

БФИ-803(30)-85

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. Б. АКОПОВА, М. М. АРУТЮНЯН, А. Л. КАРТУЖАНСКИЙ,
Н. В. МАГРАДЗЕ, А. А. МОИСЕЕНКО, К. М. ОВНАНЯН
Т. С. ЧАЛАБЯН

СЕНДВИЧНЫЕ ЯДЕРНО-ЭМУЛЬСИОННЫЕ СИСТЕМЫ
ЭМИТТЕР-РЕГИСТРАТОР-ЭМИТТЕР С РЕГУЛИРУЕМОЙ
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

ЦНИИ АТОМИНФОРМ

ЕРЕВАН 1985



UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
BERKELEY, CALIFORNIA 94720-1080

УДК 539.1.073.7

А. Б. АКОПОВА, М. М. АРУТЮНЯН, А. Л. КАРТУЖАНСКИЙ
Н. В. МАГРАДЗЕ, А. А. МОИСЕЕНКО, К. М. ОВНЯНЯН
Т. С. ЧАЛАБЯН

СЕНДВИЧНЫЕ ЯДЕРНО-ЭМУЛЬСИОННЫЕ СИСТЕМЫ
ЭМИТТЕР-РЕГИСТРАТОР-ЭМИТТЕР С РЕГУЛИРУЕМОЙ
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Предложен метод заторможенного проявления следов многозарядных частиц в 200 мкм слоях ядерной эмульсии, позволяющий регулировать ионизационный порог проявляемости и получать плотность следов достаточно низкую, чтобы осуществлять счет индивидуальных зерен в них. Метод основан на дозированном "отравлении" эмульсионных монокристаллов ионами Vz^+ , диффундирующими в слой из наклеенных на него по обе стороны специальных эмиттерных слоев той же эмульсии, предварительно экспонированных на малую глубину сине-фиолетовым светом. Если эмиттеры приклеены к регистратору экспонированными поверхностями, то выделение с них и диффузия ионов Vz^+ при восстановлении $AgVz$ до Ag в проявителе хорошо поддаются регулированию за счет величины световой экспозиции на эмиттерах, а также режима совместного проявления склеенного сендвича эмиттер - регистратор - эмиттер.

Ереванский физический институт

Ереван 1985

BM-803(30)-85

A.B.AKOPOVA, M.M.MARUTUNIAN, T.S.CHALABIAN,
K.M.HOVNANIAN, A.L.KARTUCHANSKY, H.B.MAGRADZE,
A.A. MOISEENKO

SANDWICH NUCLEAR-EMULSION EMITTER-RECORDER-
EMITTER SYSTEMS WITH REGULATED SENSITIVITY

The method of decelerated development of multicharge particle trace in 200 mcm layers of nuclear emulsion is suggested to regulate the ionizing threshold of development and to obtain the trace density low enough for counting of individual grains in it. The method is based on dosed "poisoning" of emulsion monocrystals by Br^- ions diffusing to the layer from special emitting layers of the same emulsion glued to its both sides; the emitting layers have been previously exposed to a low depth by the blue-violet light. If the emitters are glued to the recorder by exposed surfaces, the emission from them and the diffusion of Br^- ions during the reduction of AgBr up to Ag in the developer can be well regulated owing both to the value of the light exposure on the emitters and joint development condition of the emitter-recorder-emitter glued sandwich.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1985

Создание эмульсионных систем на основе хслоинных сендвичей, где регистрирующий слой размещ в контакте с двумя эмульсионными эмиттерами, потребовало, прежде всего, разработки такого процесса их проявления, который бы позволил получать в обработанном слое четкие следы многозарядных частиц, удобные для выполнения на них всех требуемых измерений. Эта задача была решена нами в [1] на основе применения двухтемпературного метода проявления с сухой теплой стадией; длительность и температура холодной и горячей стадий составляла 80 мин при 3°С и 45 мин при 24°С.

