

Описание качественных и количественных свойств К. п. невозможно в рамках традиционных в ядерной физике представлений о внутри. движении нуклонов и многократном рассеянии налетающей частицы нуклонами ядра (напр., в области $x \geq 1,5$ эти механизмы дают сечение на неск. порядков меньше экспериментального) и требуют гипотезы о наличии в ядрах, наряду с нуклонами, плотных *многокварковых состояний* (6q, 9q, 12q и т. д.) ядерной материи (или малонуклонных корреляций) с размерами порядка размеров нуклона. Предполагают, что ядра являются гетерофазными системами — представляют собой смесь двух фаз адронной ма-

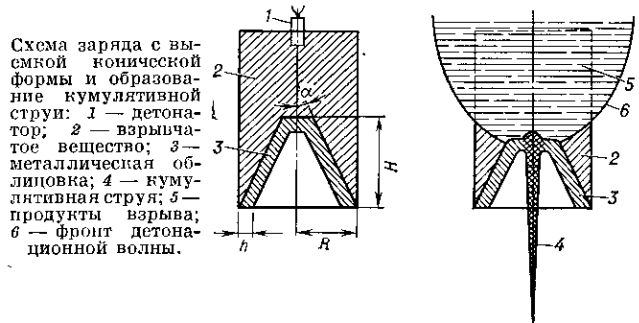


тери: нуклонной и *кварк-глюонной плазмы*. Однако природа таких образований и механизм рождения кумулятивных частиц недостаточно ясны. В частности, неясно, создаются ли эти образования налетающим на ядро адроном или постоянно образуются и распадаются в ядре в результате флуктуаций плотности ядерной материи (т. н. *флуктоны* Блохинцева). Однозначный ответ на этот вопрос может быть получен из опытов по глубоко неупругому рассеянию лептонов на ядрах в области $x > 1$. Предварительные результаты таких экспериментов свидетельствуют в пользу второй возможности.

К. п. являются одним из предметов изучения *релятивистской ядерной физики*, лежащей на стыке физики ядра и физики элементарных частиц. Дальнейшее их тщательное исследование может, по-видимому, прояснить природу *удержания цвета*.

Лит.: Балдин А. М., Физика релятивистских ядер, «ОЦАЯ», 1977, т. 8, с. 429; Ставинский В. С., Предельная фрагментация ядер — кумулятивный эффект (эксперимент), там же, 1979, т. 10, с. 949; Стрикман М. И., Франкфурт Л. Л., Рассеяние частиц высокой энергии как метод исследования малонуклонных корреляций в дейтоне и ядрах, там же, 1980, т. 11, с. 571; Ефремов А. В., Кварк-партоновая картина кумулятивного рождения, там же, 1982, т. 13, с. 613.

КУМУЛЯТИВНЫЙ ЭФФЕКТ (кумуляция) (от ср.-век. лат. *simulatio* — скопление) — существенное увеличение действия *взрыва* в к.-л. определенном направ-



лении. Достигается приданием спец. формы зарядам взрывчатых веществ (ВВ). Обычно для этой цели заряды изготовляют с выемкой в противоположной от детонатора его части (рис.). При инициировании взрыва сходящийся поток продуктов детонации формируется в высокоскоростную кумулятивную струю, причём К. э. увеличивается при облицовке выемки слоем металла

(толщиной 1—2 мм). Скорость струи металла достигает 10—15 км/с. По сравнению с расширяющимися продуктами детонации обычных зарядов в сходящемся потоке продуктов кумулятивного заряда давление и плотности вещества и энергии значительно выше, что обеспечивает направленное действие взрыва и высокую пробивную силу кумулятивной струи.

Теория К. э. позволяет рассчитать параметры струи и макс. глубину её проникновения в преграду. В общепринятой гидродинамич. теории К. э. для материала оболочки и преграды используют модель *идеальной жидкости*. Возможность такого приближения обоснована тем, что при высоких (до 10 ГПа) давлениях возникающих при К. э., упругие силы на два порядка меньше инерционных. В предположении бесконечной скорости детонации (действие взрывчатого вещества сводится к обжатю металлич. конуса, см. рис., продуктами взрыва со скоростью V) гидродинамич. теория для массы m , радиуса r , длины l и скорости v кумулятивной струи приводит к след. выражениям:

$$m = 2M \sin^2(\alpha/2), \quad r = \sqrt{2hR} \sin(\alpha/2), \\ l = H, \quad v = V \cotg(\alpha/2),$$

где M — масса облицовки конуса. Макс. глубина проникновения струи в преграду $s = \sqrt{\rho_0/\rho_1} l$ (ρ_0 и ρ_1 — соответственно плотности облицовки и преграды) достигается при нек-ром оптим. удалении заряда от преграды, наз. *фокусным расстоянием*. Резкое падение пробивного действия при удалении заряда от преграды связано с неустойчивостью струи.

К. э. применяется в исследовательских целях (возможность достижения больших скоростей вещества — до 90 км/с) в горном деле, в военном деле (бронебойные снаряды).

Лит.: Лаврентьев М. А., Шабат Б. В., Методы теории функций комплексного переменного, 5 изд., М., 1987; и х же, Проблемы гидродинамики и их математические модели, 2 изд., М., 1977; см. также лит. при эт. *Взрыв*.

Б. В. Повозжилов.

КУПЕРА ЭФФЕКТ — образование связанных пар частиц в вырожденной системе фермионов при наличии сколь угодно слабого притяжения между ними. Решая *Шрёдингера уравнение* для двух частиц вырожденного ферми-газа (газа электронов), Л. Купер (L. Cooper, 1956) показал, что слабое притяжение между ними приводит к т. н. спариванию частиц, находящихся вблизи ферми-поверхности, т. е. к образованию связанных состояний двух частиц.

К. э. представляет собой основу микроскопич. теории *сверхпроводимости* (см. *Бардина — Купера — Шриффера модель*). В идеальном ферми-газе сверхпроводимость (т. е. сверхтекучесть системы заряд. частиц) невозможна; для появления сверхпроводимости необходимо, чтобы в энергетич. спектре фермиевских возбуждений над осн. состоянием возникла конечная энергетич. щель. Куперовское спаривание частиц с конечной *энергией связи* и приводит к формированию такой щели. Тем самым для ферми-систем со спариванием удовлетворяется критерий сверхтекучести Ландау.

В результате К. э. любая вырожденная ферми-система с притяжением между частицами должна обладать свойством сверхпроводимости (сверхтекучести). В реальных металлах взаимодействие между электронами складывается из экранированного (на больших расстояниях) кулоновского *отталкивания и притяжения*, вызванного возможностью обмена виртуальными фонанами и обусловленного поляризацией кристалла вокруг электронов [Х. Фрöhlich (H. Fröhlich), 1952]. Соотношение этих типов взаимодействия и определяет возможность сверхпроводимости в металле.

Для возникновения куперовского спаривания достаточно, чтобы в разложении в полином Лежандра амплитуды рассеяния фермионов друг на друге хотя бы один член разложения оказался отрицательным (притяжение на соответствующей гармонике). Куперовские пары обладают орбитальным моментом, равным номеру