

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-85-125

Г.А.Кононенко, В.В.Кузнецов, В.М.Цупко-Ситников

**ЗАВИСИМОСТЬ
СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ ТИПА Р-НИКФИ
ОТ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ, ТИПА ПРОЯВИТЕЛЯ
И РЕЖИМА ПРОЯВЛЕНИЯ**

1985

ВВЕДЕНИЕ

В магнитных бета-спектрографах /8/, используемых для изучения электронов внутренней конверсии /ЭВК/, в качестве детектора излучения применяется ядерная фотоэмульсия типа Р-НИКФИ /Р-2/ /5/.

В результате процессов взаимодействия электронов с фотоэмульсией и последующей ее химической обработки осуществляется преобразование исследуемого распределения интенсивности излучения ЭВК в распределение пропускания τ или оптическую плотность $D = -\lg \tau$ в соответствии с передаточной характеристикой этого процесса, называемой характеристической кривой /ХК/.

Измерения, проведенные авторами на бета-спектрограммах с помощью фотометрической аппаратуры, позволяющей измерять оптические плотности в диапазоне $D = 0,01-5^{1,2/}$, показали, что максимальные оптические плотности на них не превышают значений $D = 3,6-3,8$. Анализ формы сильных спектральных линий указывает на резкий нелинейный ход ХК в области $D > 3$, свидетельствующий о наступлении насыщения оптической плотности на бета-спектрограммах уже для $D \approx 4$. Линейная область на ХК ограничена значениями $D = 0,8-1,5$ для разных спектрограмм /10,14/, а рабочая область - значением $D < 3$.

Отмеченные особенности ХК приводят к сложной процедуре математической обработки бета-спектрограмм и являются одной из причин необходимости использования источников с высокой активностью и проведения длительных экспозиций на бета-спектрографах, что ограничивает их возможности по исследованию короткоживущих нуклидов. Ограничиваются при этом и возможности по изучению структуры L-, M- групп ЭВК чистых по мультипольности переходов типа E1 и M1, для которых отношения интенсивностей линий L1: L3 могут достигать больших значений - порядка ста, что, в свою очередь, требует широкого диапазона регистрации интенсивностей ЭВК.

Поэтому изменение формы и наклона ХК, обеспечивающее увеличение ее линейной области, рабочего диапазона оптических плотностей и регистрируемых интенсивностей на бета-спектрограммах, является актуальной задачей методики регистрации с использованием ядерных фотоэмульсий.

Возможности получения высоких оптических плотностей / $D > 5$ / на фотоэмульсиях Р-НИКФИ с толщиной фотослоя в несколько десятков микрометров при облучении электронами с глубиной проникновения от долей микрометра / $E_e \approx 5$ кэВ/ до полной толщины фотослоя / $E_e \approx 200$ кэВ/ до сих пор не рассматривались, главным образом, из-за отсутствия соответствующей измерительной аппаратуры.

Если считать, что оптическая плотность соответствует приблизительно числу проявленных зерен, то в случае разной глубины проникновения электронов достижимая плотность будет различна и ее величина определится прежде всего концентрацией галогенного серебра в фотоэмульсии. Помимо свойств фотослоя на достижимые значения D будут влиять тип используемого проявителя и выбранный режим проявления. От этих же факторов будет зависеть форма и величина наклона ХК к оси экспозиций.

В настоящей работе рассматриваются следующие вопросы:

1. Предельные возможности фотослоев Р-НИКФИ в получении больших оптических плотностей в случае облучения их электронами малых энергий, обладающих глубиной проникновения в фотоэмульсию, меньшей, чем ее толщина.

2. Влияние типа проявителя /амидолового и D-19 "Кодак"/ и режимов проявления /в неподвижном растворе и при активном перемешивании/ на результаты проявления.

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ Р-НИКФИ. ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ НАСЫЩЕНИЯ ОТ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ

Известно, что ХК любых фотоматериалов ограничены сверху значением оптической плотности насыщения - $D_S^{3/}$, которое определяется свойствами самого фотослоя: если экспонированы все микрокристаллы галогенного серебра, то дальнейшее увеличение экспозиции не приводит к росту оптической плотности.

