

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 539.1.074

МАРГАРЯН КРИЙ ЛЕДВИГОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ РЫСЛЫХ
ДИЭЛЕКТРИКОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТОГО ПРОЦЕССА
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ

(01.04.16. - физика атомного ядра и элементарных частиц)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ЕРЕВАН - 1985

Работа выполнена в Ереванском физическом институте и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна.

Научный руководитель: Кандидат физико-математических наук Кавалов Р.Д.

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических наук Тер-Акопьян Г.М. (ЛЯР ОИЯИ)
Кандидат физико-математических наук Мерзон Г.И. (ФИАН СССР).

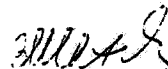
Ведущее научно-исследовательское учреждение: Радиевский институт им. В.Г.Хлопина, г. Ленинград.

Защита состоится " _____ " _____ 1985 г. в _____ часов на заседании Специализированного совета Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте (г. Ереван-36, ул. маргаряна 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1985 г.

Ученый секретарь Специализированного совета

 Б.А. шахбазян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Успехи экспериментальной ядерной физики и физики высоких энергий неразрывно связаны с развитием техники эксперимента и методов регистрации частиц. Поиск новых принципов и методов регистрации частиц является одним из актуальных направлений развития методики современного эксперимента. Если в современной физике высоких энергий развитие ускорительной техники и методики экспериментов в основном происходит гармонично, то в области ядерной физики и физики тяжелых ионов заметно опережение ускорительной техники и ощущается нехватка методик, позволяющих осуществить быструю регистрацию и идентификацию сильноионизирующих короткопробежных тяжелых частиц (ядра отдачи, фрагменты деления и т.д.). Трудности в подобных методических разработках связаны с жесткими требованиями современного прецизионного ядерно-физического эксперимента. К таким требованиям относятся высокое временное и пространственное разрешение детекторов, малое количество вещества по пути регистрируемой частицы, способность работы детекторов в вакууме и т.д. С точки зрения создания детекторов сильноионизирующих частиц, удовлетворяющих перечисленным требованиям, представляет большой интерес процесс управляемой вторичной электронной эмиссии (УВЭЭ) из рыхлых диэлектрических слоев, находящихся в электрическом поле. Этот интерес вызван тем, что характерное время формирования вторичного тока в эмиттере УВЭЭ не превышает 10^{-10} с, а область локализации вторичных электронов в рыхлом слое диэлектри-

ка вокруг трека пролетающей частицы составляет десятки микрометров, кроме этого, эмиттеры УВЭЭ содержат по толщине крайне малое ($\sim 10^{-4}$ г/см²) количество вещества и обеспечивают высокий коэффициент эмиссии электронов ($\sim 10^2$) в условиях вакуума не хуже 10^{-5} Торр. Однако эти данные УВЭЭ получены при исследовании процесса для первичных релятивистских электронов, а для частиц, ионизирующие способности которых $10^2 - 10^3$ раз выше чем у релятивистских электронов, процесс УВЭЭ практически не был исследован.

С учетом вышеизложенного, тематика выполненной диссертационной работы, посвященной систематическим исследованиям процесса УВЭЭ для первичных α -частиц и созданию детектора частиц на основе этого процесса, представляется актуальной.

Цель работы заключается в проверке модельных представлений процесса УВЭЭ, а также в получении новых сведений о характере взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, находящимся в рыхлом состоянии при наличии в нем сильного электрического поля.

Кроме этого, целью проведенных работ является создание детекторов ионизирующих частиц на основе эмиттеров УВЭЭ и их использование в конкретных физических экспериментах.

Научная новизна работы. Впервые проведены исследования процесса УВЭЭ из MgO при прохождении α -частиц. Впервые процесс переноса электрическим полем вторичных электронов в пористых диэлектриках рассмотрен по аналогии с каскадным размножением частиц в канальных умножителях. Впервые показано, что флуктуации числа эмиттированных электронов при УВЭЭ описываются распределением Пуассона. Впервые показано, что эмиттеры УВЭЭ

хорошо реагируют на ионизирующие способности пролетающих частиц, и детекторы на их основе будут обладать пороговым свойством. Впервые оценено значение энергии образования пары ионов в рыхлых диэлектриках. Для рыхлых слоев MgO впервые измерены энергетические спектры вторичных электронов и определена длина среднего свободного пробега этих электронов в слое.

Разработаны и созданы детекторы ионизирующих частиц на основе УВЭЭ, в которых впервые осуществлен изохронный перенос вторичных электронов от эмиттера на микроканальные пластины.

Созданы времяпролетные системы на основе детекторов УВЭЭ, которые впервые апробированы в реальных условиях физического эксперимента.