Цель данной работы – дальнейшее развитие сендвичных систем и придание им новых свойств, в частности регулируемого порога чувствительности. В качестве регулятора используется дозированное выделение ионов Vz^- в регистрирующий слой из эмиттеров по обе его стороны, чем и достигается желаемая степень торможения проявления в регистрирующем слое. Причиной выделения ионов Vz^- является проявление эмиттеров, подвергнутых до того экспонированию актиничным светом; поэтому дозирование выделения ионов, а значит и дозирование торможения, является функцией условий экспонирования и проявления эмиттеров. Заметим, это возможно лишь в том случае, если проявление регистратора

и эмиттеров ведется одновременно после склеивания их в сендвич, хотя регистрация частиц и засветка соответственно в регистраторе и в эмиттерах происходит независимо и вовсе не одновременно. На специальном опыте нами показано, что проявление слоев сендвича в расклеенном виде, даже если этому предшествовал плотный контакт экспонированных эмиттеров с регистратором, к торможению не ведет.

Наша работа по регулированию чувствительности началась с установления самого факта заметной диффузии ионов Vz^- из эмиттеров в регистратор. Последний экспонировался α - частицами с энергией 9,1 МэВ/нуклон и затем заклеивался между эмиттерами, у которых экспонированию светом подвергалась одна половина (неэкспонированная служила контролем). Такие сендвичи погружали в холодный проявитель и на стадии пропитки поочередно вынимали через определенные промежутки времени (30-240 мин); затем сендвичи расклеивали и составляющие их слои фиксировали по-отдельности, т.е. теплая стадия проявления была вообще исключена.

Несмотря на низкую температуру, проявление все же имело место, как видно, в частности, из рис. I: после 3 часов проявления засвеченная половина поверхности эмиттера давала почернение на верхнем пределе рабочего диапазона измерений; легко представить, к чему привела бы подобная засветка на теплой стадии. Таким образом, в эмиттере происходило весьма интенсивное выделение Vz^- , причем в количестве, зависящем от экспозиции, сообщенной эмиттеру. Это было особенно отчетливо видно на специальном опыте, когда на эмиттере создавали градацию экспози-

ций и почернений в виде обычной ступенчатой сенситограммы: после проявления в сендвиче на контактирующей поверхности регистратора на фоне обычной поверхности вуали возникла градация почернений, негативная по отношению к эмиттеру, т.е. с меньшими почернениями против более проявленных участков, выделивших соответственно большее количество $V\tau^-$.

Следует отметить, еще одно существенное обстоятельство: поскольку эмиттеры представляли собой такие же 200 мкм слои высококонцентрированной ядерной эмульсии, как и регистратор, а для их экспонирования использовалось сине-фиолетовое излучение, то последнее не проникло в эмиттер более чем на 3-5 мкм и создаваемое им скрытое изображение было локализовано полностью вблизи экспонируемой поверхности. Поэтому если во время склеивания сендвича привести в контакт с регистратором не эту поверхность, а противоположную ей, влияние эмиттера на проявление регистратора становится гораздо меньшим, на что по-видимому, имеется две причины: 1) ограниченность диффузии $V\tau^-$ через 200 мкм слой во время проявления и 2) возможность выхода $V\tau^-$ не столько в регистратор, сколько в раствор, граничащий с экспонированной поверхностью, чего в случае плотного контакта экспонированной поверхности с регистратором не существует.

Диффузия $V\tau^-$ в регистрирующий слой и "отравление" им эмульсионных микрокристаллов, расположенных вдоль следа, становится очевидной из рис.2, где представлена кинетика холодного проявления следов α - частиц, расположенных в регистраторе против неэкспонированной (I) и экспонированной (II) половин эмиттера. Отметим, что кинетические кривые на рис.2 относятся к 10 мкм

участкам, выбранным на нескольких расстояниях от конца следа. Так как удельные ионизационные потери частицы нарастают от начала следа к его концу, то с ними растут энерговыделение в отдельном микрокристалле и размеры образующихся центров скрытого изображения, и поэтому замедленное проявление 10 мкм участков, далеких от конца следа, по сравнению с такими же участками вблизи конца отражает хорошо известную зависимость скорости проявления скрытого изображения от его дисперсности.

