdot 10^{-22}$  е-см. И только спустя почти четверть века, группой ученых ПИЯФ предложено использовать нецентросимметричные кристаллы для поиска ЭДМ нейтрона [8]. За последнее время проведен ряд тестовых экспериментов [9] и сейчас идет подготовка к полномасштабному эксперименту, с планируемой точностью измерения  $\sim 10^{-26}$  е-см.

В настоящее время по чувствительности вне конкуренции находится магниторезонансный метод поиска ЭДМ нейтрона, использующий УХН, поэтому, безусловно важным является поиск и создание альтернативных конкурентоспособных методов. Так как другой метод будет иметь другие систематические эффекты и может служить контрольным опытом в случае обнаружения ненулевого ЭДМ.

Получение новых экспериментальных ограничений на величину ЭДМ нейтрона позволит не только исключить ряд теорий, но и получить новую информацию о механизме CP-нарушения. И хотя обнаружить ЭДМ нейтрона пока не удалось, однако установление все новых ограничений на его величину, позволило исключить наибольшее, за всю историю физики, число научных теорий, предложенных для объяснения барионной асимметрии Вселенной.

### Литература

1. Purcell E.M. and Ramsey N.F. Phys. Rev., 78, (1950).
2. Christenson J.H., Cronin J.W., Fitch V.L. and Turlay R. Phys. Rev. Lett., 13, (1964).
3. Abe K. et al. Phys. Rev. Lett., 93, (2004).
4. Aubert B. et al. Phys. Rev. Lett., 93, (2004).
5. Dress W.B., Miller P.D., Pendlebery J.M., Perrin P., Ramsey N.F. Phys. Rev. D, 15, (1977).

6. Baker N.A., Doyle D.D., Geltenbort P. et al. Phys.Rev., 97, (2006).
7. Shull C.G., Nathans R. Phys. Rev., 19, (1966).
8. В.Л.Алексеев и др. ЖЭТФ, 96, (1989).
9. V.V. Fedorov et al. Physics Letters B 694 (2010).