

ФОТОМЕТРИРОВАНИЕ СЛЕДОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ФОТОЭМУЛЬСИИ*

*Совместно с Б. А. Войковским, А. И. Галактионовым и
М.И. Третьяковой*

Описан фотометр с узкой щелью, имеющий дополнительное устройство - интегратор, позволяющий определять по электроизмерительному прибору общее почернение измеряемого участка следа. Приводятся экспериментальные данные по фотометрированию следов протонов и π -мезонов в фотопластинках и протонов, π -мезонов и τ -мезона в бесподложечных эмульсионных слоях.

Объективным методом определения ионизации, создаваемой заряженной частицей в фотоэмульсии, является измерение плотности почернения следа путем фотометрирования. Для этой цели созданы специальные приборы-фотометры.

Фотометры с широкой щелью [1-4] (ширина щели больше диаметра зерна) позволяют определять общее почернение следа. Метод «широкой щели» обладает низкой чувствительностью при фотометрировании следов остановившихся частиц с зарядом $Z=1$. Фотометры с узкой щелью [5-7] (ширина щели меньше диаметра зерна) позволяют получить поперечный профиль следа и при этом определить почернение на оси следа, ширину следа. По измеренному относительному почернению следа можно определить скорость частицы, ее заряд, а в совокупности с остаточным пробегом или многократным рассеянием - и ее массу.

При наладке и опробовании прибора, для фотометрирования использовались следы из фотопластинок НИКФИ-Р с толщиной эмульсии 280 мк и бесподложечных фотослоев НИКФИ-Р с толщиной 400 мк, облученных космическими лучами в стратосфере.

УСТРОЙСТВО И РАБОТА ФОТОМЕТРА

Внешний вид фотометра приведен на рис. 1, блок-схема на рис. 2. Принцип работы прибора заключается в следующем. Изучаемый участок следа располагается в центре поля зрения микроскопа параллельно измерительной щели, которая расположена в фокусе окуляра. Световой поток, проходя через след, объектив, измерительную щель, попадает на катод фотоумножителя. В зависимости от степени почернения следа изменяется ток на выходе фотоумножителя. Напряжение, получаемое на анодной нагрузке фотоумножителя, усиливается усилителем постоянного тока и поступает на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки осциллографа.

Перемещение изображения следа параллельно самому себе в направлении, перпендикулярном к щели, осуществляется оптическим путем с помощью плоско-параллельной стеклянной призмы, две противоположные грани которой зачернены. Призма расположена между объективом и щелью. На общей оси с

* ПТЭ, № 6, 1957, с. 38.