Насыщение D_S определяется прежде всего концентрацией галогенного серебра в фотослое и его толщиной. Существенное влияние на результаты может оказывать тип проявителя и режим проявления, приводящие к различной форме и внутренней структуре получаемых зерен серебра ^{/3,4/}.

Для ядерных фотоэмульсий /Р-НИКФИ, G-5 и т.д./ характерно высокое содержание галогенного серебра - до 50% по объему ^{/4/}. Они имеют микрокристаллы приблизительно одинакового размера сферической формы, со средним диаметром $\sim 0,28$ мкм ^{/5/}. Исходя из объемной концентрации и среднего диаметра одного микрокристалла можно рассчитать среднее свободное расстояние между ними. Оно приблизительно равно 0,04 мкм.

Рассматривая однородный слой проявленных зерен, т.е. зерна, расположенные в пределах одной плоскости, определим коэффициент пропускания τ в случае полной непрозрачности зерен. Он будет равен доли поверхности фотоэмульсии, не занятой зернами: $\tau = 1 - n \cdot \bar{f}$, где n - число зерен на единицу поверхности фотоэмульсии, \bar{f} - средняя площадь проекции одного зерна. Оптическая плотность $D = -\lg \tau$, и, следовательно, $D = -\lg(1 - n \cdot \bar{f})$.

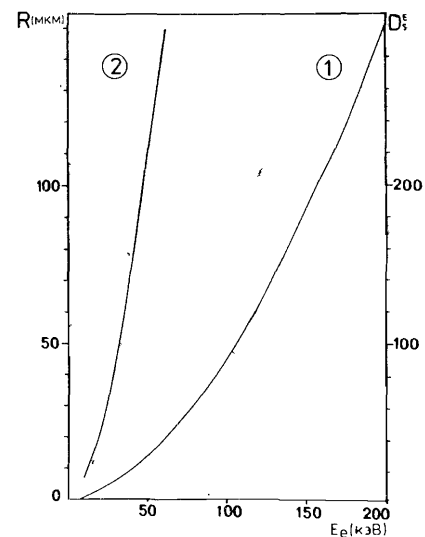


Рис.1. Зависимость пробега (R) от энергии электронов E_e для ядерных эмульсий - кривая 1; значения оптической плотности насыщения D_S^E в функции энергии электронов, полученные расчетным путем, - кривая 2.

Если считать, что зерно после проявления имеет диаметр исходного микрокристалла, то, учитывая среднее свободное расстояние между ними, для $n = 1,24 \cdot 10^7$ и $f = 6,16 \cdot 10^{-8}$ мм² получим $D = 0,63$. Отсюда для толщины фотослоя в 50 мкм, с учетом того, что каждый последующий слой будет вносить такую же плотность, следует, что $D_S = 114$.

При облучении фотоэмульсии электронами оптическая плотность насыщения будет определяться также проникающей способностью электронов, зависящей от их энергии. На рис.1 /кривая 1/ представлены рассчитанные по эмпирической формуле ^{/6/}

$$R = \left(\frac{E}{10,8} \right)^{1,72'} \text{ мкм/кэВ}$$

величины пробегов электронов в ядерной эмульсии в зависимости от их энергии. Из этого выражения следует, что энергиям электронов в диапазоне 5-200 кэВ соответствуют пробеги от 0,3 до 150 мкм. Так как треки электронов искривлены из-за сильного рассеяния, то средняя глубина проникновения их в фотослой приблизительно в 1,5-4 раза меньше длины пробега ^{/7/}. Для фотопластинок Р-НИКФИ с толщиной фотоэмульсии 50 мкм энергия полного пробега составляет ~ 200 кэВ ^{/8/} и, таким образом, оптическая плотность насыщения может изменяться в десятки раз для электронов с энергией от 5 до 200 кэВ.