Основной вывод из рис. 1 и 2 состоит в том, что длительность индукционного периода проявления засвеченного эмиттера, для следов против неэкспонированного и следов против экспонированного эмиттера резко различна: соответствующие значения составляют 23, 32-35 и 135-150 мин. Если различие первых двух из приведенных значений в общем невелико (1,4-1,5 раза) и типично для скрытых изображений, созданных действием света и ионизирующих частиц (см. [21]), то различие двух последних значений более чем в 4 раза совершенно необычно и указывает на некоторый специфический эффект запаздывания проявления. Его нельзя, как показали дальнейшие опыты, интерпретировать как бромирование серебра в центрах скрытого изображения, например по аналогии с соляризацией.

Действительно, соляризация возникает при исчерпании бром-акцепторной емкости желатина в эмульсионном слое при очень сильном экспонировании, вследствие чего часть выделяющегося фотолитического брома в форме Br_2 остается свободной и реагирует с серебром скрытого изображения, окисляя его до AgBr и лишая его, тем самым, свойств скрытого изображения. Обще-

принятый прием: подавления сольризации состоит в увеличении бромакцепторной емкости желатина введением в эмульсию (купанием или пропиткой) дополнительных акцепторов, чаще всего NaNO_2 . В специально поставленных нами опытах никакая обработка водными растворами NaNO_2 с концентрациями от обычных (1 г/л) до повышенных на целый порядок и временами пропитки до 14 часов не привела не только к полному, но хотя бы к частичному снятию эффекта торможения от засвеченного эмиттера. Следовательно, в нашем случае бром диффундировал из эмиттера не в молекулярной форме, которую только и связывает NaNO_2 , а в ионной или атомарной. Молекулярный же бром, присутствовавший на стадии экспонирования, к моменту склеивания сендвича либо уже ушел из эмиттера, либо был прочно связан желатином.

Для выбора между атомарной и ионной формами брома существенную роль сыграли результаты нижеследующего опыта. Вместо регистратора в сендвич заклеивали чистый желатиновый слой, который затем, после проявления и расклеивания, растворяли в воде и к раствору приливали H_2SO_4 , способствующую переходу иона Br^- в Br_2 по реакции $2\text{HBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Если такой сендвич засвечивали до проявления, то переход Br^- в желатин легко было обнаружить по зеленому окрашиванию пламени горелки при внесении медной проволоки, до этого погружавшейся в желатиновый раствор. Если сендвич не засвечивали, то повторение указанных операций не влияло на цвет пламени.

Таким образом, торможение проявления в рассматриваемой ситуации не вызвано бромированием скрытого изображения (для чего нужны Br^0 или Br_2); более того, сохранение скрытого изобра-

жения и его способности инициировать проявление обнаружено даже в неблагоприятных условиях низкой температуры проявителя. Тогда в качестве объяснения торможения следует предположить адсорбцию ионов Vz^- на поверхности микрокристаллов $AgVz$, ведущую к образованию на них отрицательно заряженной оболочки, затрудняющей перенос электронов от молекул проявляющего вещества, т.е. осуществление первой стадии реакции проявления. Такое объяснение не требует протекания каких-либо изменений самих центров, т.е. оно гораздо ближе к реальному опыту.