Практическая ценность. В результате проведенных работ показано, что рыхлые диэлектрические эмиттеры являются аналогом микроканальной пластины, широко используемой в различных областях науки и техники в качестве усилителя тока, детектора частиц, передающего изображение прибора, и т.д. Эта аналогия инициирует новые работы по исследованию возможностей замены микротрубок эмиттерами УВЭЭ, которые значительно дешевле и легко изготавливаются по сравнению с мкТ.

Наряду с этим, основная практическая ценность работы заключается в создании новых сверхтонких быстрых детекторов частиц, которые, на наш взгляд, найдут широкое применение в ядерно-физических экспериментах для регистрации и идентификации тяжелых многозарядных частиц времяпролетным методом.

На защиту выносятся:

I. методика экспериментального исследования процесса управляемой вторичной электронной эмиссии.

2. Экспериментальные результаты исследования УВЭЭ (коэффициенты эмиссий, статистические и энергетические распределения вторичных электронов) для рыхлых слоев MgO , облучаемых α -частицами и релятивистскими электронами.

3. Результаты анализа экспериментальных данных и полученные значения длины среднего свободного пробега вторичных электронов в рыхлом MgO ($\bar{L}_e \approx 5 \cdot 10^{-4}$ см), а также энергии ($Q \approx 0,15 \pm 0,5$ кэВ), затрачиваемой первичной частицей на образование пары электрон-дырка в слое.

4. конструкция, принцип работы и результаты исследований рабочих характеристик детекторов на основе УВЭЭ.

5. Результаты апробирования детекторов УВЭЭ и времяпролетных спектрометров на их основе в условиях реального эксперимента на пучке тяжелых ионов и внутреннем пучке электронного синхротрона Ерфи.

Апробация работы. Результаты, полученные в диссертации, докладывались на Советании по экспериментальным установкам У-400 (Дрезден, ГДР, 1982), на Втором советании по вторичному электронному излучению (Ленинград, 1983), на сессии Отделения ядерной физики АН СССР (Москва, 1984), а также на IV конференции молодых ученых Ерфи (Нор-Амберд, 1979) и на семинарах Ерфи и ЛЯР ОИЯИ.

Публикации. Основной материал диссертации содержится в десяти публикациях, список которых приводится в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит две таблицы и 45 рисунков.

Список цитируемой литературы включает 104 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность проведенных исследований, формулируется их цель и приводится краткое содержание каждой из глав диссертационной работы.

В первой главе приведен краткий обзор литературы по вторичной электронной эмиссии из пористых диэлектриков. Отмечается отсутствие данных по исследованию этих процессов при прохождении сильноионизирующих частиц. Освещены основные преимущества процесса управляемой вторичной электронной эмиссии (УВЭЭ) над процессом аномальной вторичной электронной эмиссии (АВЭЭ) с точки зрения практического использования.

Описана высоковакуумная экспериментальная установка по исследованию УВЭЭ для первичных α -частиц с энергией 5,5 МэВ и релятивистских электронов с энергией 0,5±2,2 МэВ. Для определения абсолютного числа эмиттированных электронов при каждом акте прохождения первичной частицы через рыхлый диэлектрический слой использовался метод ускорения и регистрации вторичных электронов (в совпадении с первичной частицей) с измерением их суммарной энергии сцинтилляционным спектрометром на основе кристалла антрацена. С помощью образцовых спектрометрических γ -источников проведена калибровка спектрометра вторичных электронов, позволяющая осуществить переход от энерговыделения в кристалле антрацена к числу электронов в группе. Энергетическое разрешение спектрометра для электронов с энергией 14 кэВ составило $\pm 25\%$. Энергетические спектры эмиттированных электронов измерялись методом тормозящего электрического поля.

Дано обоснование выбора окиси магния (MgO) в качестве

исследуемого рабочего вещества эмиттеров УВЭЭ и кратко описана технология изготовления рыхлых слоев из этого диэлектрика.

Во второй главе приводятся результаты исследования процесса УВЭЭ из рыхлых слоев MgO толщиной 100 мкм и плотностью 0,7 и 0,35% от плотности монокристалла при облучении их α -частицами с энергией 5,5 МэВ и β -частицами с энергией 0,5±2,2 МэВ.