Величина D_S получена нами в предположении, что размер и форма проявленных зерен соответствует исходным для кристаллов галогенного серебра. Однако это не так. Тип проявителя, режим проявления, а также энергия электронов оказывают существенное влияние на проявляемые кристаллы ^{/3/}. Коэффициент увеличения размера зерна при облучении светом составляет приблизительно 1,1-1,3 ^{/4/}, а для электронов этот параметр выше и по данным работы ^{/9/} для Р-НИКФИ составляет 2,1±0,3.

Вследствие малого среднего свободного расстояния между микрокристаллами этот эффект должен приводить к слиянию отдельных

проявленных зерен в сплошной слой и, таким образом, при экспонировании всего лишь одного слоя микрокристаллов должны получаться очень высокие оптические плотности.

Так, при исследовании на бета-спектрографе низкоэнергетической части спектра ЭВК ^{169}Yb на фотопластинках Р-НИКФИ мы получили оптическую плотность $D = 1,6$ при энергиях электронов $E_e \approx 5$ кэВ без признаков явного насыщения линий $^{10/}$. Экспериментальные исследования, проведенные рядом авторов, изучавших действие медленных электронов на фотоэмульсию, также подтверждают полученные выводы. В работе $^{11/}$ рассматривалось действие электронов малых энергий на фотоэмульсию G-5 Ильффорд, близкую по химическому составу к фотоэмульсии Р-НИКФИ. Проявление фотопластинок, толщина которых составляла 10 мкм, осуществлялось проявлением $D-19$ /5 минут при 18°C /. Для электронов с энергией 5 кэВ, проникающая способность которых оценивается в $0,3$ мкм $^{9/}$, получены оптические плотности $D = 3$ без признаков явного насыщения. В работе $^{12/}$ для этого же типа фотоэмульсии /проявление 10 минут при температуре $20,5^\circ\text{C}$ в проявителе $D-19B$ / и энергии электронов 7,3 кэВ достигнута плотность $D = 4$ с тенденцией к насыщению ХК.

Принимая оптическую плотность насыщения D_S^E при облучении электронами с энергией 7,3 кэВ равной 4, можно оценить значение этого параметра при облучении электронами других энергий. На рисунке 1 /кривая 2/ показана эта зависимость ($D_S^E = D_S^E(E_e)$). При расчетах для рассмотренного диапазона энергий мы полагали, что средняя глубина проникновения электронов в фотоэмульсию в два раза меньше их длины пробега R /кривая 1 на этом же рисунке/.

Как видно, для используемого обычно диапазона энергий электронов $E_e > 30$ кэВ ядерные фотоэмульсии с толщиной слоя 50 мкм позволяют получать очень высокие оптические плотности ($D > 5$).

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПРОЯВИТЕЛЯ И РЕЖИМА ПРОЯВЛЕНИЯ НА ФОРМУ И НАКЛОН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ Р-НИКФИ

Известное аналитическое выражение для ХК фотоэмульсии, облучаемой электронами, вывод которого можно найти, например, в работах $^{4,13/}$, имеет вид

$$D = D_S^E \cdot (1 - e^{-Q}), \quad Q = H \cdot \epsilon, \quad /1/$$

где ϵ, H - эффективность регистрации электронов данной энергии и экспозиция соответственно, Q - электронная плотность $^{17/}$.

Это выражение будет описывать ХК фотоэмульсии также в случае облучения γ -квантами или рентгеновским излучением $^{3/}$.

На рис.2 представлено семейство ХК, рассчитанных по этому выражению для электронов разных энергий и соответствующих им

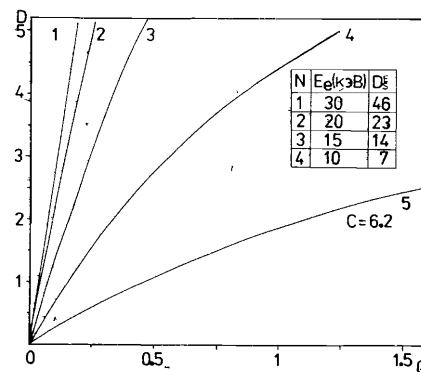


Рис.2. Характеристические кривые, построенные по выражению /1/ для четырех значений D_S^E /графики 1-4/ и по выражению /2/ - /график 5/.