Говоря о диффузии ионов Vz^- в регистратор, следует иметь некоторые представления об объемном распределении и кинетике этого процесса, тем более, что температура холодной стадии существенно ниже комнатной. В связи с этим были поставлены опыты, где после обычной холодной пропитки (80 минутной, как в [I]) проводили сухую теплую стадию. Поведение эмиттера, показанное на рис.3, тривиально для такого режима и отражает хорошо известное ускорение проявления с ростом температуры. Можно было думать, что введение теплой стадии не только не воспрепятствует проявлению регистратора, но напротив, ускорит проявление следов в нем. Между тем, на опыте было обнаружено, что даже при наибольшей длительности теплого проявления на рис.3 никаких следов α - частиц на участке против засвеченного эмиттера найти не удалось.

В связи с этим возникает предположение, что ионы Vz^- , диффундируя из эмиттера в регистратор, не распределяются равномерно по толщине регистратора и больше тормозят проявление начала следов, т.е. вблизи границы с эмиттером, чем их конца,

Надо заметить, гораздо лучше проявляемость концов следов, нежели их середин или начал, показанная на рис.2, к данному случаю отношения не имеет и обусловлена, как говорилось выше, различиями в дисперсности скрытого изображения. Мы же в данном случае сталкиваемся с иным феноменом: как будет показано дальше, отсутствие следов при достаточно длительной тепловой стадии обусловлено непостоянством градиента концентрации диффундирующего агента по толщине слоя - градиент мал вне приповерхностной области, но резко возрастает вблизи границы регистратор-эмиттер. Иными словами, на поверхности регистратора должен возникать своего рода барьер, рассасывание которого за исследованные нами времена не происходит, во всяком случае, при пониженной температуре, а повышение температуры проявления должно в таком случае способствовать рассасыванию и, тем самым, более эффективному участию большого количества приповерхностных ионов Vz^- в "отравлении" микрокристаллов, в принципе способных к проявлению.

В связи с практическим использованием бром-ионного торможения потребовались некоторые дополнительные данные, приводимые ниже. Таковы, например, данные о плотности Ю мкм участков следа на разных расстояниях от его конца при неизменных условиях проявления, но разной световой экспозиции на эмиттере, т.е. разной концентрации генерируемых ионов Vz^- . На рис.4, где эти данные представлены, вместо экспозиции на эмиттере или концентрации ионов Vz^- приведена оптическая плотность проявленного эмиттера, однозначно связанная с сообщенной ему экспозицией и доступная прямому измерению. По данным рис.4 постро-

ены кривые рис.5, где плотность следа на разных расстояниях от его конца представлена в функции от оптической плотности проявленного эмиттера. Экстраполяция соответствующих кривых до пересечения с осью абсцисс позволяет определить условные экспозиции или соответствующие им почернения для порога проявления или, иначе говоря, для получения нулевой плотности следа на том или ином расстоянии от его конца, т.е. при той или иной дисперсности скрытого изображения.

Кривые на рис.5 дают повод вернуться к ранее высказанному соображению, что в регистраторе существует градиент концентрации ионов Vz^- (и притом сильно меняющийся), создающий значительно более благоприятные условия проявления конца и середины следа, нежели его начала. В наших опытах проявленные следы образуют с поверхностью слоя любые углы, возможные при 2-й геометрии, и поэтому их концы удалены от поверхности слоя на различные расстояния, начиная от практически нулевого и кончая полной длиной следа. Если различия плотностей начала и конца следа определяются градиентом концентрации тормозящего агента по толщине слоя, то они должны быть максимальными на следах круглого падения, уходящих в слой почти перпендикулярно его поверхности, и близкими к нулю на следах, почти касательных к поверхности. Однако, вычисляя статистику для кривых рис.4, мы не обнаружили значительных различий в изменении плотности вдоль следов, образующих различные углы с поверхностью, кроме очень малых. Если последние исключить из рассмотрения, то для всех остальных картина, представленная на рис.6. Она не только прямо подтверждает присутствие мощного приповерхностного

слоя ионов Bz^- , но и позволяет оценить его толщину, а наличие протяженного плато на рис.6, захватывающего почти всю толщину регистратора, означает почти нулевое изменение градиента вне приповерхностного слоя.

