

этот эффект, не вступая в сильное противоречие с др. ядерными свойствами. Обнаружено неск. ЕМС-подобных эффектов, и возникла новая область — *релятивистская ядерная физика*, объединяющая Я. ф. с физикой *элементарных частиц*.

Новая область Я. ф. возникла в связи с созданием ускорителей тяжёлых ионов — физика ядро-ядерных взаимодействий. При изучении столкновений ядер низких и ср. энергий ( $E/A < 10$ —20 МэВ) были обнаружены слияние и кваздеделение ядер, мультифрагментация. Последнюю связывают с фазовым переходом жидкость — газ, происходящим при нагревании ядерной материи. При взаимодействии ядер ультрарелятивистских энергий ищут проявления др. гипотетич. фазовых переходов в ядерном веществе:  $\pi$ -конденсатный фазовый переход, переход адронной материи в *кварк-глюонную плазму* и др.

Лит.: Мигдал А. Б., Теория конечных ферми-систем и свойства атомных ядер, 2 изд., М., 1983; Бор О., Моттельсон Б., Структура атомного ядра, пер. с англ., т. 1—2, М., 1971—77; Соловьёв В. Г., Теория атомного ядра. Ядерные модели, М., 1981. Э. Е. Сеперштейн.

**ЯДЕРНАЯ ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЭМУЛЬСИЯ** — фотография эмульсия, предназначенная для регистрации траекторий (треков, следов) частиц. Метод Я. ф. э. основан на том, что заряж. частица, проходя через эмульсию, разрушает кристаллы галогенида серебра и делает их способными к проявлению.

Я. ф. э. используется в качестве детектора частиц в ядерной физике, физике элементарных частиц, при исследовании *космических лучей*, в *дозиметрии*. Первым применением фотоэмульсии в ядерной физике можно считать исследование А. Беккереля (А. Becquerel), к-рый в 1895 обнаружил радиоактивность солей по вызываемому ими почернению фотоэмульсии. В 1910 С. Киношита (S. Kinoshita) показал, что зёрна галогенида серебра обычной фотоэмульсии становятся способными к проявлению, если через них прошла хотя бы одна  $\alpha$ -частица. В 1927 Л. В. Мысовский с сотрудниками изготовил пластинки с толщиной эмульсионного слоя 50 мкм и наблюдал с их помощью рассеяние  $\alpha$ -частиц на ядрах эмульсии. В 30-х гг. началось изготовление Я. ф. э. со стандартными свойствами, с помощью к-рых можно было регистрировать следы медленных частиц ( $\alpha$ -частиц, протонов). В 1937—38 М. Блау и Г. Вамбахер (M. Blau, H. Wambacher, Австрия), а также А. П. Жданов с сотрудниками наблюдали в Я. ф. э. расщепления ядер, вызванные космич. излучением. В 1945—48 появились Я. ф. э., пригодные для регистрации слабо ионизирующих однозарядных релятивистских частиц; метод Я. ф. э. стал точным количеств. методом исследований.

Я. ф. э. отличается от обычной фотоэмульсии (см. *Фотография*) двумя особенностями: отношение массы галогенида серебра к массе желатина в 8 раз больше; толщина слоя, как правило, в  $10$ — $100$  раз больше, достигает иногда  $1000$ — $2000$  мкм и более (стандартная толщина фирменных Я. ф. э.  $100$ — $600$  мкм). Зёрна галогенида серебра в эмульсии имеют сферич. или кубич. форму, их линейный размер зависит от сорта эмульсии и обычно составляет  $0,08$ — $0,30$  мкм (рис. 1).

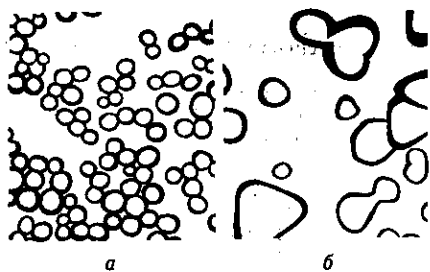


Рис. 1. Зёрна различных эмульсий (электронные микрофотографии, увеличение 20 000): а — ядерная фотоэмульсия типа Илфорд-5; б — обычная фотоэмульсия.