значений D_S^E . По этим кривым видно, что в рабочем диапазоне оптических плотностей $D \leq 5$, начиная с энергий электронов $E_e = 20$ кэВ, ХК могут быть представлены линейными функциями.

В то же время ХК, получаемые экспериментально, имеют значительное отклонение от линейного закона в области небольших плотностей $^{15,18/}$. Так, ранее мы получили ХК для фотоэмульсии Р-НИКФИ с толщиной фотослоя 70 мкм $^{14/}$ по методике, описанной в работах $^{8,15/}$. Диапазон измеряемых оптических плотностей был ограничен значением $D = 2,7$, что было связано в то время с возможностями аппаратуры, использованной для измерений $^{1/}$. Нижняя граница энергий электронов составляла ~ 30 кэВ. Для аналитического описания полученной экспериментальной ХК было применено выражение $^{15-18/}$

$$H = \frac{1}{\epsilon} \cdot (10^{D/C} - 1), \quad /2/$$

С учетом погрешностей измерений данное выражение хорошо описывает экспериментальные точки при значении параметра: $C = 6,2$, для D , меньших 2,7.

На рис.2 приведена также ХК, рассчитанная по выражению /2/ для $C = 6,2$. Как видно, её форма имеет существенное отклонение от линейного закона уже в области $D = 2$.

Приемлемость выражения /2/ для описания экспериментальных ХК при облучении ядерных фотоэмульсий электронами была подтверждена рядом авторов для небольшого диапазона оптических плотностей $^{15-18/}$. Нами же было показано это для более широкого диапазона/до $D = 2,7$ $^{14/}$. При более высоких плотностях результаты получаются неудовлетворительные. Для подтверждения этого достаточно рассмотреть полуширины одиночных линий в спектрах ЭВК, имеющих у нас бета-спектрограмм. Линии, которым соответствуют в максимумах оптические плотности $D = 3$ и выше, имеют отличающиеся полуширины /на 30-60%/ от близлежащих линий такого же типа, но с меньшими значениями D в максимумах. Пересчет к величине $Q = H \cdot \epsilon$ в соответствии с ХК не восстанавливает их полуширины. Это говорит о том, что ХК идет еще более полого в области $D > 3$.

Отметим, что оптические плотности выше, чем $D = 4$, в спектрограммах с толщиной фотослоя 30 мкм /70 мкм до химической обработки/ для энергий электронов с пробегами, близкими к полной

толщине фотослоя или выше, нами не наблюдались. Это может быть объяснено как результат ограниченных экспозиций, однако, учитывая поведение полуширин линий, можно утверждать, что данный эффект скорее всего вызван насыщением оптической плотности.

В то же время с помощью выражения /2/ нельзя описать эффект насыщения оптической плотности ни при каких значениях параметра C , что указывает на ограниченность применения данного выражения. Использование выражения /1/ вместо /2/ для описания тех же точек экспериментальной ХК возможно при значении параметра $D_S^E = 4,5$. Однако это не дает положительных результатов для интенсивных линий с $D = 3,6-3,8$ в максимумах. Более точное восстановление формы таких линий возможно при значении параметра $D_S^E = 3,9$, но это приводит к неверным результатам для спектральных линий, имеющих более низкие значения оптических плотностей в максимумах $/1,5 < D < 3/$. Из сказанного следует, что рассмотренные выражения хорошо работают лишь в ограниченном диапазоне оптических плотностей для данных бета-спектрограмм. Область насыщения на бета-спектрограммах расположена гораздо ниже, чем то значение, которое может обеспечить фотоэмульсия для данной энергии электронов, и определяется она, скорее всего, эффектами проявления.