Данные рис.6 дают основание для еще одного важного заключения: коль скоро градиент концентрации ионов Bz^- мал внутри всего слоя, исключая тонкую приповерхностную область, то все микрокристаллы вдоль пути частицы в объеме слоя должны нести примерно одинаковый адсорбционный слой тормозителя на своей поверхности. Тогда для эффекта торможения решающую роль играет не абсолютное количество ионов Bz^- на микрокристалле (в силу сказанного оно примерно одинаково для всех микрокристаллов вдоль следа), а соотношение этого количества с размером центров скрытого изображения в микрокристалле или, в энергетических терминах, отношение высоты барьера, препятствующего переносу электрона от молекулы проявляющего вещества, к глубине ловушки, на которую этот электрон захватывается.

Подтверждение доминирующей роли именно дисперсности скрытого изображения весьма существенно для следующих шагов этой работы. Первый из них - получение экспериментальных соотношений между плотностью следа и остаточным пробегом при различной оптической плотности проявленного эмиттера на следах ядер ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{20}\text{Ne}$ с одной и той же энергией 9,1 МэВ/нуклон и при одинаковом режиме проявления. Перестройка этих соотношений в других координатах позволила затем получить зависимость плотности следа от плотности проявленного эмиттера при различных остаточных пробегах (см. рис.7). Каждая кривая рис.7 соот-

ответствует следам частиц одной природы и фиксированному расстоянию от конца пробега. Тогда выбор световой экспозиции эмиттера допускает проявление следов одних частиц без проявления присутствующих в том же слое следов других или проявление только концевых участков (при том заданной длины) следов без проявления их начальных участков. Следовательно, выбор экспозиции становится фактором дискриминации, причем в основе дискриминации лежат различия дисперсности скрытого изображения вдоль следа, выражаемые различием плотностей зерен и вероятностей проявления вдоль следа.

Полученные на рис. 7 кривые при сопоставлении с прямым опытом подтвердились не вполне. Как видно из рисунка, экстраполяция, казавшаяся вполне логичной, привела к завышенным значениям плотности проявленного эмиттера: фактические значения ее для порога проявления тех или иных следов на ту или иную длину меньше расчетных. Пока можно предположить единственное объяснение такого расхождения: более сложный характер экспозиционной зависимости диффузии ионов V_2^+ в регистратор, чем аналогичной зависимости почернения. Для почернения действует простая однозначная зависимость, выражаемая обычной характеристической кривой эмульсионного слоя, но для количества ионов V_2^+ и, особенно, для их распределения в объеме регистратора зависимость не столь проста и, быть может, даже неоднозначна: о некоторых причинах этой сложной зависимости, в частности о приповерхностном накоплении ионов, уже говорилось выше.

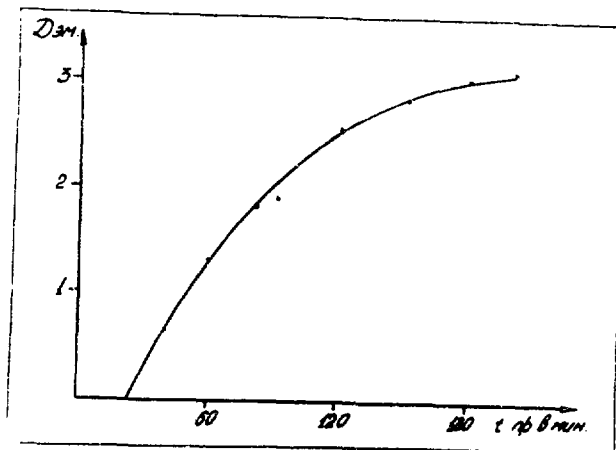


рис. 1. Зависимость оптической плотности почернения эмиттера, Д_{ам}, от длительности холодной стадии проявления