призмой вращается лепесток конденсатора переменной емкости (емкостный датчик),

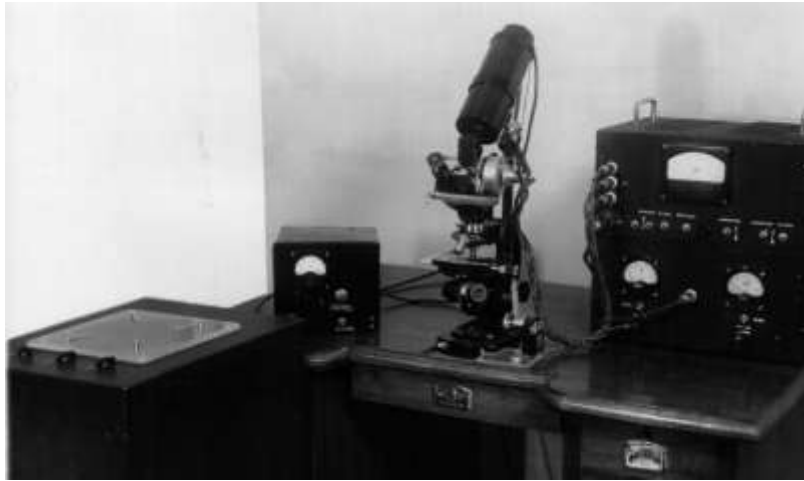


Рис. 1 Общий вид фотометра

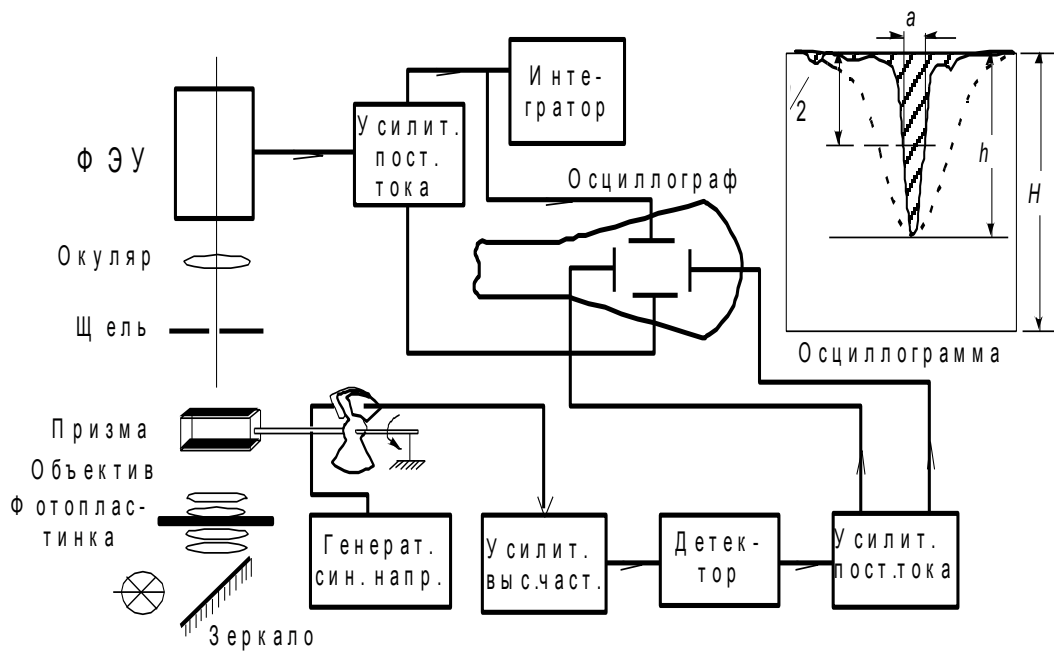


Рис. 2 Блок-схема фотометра

изменяющий величину емкости по определенному закону от 0 до максимума и обратно при повороте на 180° . На одну из пластин емкостного датчика подается от генератора синусоидальное напряжение с частотой 1 Мгц . Форма пластин конденсатора подобрана так, что амплитуда напряжения, получаемого на другой пластине, пропорциональна смещению изображения следа. Это напряжение

усиливается усилителем высокой частоты, детектируется и после усиления усилителем постоянного тока поступает на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа.

При вращении призмы на экране осциллографа получается импульс, форма которого показана на рис. 2. Осциллограмма характеризует поперечный профиль следа, где H - фоновое значение светового потока, прошедшего через фотоэмульсию, h - максимальное почернение на оси следа, h/H - относительное максимальное почернение участка следа, a - ширина впадины импульса на половине высоты $1/2h$, характеризующая ширину следа. Для измерения величины a ширина импульса на экране осциллографа может быть увеличена вчетверо изменением усиления развертывающего напряжения (вид профиля следа на осциллограмме в этом случае показан пунктиром).

Площадь впадины импульса S определяет общее почернение изучаемого участка следа. Точность измерений достигается стабилизацией питающего напряжения осветителя, фотоумножителя, осциллографа и электронных узлов, а также поддержанием постоянства величины H при всех измерениях.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ УЗЛОВ ФОТОМЕТРА

а) Используется *бинокулярный микроскоп* «Лумипан» с общим увеличением при фотометрировании $90 \times 15 \times 1.5 = 2025$. В правой части бинокулярной насадки перед окуляром расположена измерительная щель (длина 14 $\mu\text{к}$, ширина 0.1 $\mu\text{к}$ в плоскости объекта), которая может поворачиваться на $\pm 15^\circ$ микровинтом, что необходимо для точной установки щели параллельно изучаемому участку следа. Относительное положение следа и щели определяется наблюдателем по расположенной в левом окуляре шкале, которая поворачивается вместе со щелью.

Осветительная лампа микроскопа мощностью 20 Вт (8 В) питается постоянным током, стабилизированным барретерами.

б) Фотоумножитель типа ФЭУ-19 используется при рабочем напряжении 700÷750 В .

в) Осциллограф служит для настройки прибора и измерения поперечного профиля следа.

В настройку входит установка величины H постоянной и установка всей осциллограммы в контуре, нанесенном на плексигласовом окне корпуса осциллографа, на который осциллограмма проектируется объективом с фокусным расстоянием 7 см .