Учет проявления в выражении /1/ ограничен влиянием этого процесса на значение величины D_S^E за счет увеличения площади проекции отдельного зерна. Кроме того, предполагается, что для любой экспозиции проявляются только экспонированные микрокристаллы и причем все. Такие условия для данного типа проявителя и выбранного режима проявления выполняются лишь для ограниченных экспозиций. Известно, что поступление проявителя в фотослой осуществляется за счет процесса диффузии. Высокая концентрация галогенного серебра в слое ядерных фотоэмульсий и значительная их толщина приводят к затруднительному диффузионному обмену между фотоэмульсией и раствором проявителя. Кинетика проявления таких слоев является чисто диффузионной. Первоначально проникшего в фотослой проявителя недостаточно для полного проявления участков, получивших большую экспозицию, а скорость расхода его выше, чем скорость диффузии свежего проявителя в фотоэмульсию и продуктов реакции из нее ^{/19/}. Тогда, при ограниченном времени проявления спектрограмм, определяемом в конечном итоге скоростью проявления неэкспонированных микрокристаллов /процесс образования вуали/, это приводит к истощению проявителя в реакционном объеме фотоэмульсии, вызывающему резкое снижение скорости проявления на участках с большими экспозициями вплоть до полного прекращения проявления. Это может вызвать эффект "насыщения" оптической плотности.

Скорость диффузии не остается постоянной, если проявление ведется в неподвижном растворе или степень его перемешивания недостаточна для полного разрушения пограничного слоя, образу-

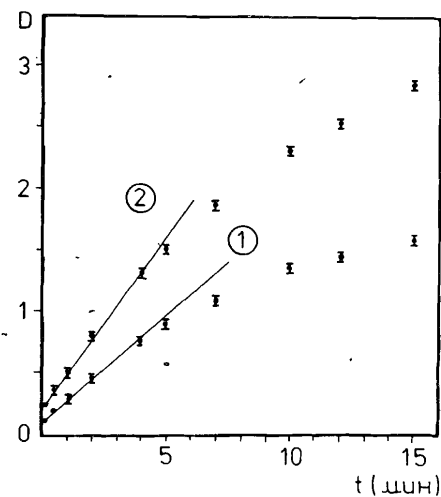


Рис.3. Характеристические кривые фотопластинок Р-НИКФИ после обработки их в неподвижном растворе амидолового проявителя/кривая 1/и при проявлении с кистью — кривая 2. Время проявления — 10' минут, температура раствора — 24°C.

щегося из продуктов реакции на поверхности фотоматериала в процессе проявления. Толщина пограничного слоя для обычных фотоэмульсий достигает значения 200-250 мкм ^{/19/} и, таким образом, является дополнительным препятствием для диффузии све-

жего проявителя в реакционный объем и продуктов реакции из него.

Известно, что разрушение пограничного слоя может оказывать существенное влияние на скорость проявления ^{/3/}. Мы использовали этот факт для проверки сделанного выше предположения о неполном проявлении участков, получивших большую экспозицию на фотопластинках Р-НИКФИ, при использовании амидолового проявителя ^{/8,15/}. Результаты приведены на рис.3 /кривые 1 и 2/. Для разрушения пограничного слоя использовалось т.наз. проявление с кистью, при котором по поверхности фотоматериала в течение всего времени проявления перемещается мягкая резиновая кисть ^{/3/}.

Кривые были получены следующим образом. Фотопластинка разрезалась на 20 частей, которые затем попарно складывались эмульсией к эмульсии и облучались от источника ¹³⁷Cs /прямое облучение в воздухе/. Полученные две группы экспонированных фотопластинок проявлялись в амидоловом проявителе. Первая группа — в неподвижном растворе — кривая 1; вторая — с использованием резиновой кисти — кривая 2. Проявитель был приготовлен по рецепту, описанному в работе ^{/5/}, рН раствора устанавливалось прибором РН-121. Температура раствора проявителя в обоих случаях была +24°C, время проявления — 10 минут.

Так как точкам, имеющим одни и те же времена облучения, соответствуют одинаковые экспозиции, то увеличение оптической плотности для кривой 2 от соответствующих точек кривой 1 говорит о том, что первая группа фотопластинок была недопроявлена. Активное проявление с кистью /кривая 2/ изменило наклон и форму ХК. Линейная область увеличилась, плотность насыщения возросла. Однако даже в этом случае нелинейная зависимость D от H /или t / сохранилась.

