

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОИСКОВ КВАРКОВ

В.Б.Брагинский

Как уже указывалось [1], единичные устойчивые кварки, обладающие "дробным" элементарным зарядом, можно пытаться искать, исполь-

зую либо непосредственно методику Милликана, либо ее модификации.

Наличие в макроскопическом пробном теле одного или двух кварков с зарядом, равным $e/3$, приводит к тому, что добавление или отнимание электронов у этого тела не может скомпенсировать дробный заряд и такое тело всегда будет заряженным. Согласно известным оценкам [1], число кварков имеет нижнюю границу 10^{-19} . В опытах Милликана [2] капельки, заряженные несколькими электронными зарядами, состояли из 10^{13} атомов. Поэтому при постановке эксперимента по поиску кварков желательно увеличить массу тела на 4-5 порядков по сравнению с массой Милликана. Увеличение массы пробного тела приводит к целому ряду чисто экспериментальных трудностей. Скомпенсировать вес такого тела электростатической силой, действующей на избыточный заряд в несколько электронов, нельзя, так как для этого понадобятся напряженности поля, при которых будет сильной автоэлектронная эмиссия. Использование большого избыточного заряда (больше сотни) электронов нежелательно, так как при этом будут предъявлены слишком высокие требования к линейности динамической шкалы прибора, регистрирующего смещение тела, чтобы с его помощью можно было бы заметить наличие добавочного заряда величиной $e/3$. Поэтому желательно "подвесить" пробное тело в плоском конденсаторе без прямого механического контакта. Это можно осуществить либо используя следующие системы, добавляя к пробному телу ферромагнетик [3], либо используя подвес на сильных градиентах магнитных полей, добавляя к телу диамагнетик [4]. В обоих случаях пробное тело оказывается в трехмерной потенциальной яме. Пробное тело, имеющее шарообразную форму и подвешенное в поле плоского конденсатора, напряженность поля E которого изменяется с частотой, равной частоте собственных колебаний тела в потенциальной яме, будет иметь амплитуду колебаний из-за избыточного заряда $\sim e/3$, равную

$$a_{\text{кв}} \approx \frac{eE_0}{18\pi r \eta \omega_0}, \quad (1)$$

если механическая добротность такого осциллятора $Q \geq 2$. В ф-ле (1) E_0 - амплитуда напряженности поля, η - вязкость воздуха, r - радиус

тела, ω_0 - собственная частота колебаний тела в направлении поля.

$$Q = \frac{\varepsilon \rho \tau^2 \omega_0^2}{9\eta}, \quad (2)$$

где ρ - плотность тела. При $\tau \geq 1 \cdot 10^{-2}$ см, при атмосферном давлении $Q \geq 6$, если $\omega_0 = 30$ рад/сек.

Если $E_0 = 30$ ед. CGSE, $\tau = 1 \cdot 10^{-2}$ см, $\omega_0 = 30$ рад/сек, то $\alpha_{кв} = 4 \cdot 10^{-6}$ см. Амплитуду такого колебания нетрудно измерить, используя радиооптические методы усиления (например, так называемый метод "ножа и щели" [5]). Кроме силы, вызванной избыточным зарядом, на пробное тело (проводник или диэлектрик) будет действовать вызванная неоднородностью поля сила $F_{неодн}$, которая сообщит ему амплитуду колебаний $\alpha_{неодн}$:

$$\alpha_{неодн} \approx \frac{3E_0^2 \Delta d}{16\pi L^2 \rho \omega_0^2}, \quad (3)$$