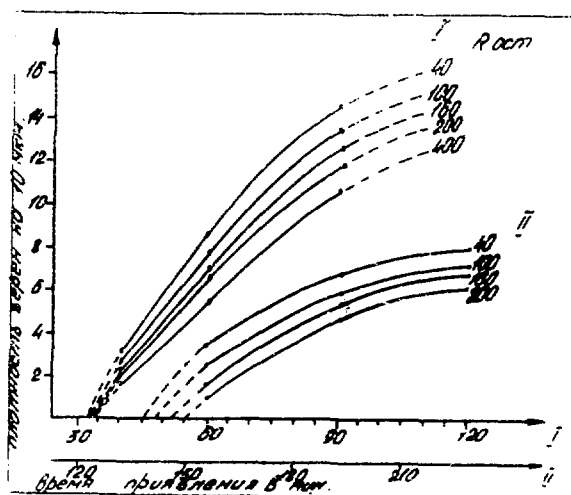


Рис. 2. Кинетика холодной стадии проявления следов α -частиц на различных участках остаточного пробега, R ост., в регистраторе против:
 I - неэкспонированной половины эмиттера,
 II - экспонированной половины эмиттера.

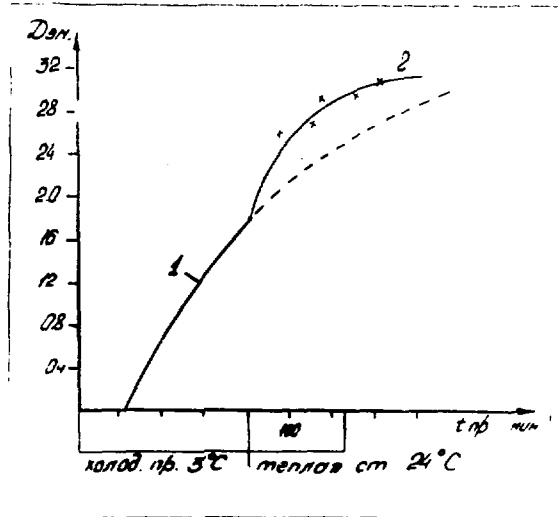


Рис. 3. Кривые оптической плотности почернения Дэм на холодной (1) и теплой (2) стадиях проявления.

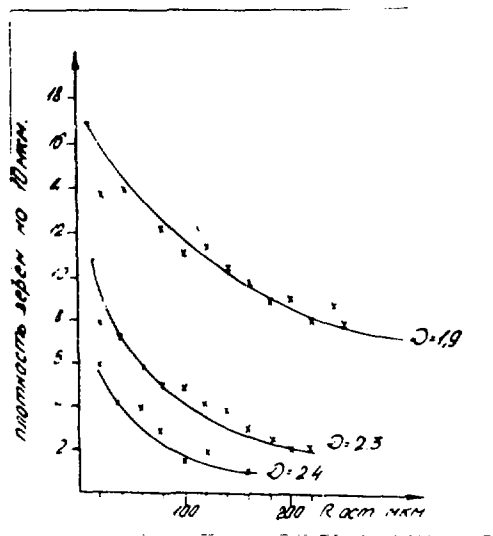


Рис. 4. Зависимость плотности зерен - остаточный пробег на следах α - частиц для трех значений плотности почернения Дэм.

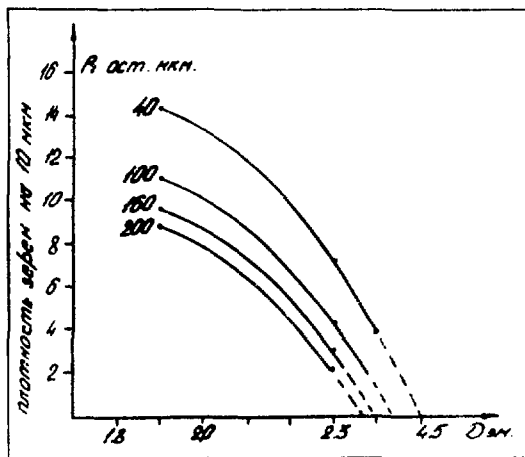


Рис. 5. Плотность зерен следов α -частиц на различных участках остаточного пробега, R ост., как функция Дэм.