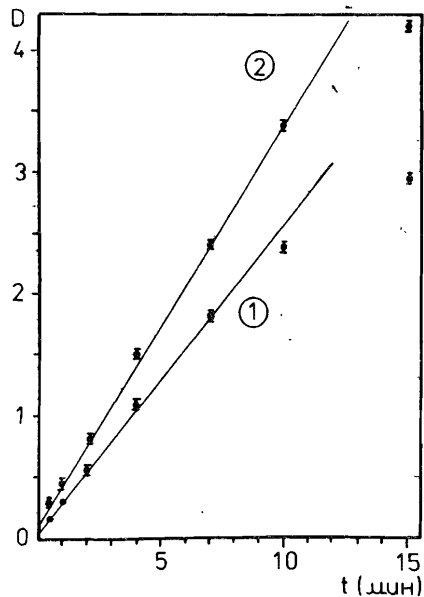


Рис.4. Характеристические кривые фотоэмульсии Р-НИКФИ после их обработки в проявителе D-19. Кривая 1 - неподвижный раствор, кривая 2 - активное перемешивание проявителя кистью. Время проявления - 10 минут, температура раствора - 20°C.

На рис.4 приведены два графика, соответствующие также двум режимам проявления - в неподвижном растворе - кривая 1 и при проявлении с кистью - кривая 2, полученные при использовании проявителя D-19. Этот проявитель рекомендован для многих типов фотоматериалов, используемых в научных исследованиях. Он допускает в отличие от амидолового проявителя дол-

гое хранение, и проявление может идти при более низких температурах $+18 \div +0^\circ\text{C}$. Время проявления подбирается опытным путем и обычно составляет 5-10 мин ^{/20/}.

Схема опыта была той же самой, так что точки на графиках, соответствующие одним и тем же временам облучения, характеризуются одинаковыми экспозициями для всех четырех кривых на рис.3 и 4.

Как можно видеть, для проявителя D-19 в рассматриваемом диапазоне величин D характерны небольшие отличия в получаемых оптических плотностях при активном перемешивании раствора /кривая 2/ от оптических плотностей при проявлении в неподвижном растворе /кривая 1/. Этот проявитель позволяет вести проявление тем объемом, который первоначально проник в фотоэмульсию, и получать при этом высокие значения оптических плотностей. Проявление с кистью дает заметный вклад в области оптических плотностей $D > 2,5$. Наличие обширной линейной области на ХК, полученной при проявлении с кистью в проявителе D-19, подтверждает то, что определяющее влияние на форму ХК оказывают тип проявителя и режим проявления. Как видно из рис.4 /кривая 2/, линейная область сохраняется до значений $D = 3,5$. Это дает возможность исследовать бета-спектрограммы в единицах оптической плотности, не прибегая к пересчету их к единицам Q, так как отношения интенсивностей линий $K:L_1:L_2:L_3 \dots$ если максимумы их не выходят за пределы линейного участка ХК, при этом не изменятся.

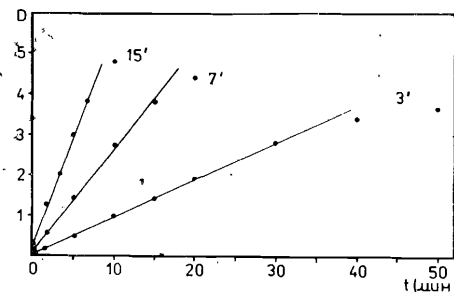


Рис.5. Характеристические кривые фотоэмульсии Р-НИКФИ, полученные при разных временах проявления /15, 7 и 3 минуты/ в проявителе D-19 при активном перемешивании раствора проявителя кистью.

Влияние толщины фотослоя, непостоянство времени проявления, небольшие отклонения в температуре раствора, в кинетике проявления и т.д. будут приводить лишь к небольшому изменению наклона ХК, что не скажется на значениях отношения интенсивностей линий.

Не менее важной задачей является выбор наклона ХК фотографического процесса, так как это позволяет регулировать диапазон регистрируемых интенсивностей. На рис.5 приведены ХК, полученные при разных временах проявления в проявителе D-19 и активном перемешивании раствора кистью. Изменение наклона ХК и, главное, сохранение при этом линейной области до больших D представляет интерес для решения этой задачи. Однако такой подход требует более тщательного рассмотрения.