где L - линейные размеры плоского конденсатора, Δd - возможная неточность в величине зазора d вдоль L . Выражение (3), выведенное для проводящего тела, справедливо, если $Q \geq 2$. Для диэлектрического пробного тела порядок величины $\alpha_{неодн}$ будет примерно таким же. При $L = 10$ см, $\rho = 2$ г/см³, $\omega_0 = 30$ рад/сек, $E_0 = 30$ ед. CGSE, $\Delta d = 10^{-3}$ см, $\alpha_{неодн} \approx 3 \cdot 10^{-7}$ см, т.е. существенно меньше $\alpha_{кв}$ при тех же параметрах. Кроме того, следует учесть, что при синусоидальном изменении поля E легко отфильтровать в регистрирующем устройстве $\alpha_{неодн}$, так как $F_{неодн}$ имеет удвоенную по сравнению с полем частоту. Кроме силы $F_{неодн}$, на пробное тело будут воздействовать тепловые флуктуации, относительная роль которых с увеличением массы пробного тела возрастает. Нетрудно подсчитать отношение сигнал/шум, если использовать синхронное детектирование при таком методе определения величины заряда:

$$\frac{\alpha_{кв}^2}{\alpha_{фл}^2} = \frac{e^2 E_0^2 \tau}{216\pi \varepsilon T \tau \eta}, \quad (4)$$

где τ - время выделения, ε - постоянная Больцмана, T - температура.

для приведенных выше E_0 , τ , η и для $T = 300^\circ\text{K}$ в соответствии с (4).
 $\tau \approx 0,5$ сек, если $(a_{\text{кв}}/a_{\text{неодн}})^2 = 1$.

Таким образом, для достоверного обнаружения единичного кварка понадобится время, не превышающее нескольких секунд. В течение этого же времени необходимо, чтобы величина заряда пробного тела сохранялась постоянной (если использовать милликеновскую методику калибровки). Полученные оценки, по-видимому, указывают на возможность использования пробных тел, на три порядка больших по массе, чем это предложено в другой модификации опыта Милликена [6], что повышает вероятность обнаружения кварков.

Приведем некоторые предварительные результаты, полученные на установке, в которой пробное тело - дробинка графита массой $m \approx 1,5 \cdot 10^{-5}$ г подвешена в сильном неоднородном магнитном поле ($H \approx 2 \cdot 10^4$ э, $\partial H/\partial z \approx 10^6$ э/см), получаемом вблизи края наконечников электромагнита (более подробно методику см. в [4]). В зазоре между наконечниками электромагнита (величина зазора 6 мм) помещен плоский конденсатор ($L = 10$ см, $\alpha = 3$ мм, $\Delta\alpha < 1 \cdot 10^{-3}$ см), плоскость пластин которого перпендикулярна силовым линиям. Дробинка в направлении силовых линий имеет добротность $Q \approx 5$ и собственную частоту колебаний $\omega_0 \approx 36$ рад/сек. При перемещении дробинки в направлении силовых линий модулируется интенсивность узкого светового луча. Демодуляция и регистрация движения производится с помощью фотосопротивления и несложного радиотехнического устройства, которое позволяет измерять амплитуду колебаний дробинки порядка $\sim 1 \cdot 10^{-7}$ см при $\tau = 10$ сек. Величина действующей на дробинку постоянной силы, вызванной световым давлением, не превышает $1 \cdot 10^{-9}$ дин и поэтому не может сказаться на результатах измерений. Изменение заряда дробинки осуществляется с помощью рентгеновского излучения слабой интенсивности. Предварительные измерения показали, что возможно создать заряд порядка сотни электронов на такой дробинке. Величина флуктуаций заряда и определит, по-видимому, возможность применения описанной методики для поисков кварков.

В заключение автор пользуется случаем выразить искреннюю признательность за ценные дискуссии Я.Б.Зельдовичу и В.В.Мигулину.

Физический факультет Московского
государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
22 ноября 1965 г.

Литература

- [1] Я.Б.Зельдович, Л.Б.Окунь, С.Б.Пикельнер. УФН, 87, 122, 1965.
- [2] Р.Милликен. Электроны, протоны, фотоны, нейтроны и космические лучи; ГОНТИ, 1939.
- [3] J.W.Beams. J.Appl. Phys., 17, 886, 1946. Rev.Sci.Instr., 21, 182, 1950.
- [4] W.Braunbek. Z.Phys., 112, 764, 1939.
- [5] Н.Н.Васильев. Оптика и спектроскопия, 18, 1065, 1965.
- [6] С.Vecchi, G.Gallinaro, G.Morpurgo. Nuovo Cim., 39, 409, 1965.