Измерение состоит в следующем. По максимуму впадины импульса наблюдатель устанавливает щель параллельно следу и добивается точной фокусировки микровинтом, после чего, вращая призмочку вручную (т. е. перемещая луч) зарисовывает на кальке поперечный профиль следа, по которому и определяются характеристики следа: h/H , a , S .

г) *Интегратор впадины импульса*. Графическое определение площади S - весьма трудоемкая и не лишенная субъективных ошибок операция. Фоновые явления также искажают результаты измерений. Прибор содержит специальную электронную схему - интегратор, который позволяет получить искомую площадь на шкале электроизмерительного прибора.

При интегрировании вращение призмы производится со строго постоянной скоростью мотором СД-60. Особенностью интегратора является то, что он интегрирует только профиль следа и не реагирует затемнение поля зрения во время прохождения зачерненных граней призмы.

Использование интегратора позволяет частично вычитать фон фотоэмульсий (для этого производятся измерения на соседнем участке эмульсии, не содержащем следов), уменьшает погрешности, вносимые наклоном следов, а также исключает необходимость зарисовки профилей следов, что экономит время.

ЗАВИСИМОСТЬ ВИДИМОГО ПОЧЕРНЕНИЯ СЛЕДА ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ ОТ ГЛУБИНЫ ЕГО ЗАЛЕГАНИЯ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

Следы заряженных частиц с одинаковой ионизацией, расположенные на различных глубинах в эмульсии, выглядят по-разному: чем глубже расположен след, тем меньше видимое почернение. При равномерном проявлении фотоэмульсии по глубине это обусловлено рассеянием света на зернах следов и вуали, расположенных над изучаемым следом. Для фотопластинок изучалась зависимость величин

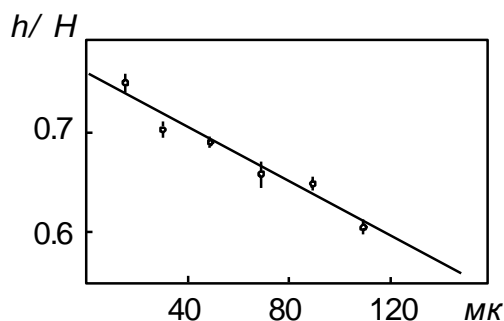


Рис. 3. Зависимость h/N от глубины залегания следа в проявленной фотопластинке

h/N и a от глубины залегания следа. Вся эмульсия фотопластинки (толщина после проявления ~ 120 мк) была разбита на шесть горизонтальных слоев, и в каждом слое найдены пологие следы (не меньше пяти следов с углом наклона $< 3^\circ$), остановившихся протонов с длиной пробега свыше 500 мк. Измерения проводились, отступив от остановки, 200 мк, на пяти соседних интервалах по 14 мк. Для каждого слоя определялось среднее арифметическое значение h/N и ширины следа. Ошибка в определении среднего значения h/N и a в каждом слое равна $\sim 1\%$. Зависимость h/N от глубины залегания следа в эмульсии приведена на рис. 3. Ширина следа с глубиной эмульсии изменяется очень незначительно (практически остается неизменной).

Для бесподложечных эмульсионных слоев снималась зависимость h/N и S от глубины. Ошибка в определении среднего значения h/N порядка $\sim 1\%$, $S - 1 \div 2\%$. В дальнейшем при определении величин h/N и S вводилась поправка на глубину залегания следа в эмульсии.

Метод узкой щели очень чувствителен также к наклону следа и многократному рассеянию. Чтобы уменьшить влияние многократного рассеяния использовалась щель длиной 14 мк и первые 40 мк следа от остановки частицы не фотометрировались. Поправка на наклон следа не вводилась, так как фотометрировались следы или участки следов с углом наклона $< 5^\circ$ (в проявленной эмульсии), хотя и в этом случае ошибка в почернении следа из-за наклона исключалась не полностью. Чтобы исключить поправку на наклон применяют столик микроскопа с переменным наклоном [6].