Процесс проявления экспонированной эмульсии играет роль сильного увеличения первоначального слабого эффекта (скрытого фотографич. изображения), подобно тому как лавинный разряд в *Гейгера счётчике* или бурное всплывание пузырьков в *пузырьковой камере* многократно увеличивают слабые эффекты, связанные с начальной ионизацией, производимой заряж. частицей. Как правило, частицы обладают большой энергией, благодаря чему они могут создавать центры чувствительности в лежащих на их пути зёрнах галогенида серебра. После фиксирования Я. ф. э. вдоль следа частицы образуется цепочка чёрных зёрен — металлчи. Ag на фоне прозрачного желатина. Зёрна расположены в следе тем плотнее, чем больше ионизирующая способность частицы и чем выше чувствительность эмульсии. Следы частиц наблюдают с помощью микроскопа при увеличении  $200$ — $2000$ .

В ядерной физике эмульсии обычно используют в виде слоёв, нанесённых на стеклянные пластины. При исследовании частиц высоких энергий (на ускорителях или в космич. излучении) эмульсионные слои укладывают в большие стопки в неск. сотен слоёв (эмульсионные камеры). Объём камеры достигает десятков л; образуется практически сплошная фоточувствительная масса. После экспозиции отд. слои могут быть наклеены на стеклянные подложки и обработаны обычным образом. Положение слоёв точно маркируется, благодаря чему траекторию частиц легко проследить по всей стопке, переходя от слоя к слою.

Свойства следа, оставленного в эмульсии заряж. частицей, зависят от её заряда  $e$ , скорости  $v$  и массы  $m$ . Так, остаточный пробег частицы (длина следа от его начала до точки остановки) при данных  $e$  и  $v$  пропорционален  $m$ ; при достаточно большой скорости  $v$  частицы плотность зёрен (число проявленных зёрен на единицу длины следа)  $q \sim e^2/v^2$ . Если плотность зёрен слишком велика, они слипаются в сплошной чёрный след. В этом случае, особенно если  $e$  велико, мерой заряда может быть число  $\delta$ -электронов, образующих на следе характерные ответвления. Их плотность также пропорциональна  $e^2/v^2$ . Если  $e=1$ , а  $v \sim c$ , то след частицы в Я. ф. э. имеет вид прерывистой линии из  $20$ — $25$  чёрных точек на  $\sim 100$  мкм пути.

В Я. ф. э. можно измерять рассеяние частицы — ср. угловое отклонение на единицу пути:  $\phi \sim e/pv$  ( $p$  — импульс частицы). Я. ф. э. можно поместить в сильное магн. поле и измерить импульс частицы и знак её заряда, что позволяет определить заряд, массу и скорость частицы. Достоинства метода Я. ф. э. — высокое пространств. разрешение (можно различать явления, отделённые расстояниями меньше  $1$  мкм, что для релятивистской частицы соответствует временам полёта  $\sim 10^{-16}$  с) и возможность длительного накопления редких событий.

С 1945 по 1955 методом Я. ф. э. были сделаны важные открытия: зарегистрированы  *$\pi$ -мезоны* и последовательности распадов  $\pi \rightarrow \mu + \nu$ ,  $\mu \rightarrow e + \nu + \bar{\nu}$ , а также обнаружены ядерные взаимодействия  $\pi^-$ - и  $K^-$ -мезонов. С помощью Я. ф. э. удалось оценить время жизни  $\pi^0$ -мезона ( $10^{-16}$  с), был обнаружен распад  $K$ -мезона на 3 пиона, открыт  $\Sigma$ -гиперон и установлено существование *гиперядер*, открыт антилямбдагиперон (см. *Гипероны*). Методом Я. ф. э. был исследован состав первичного космич. излучения, кроме протонов в нём были обнаружены ядра He и более тяжёлых элементов, вплоть до Fe.

С 60-х гг. метод Я. ф. э. вытесняется пузырьковыми и *искровыми камерами* и электронными *трековыми детекторами частиц*, к-рые дают большую точность измерений и возможность применения ЭВМ для обработки данных.

Однако Я. ф. э. обладает высоким ( $\sim 1$  мкм) пространств. разрешением, что позволяет использовать её в качестве мишени-детектора для исследования рождения и распадов короткоживущих частиц с временами жизни  $\sim 10^{-12}$ — $10^{-13}$  с. В этом случае Я. ф. э. в сочетании с др. детекторами частиц образует т. н. гибридную установку. В такой установке вторичные частицы, образующиеся в мишени в результате взаимодействия, и частицы — продукты распада короткоживущих частиц — анали-