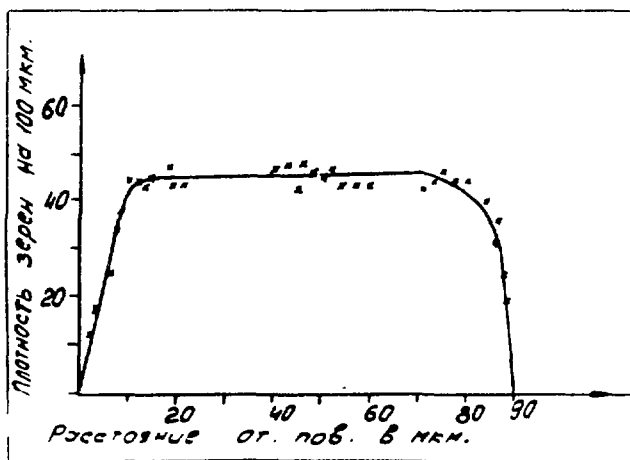


Рис. 6. Картина распределения плотности зерен на следах релятивистского углерода ($E = 3,6$ ГэВ/нуклон) по толщине слоя.

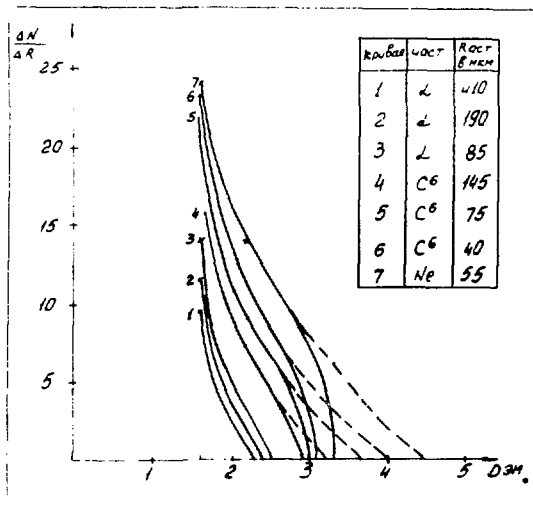


Рис. 7. Зависимость проявляемости центров скрытого изображения различной дисперсности от величины Дэм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акопова А.Б., Маградзе Н.В., Моисеенко А.А., Мурадян С.Х., Овнанян К.Н. Метод избирательного проявления толстослойных ядерных эмульсий. Препринт ЭФИ-671(61)-83, Ереван, 1983.
2. Картужанский А.Л. Сравнение дисперсности скрытого изображения, образованного действием света и действием ионизирующих частиц. ЖН и ПФЖ, 1964, 9, 34, 276.

Рукопись поступила 16 апреля 1985г.

А. Б. АКОПОВА, М. М. АРУТЮНЯН, А. Л. КАРТУЖАНСКИЙ,
Н. В. МАГРАДЗЕ, А. А. МОИСЕЕНКО, К. М. ОВНАНЯН, Т. С. ЧАЛАБЯН

СЕНДВИЧНЫЕ ЯДЕРНО-ЭМУЛЬСИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЭМИТТЕР-РЕГИСТРАТОР-
ЭМИТТЕР С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Редактор Л. П. Мукаян

Технический редактор А. С. Абрамян

Подписано в печать 5/УШ-85г.
Офсетная печать. Уч. изд. л. 1,5
Зак. тип. № 387

ВФ-03805 Формат 60x84/16
Тираж 299 экз. Ц. 22 к.
Индекс 3624

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, Маркаряна 2

индекс 3624



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