ФОТОМЕТРИРОВАНИЕ СЛЕДОВ ПРОТОНОВ, π -МЕЗОНОВ И τ -МЕЗОНА

Фотометрировались следы заряженных частиц остановившихся, в фотопластинках и в бесподложечных слоях. Измерения h/H , a и S производились на 4÷5 соседних интервалах по 14 мк каждый, после чего вычислялось среднее значение для данного пробега. На рис. 4 приведен

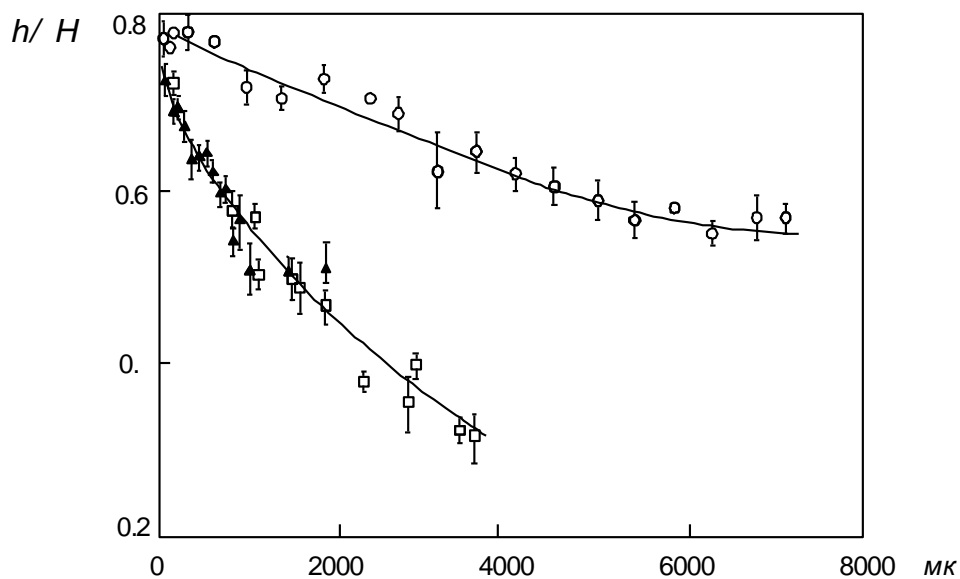


Рис. 4. Зависимость h/H от пробега для двух π -мезонов (II) и трех протонов (I) из фотопластинок. \blacktriangle - π -мезон № 1; \square - π -мезон № 2; \circ - средние значения для трех протонов

график зависимости h/H от пробега для протонов и π -мезонов из фотопластинок. Сравнивая пробеги протонов и π -мезонов для одних и тех же значений h/H , получаем, что в интервале пробегов 320÷1100 мк для π -мезонов и 3800-7000 мк для протонов среднее отношение масс протона и π -мезона равно 6.7 ± 0.4 . Из рассмотрения зависимости ширины следа a от пробега для протонов и π -мезонов следует, что для протонов при изменении пробега от 50 до 7000 мк ширина следа уменьшается на $\sim 10\%$, для π -мезонов при изменении пробега от 80 до 3000 мк ширина следа уменьшается на $\sim 15\%$. При равных скоростях ширины следов протонов и π -мезонов в пределах ошибок одинаковы.

На рис. 5 и 6 приведена зависимость h/H и S от пробега для трех протонов, трех π -мезонов и τ -мезона из бесподложечных эмульсионных

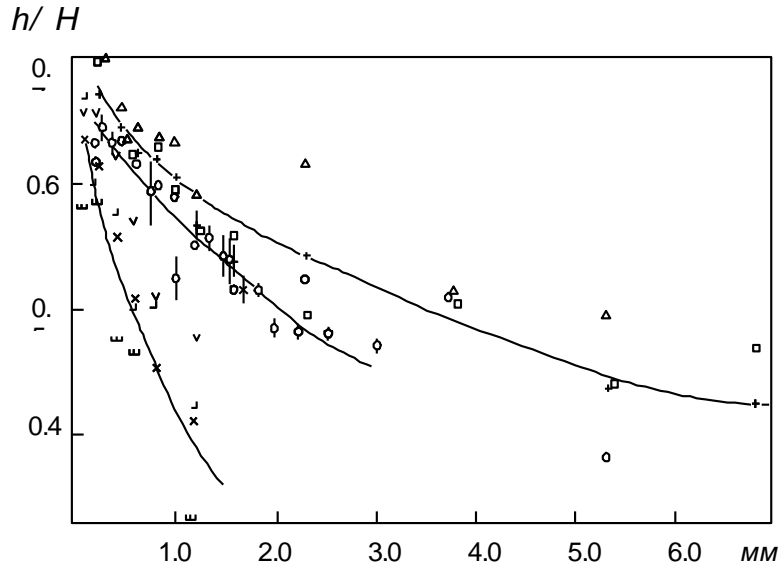


Рис. 5. Зависимость h/H от пробега для π -мезонов, протонов и τ -мезона из бесподложечных фотозэмульсий. Условные обозначения: \circ - 1 протон; \square - 2 протон; Δ - 3 протон; $+$ - среднее арифметическое для трех протонов; III - 1 π -мезон; J - 2 π -мезон; \vee - 3 π -мезон; \times - среднее арифметическое для трех π -мезонов; \cdot - τ -мезон