В ряде случаев бета-спектрограммы приходится проявлять в неподвижном растворе проявителя или же при слабом перемешивании, что вызвано слабой механической прочностью эмульсии после извлечения фотоэмульсионки из вакуума. Преимущества использования проявителя D-19 здесь также очевидны.

Выводы

1. Фотоэмульсия Р-НИКФИ, благодаря высокой концентрации галогенного серебра и значительной толщине фотослоя, позволяет получать очень высокие оптические плотности $D > 5$ практически для всего рабочего диапазона энергий электронов. Исключение могут составлять лишь электроны очень низких энергий $E_e < 5 \text{ кэВ}$.
2. Использование амидолового проявителя приводит к недопроявлению участков, получивших большую экспозицию, в результате чего ХК имеют тенденцию к быстрому насыщению. Для проявления больших плотностей и получения равномерного проявления его лучше вести в реактивах, обладающих меньшей подверженностью к снижению скорости проявления на участках, получивших большие экспозиции / D-19, D-19B, XD-20 и т.п./, а кинетику проявления делать менее диффузионной за счет разрушения пограничного слоя.

3. При использовании проявителя D-19 в сочетании с механическим разрушением пограничного слоя на поверхности фотоматериала /проявление с кистью/ получается контрастная ХК с протяженной линейной областью до $D = 3,5$. Это позволяет применять в бета-спектрографах источники с меньшей активностью и расширить возможности по изучению короткоживущих изотопов.

4. Линейная зависимость D от H позволяет определять относительные интенсивности линий ЭВК из спектра, представленного в единицах оптической плотности, что упрощает математическую обработку спектров и существенно повышает точность определения относительных интенсивностей линий ЭВК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кононенко Г.А., Кондрат Е.Т., Цупко-Ситников В.М. ОИЯИ, Р6-83-205, Дубна, 1983.
2. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, Р6-81-696, Дубна, 1981.
3. Миз К., Джеймс Т. Теория фотографического процесса. "Химия", Л., 1973.
4. Фризер Х. Фотографическая регистрация информации. "Мир", М., 1978
5. Труды Всесоюзного научно-исслед. кинофотоинститута. 1957, вып. 11/21/.
6. Sevier K.D. Nucl. Instr. and Meth., 1963, vol. 22, No 2.
7. Стародубцев С.В., Романов А.М. Прохождение заряженных частиц через вещество. АН УзССР, Ташкент, 1963, с. 204.
8. Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Умаров Г.Я. Бета-спектрографы с постоянными магнитами. ФАН, Ташкент, 1970.
9. Перфилов Н.А., Новикова Н.В., Захаров В.И. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематограф, М., 1963, т. 8, №1.
10. Абдуразаков А.А. и др. Тезисы докл. XXXI совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Самарканд, 14-16 апреля, 1981, "Наука", Л., 1981, с. 623.
11. Shepp A., Whithney R.E., Masters J.I. Photographic science and engineering, 1976, vol. 11, No 5.
12. Burge R.E., Garrand D.E., Brown M.T. Journal of Scientific Instrument (Journal of Physics E), 1968, ser. 2, vol. 1.
13. Valentin R.C. Laboratory Investigation, 1965, vol. 14, No 6, Pt2.
14. Абдуразаков А.А. и др. Тезисы докл. XXX совещ. по яд. спектр. и структуре ат. ядра. 18-21 марта. "Наука", Л., 1980.
15. Абдумаликов А.А. и др. Изв. АН УзССР, сер. физ-мат наук, 1962, т. 1, с. 37.
16. Ellis C.D., Wooster W.A. Proc. Roy. Soc., 1927, A114, p. 226.
17. Slatis H. Arkiv for Fysik, 1954, 8, p. 441.
18. Kormicki J. et al. Nucleonica, 1966, 11, p. 755.

19. Блюмберг И.Б. Технология обработки кинофотоматериалов. "Искусство", М., 1975.

20. Крауш Л.Я. Обработка фотографических материалов. "Искусство", М., 1975.