слоев. В интервале пробегов $200 \div 1000$ мк для π -мезонов и $2000 \div 6500$ мк для протонов получено отношение масс протона и π -мезона: $m_p/m_\pi = 6.4 \pm 0.6$ из зависимости h/H от пробега r и $m_p/m_\pi = 6.5 \pm 0.5$ из зависимости S от пробега r . Для массы τ -мезона получено:

$$m_\tau = (1050 \pm 175) m_e \quad (\text{по } h/H, r),$$

$$m_\tau = (985 \pm 120) m_e \quad (\text{по } S, r)$$

Из рассмотрения приведенных данных следует, что для однозарядных частиц, достаточной характеристикой почернения следов может являться величина h/H , которую можно измерять без зарисовки поперечного профиля следа.

Из сравнения зависимостей h/H и S от r следует, что для однозарядных частиц их ход аналогичен, однако при измерении S разброс отдельных измерений меньше и разделение частиц различной природы несколько лучше. В случаях $Z > 1$, когда ширина следа заметно изменяется с пробегом, измерение S будет давать более полную характеристику относительной ионизации, создаваемой частицей, чем измерение h/H . Для многозарядных релятивистских частиц измерение S позволит определить величину заряда.

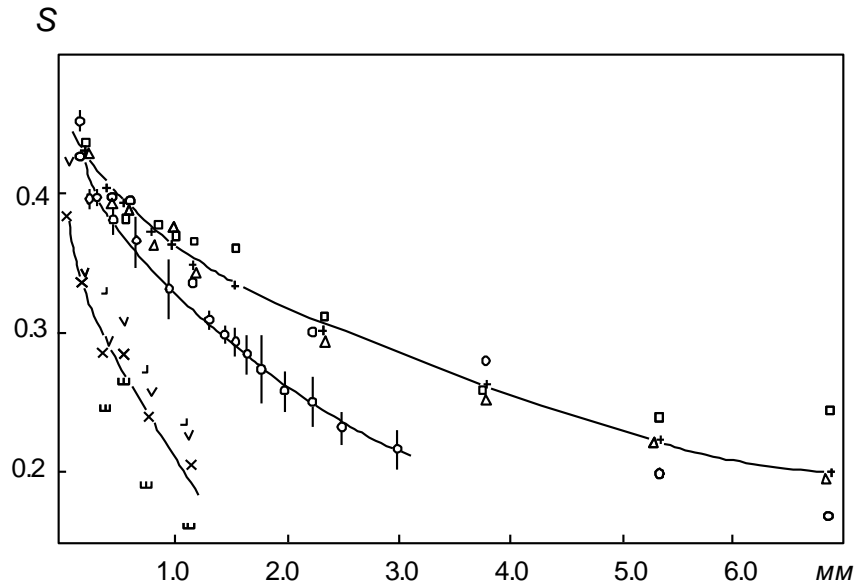


Рис. 6. Зависимость S от пробега для π -мезонов, протонов и τ -мезона из бесподложечных фотоэмульсий. Условные обозначения : \circ - 1 протон; \square - 2 протон; Δ - 3 протон; $+$ - среднее арифметическое для трех протонов; \blacksquare - 1 π -мезон; \blacktriangleright - 2 π -мезон; \blacktriangledown - 3 π -мезон; \times - среднее арифметическое для трех π -мезонов; \cdot - τ -мезон

В заключение авторы выражают благодарность В. Карповой и В. Сачкову за проведение основных измерений на приборе.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Friesen, K. Kristiansson. Nature, 1950, 16, 686.
2. K. Kristiansson. Phil. Mag., 1953, 44, 268.
3. S. Friesen, L. Stigmark. Ark. f. Phys., 1954, 8, 121.
4. S. Friesen. Ark. f. Phys., 1954, 8, 305.
5. M. Ceccarelli, G.T. Zorn. Phil. Mag., 1952, 43, 356.
6. L. Van Rossum. Ann. Phys., 1955, 10, 643.
7. D. Morellet. Nuovo Cim., 1955, Suppl. 1, 209.