До настоящего времени для интерпретации процесса УВЭЭ применялась аналогия с несамостоятельным газовым разрядом Таунсенда. Нами показана несостоятельность такой аналогии, ибо существует принципиальная разница между рыхлым диэлектриком и газом, хотя и по плотности они достаточно близки. На самом деле низкая плотность этих слоев обусловлена пористой структурой, и взаимодействие частиц с подобным веществом происходит не на отдельных свободных атомах или молекулах, как в случае газов, а с относительно крупными кристаллическими образованиями, из которых скомпанован рыхлый слой. В таком представлении предполагается, что эмиссия электронов из рыхлого диэлектрика происходит через открытые или сквозные поры, являющиеся аналогом микроканальных умножителей. Для такого процесса получено, что флуктуации P_n числа эмиттированных электронов должны описываться распределением Пуассона:

$$P_0 = (1 + v\bar{n})^{-1/v}$$

$$P_n = (n!)^{-1} \bar{n}^n (1 + v\bar{n})^{-n-1/v} \prod_{i=0}^{n-1} (1 + i/v), \quad n \geq 1,$$

где \bar{n} - среднее число эмиттированных электронов, а v - параметр Пуассона, связанный с дисперсией σ^2 распределения следующим образом:

$$\sigma^2 = v\bar{n}^2 + \bar{n}.$$

Экспериментальные исследования распределений числа эмиттирован-

ных электронов из слоев MgO при различных значениях напряженности управляющего поля показали хорошее согласие с распределением Пуассона как в случае облучения слоев α -частицами, так и в случае облучения β -частицами. Анализ поведения параметра Пуассона в зависимости от напряжения управляющего поля показал, что размножение вторичных электронов в порах слоев MgO начинает сказываться при значениях поля $E \geq 3 \cdot 10^4$ В/см, при этом длина свободного пробега вторичных электронов, на которой происходит их ускорение, в этих слоях должна быть $\bar{L}_e \approx 5 \cdot 10^{-4}$ см. Для проверки данного следствия проводились измерения энергетических спектров вторичных электронов из слоев с плотностью 0,7%. Было показано, что, действительно, средняя энергия эмиттированных электронов линейно зависит от напряженности управляющего поля и, определяемая из этой зависимости длина свободного пробега находится в пределах $\bar{L}_e \approx 4 \pm 6 \cdot 10^{-4}$ см и хорошо согласуется с результатом, полученным из поведения параметра Пуассона. Используя значение \bar{L}_e , оценены размеры микрокристаллов MgO , из которых скомпанован рыхлый слой. Показано, что эти кристаллические образования толщиной $\sim 10^{-4}$ см практически непротреливаемы для медленных вторичных электронов, и их эмиссия из рыхлого слоя может происходить только через открытые или сквозные поры, т.е. подтверждается наше предположение о том, что процесс УВЭЭ из рыхлых диэлектриков аналогичен процессам размножения электронов в микроканальной пластине (МКП). Измерены также отношения как средних коэффициентов УВЭЭ, так и их относительных дисперсий для слоев MgO при облучении α и β -частицами. Для α -частиц достигнуты значения коэффициента УВЭЭ более 10^3 , а отношение этих коэффициентов для α и

β - частиц (так называемое α/β - отношение) в среднем составило $\alpha/\beta \approx 200$. Этим показано, что эмиттеры УВЭЭ чувствительны к ионизационным потерям первичных частиц, и детекторы на основе этого процесса будут обладать пороговым свойством. Показано также, что большие относительные флуктуации коэффициента УВЭЭ, которыми определяется амплитудное (энергетическое) разрешение эмиттеров УВЭЭ, обусловлены высоким значением затрачиваемой энергии образования одного вторичного электрона первого поколения (пары электрон-дырка).

В третьей главе описаны разработанные нами детекторы заряженных частиц на основе УВЭЭ и их основные узлы. В этих детекторах в качестве усилителя вторичного тока, возникающего в цепи эмиттера УВЭЭ при прохождении регистрируемой частицы, использована шевронная сборка из двух МКП. В первом варианте детектора использована изохронная транспортировка вторичных электронов из эмиттера УВЭЭ на микроканальные пластины с помощью постоянного магнитного поля (рис. 1). Во втором варианте детектора перенос вторичных электронов осуществлен с помощью электростатического зеркала (рис. 2).

Приведены результаты исследований рабочих характеристик этих детекторов при регистрации α - частиц и тяжелых ионов. Показано, что детекторы УВЭЭ описанной конструкции по своим рабочим характеристикам особенно перспективны для использования во времяпролетных системах по регистрации и идентификации сильноионизирующих, короткопробежных частиц.

В четвертой главе описаны времяпролетные системы на основе детекторов УВЭЭ и приведены результаты апробирования этих систем под пучком тяжелых ионов циклотрона У-300 ЛЯР ОИЯИ и

под внутренним пучком электронов Бреванского синхротрона.

Времяпролетный спектрометр тяжелых ионов на основе детекторов с магнитным переносом вторичных электронов предназначен для измерения энергии и ее разброса выведенного пучка ионов. Была показана возможность осуществления такой диагностики пучков с хорошим разрешением непосредственно во время проведения экспериментов.

Времяпролетная система на основе детекторов с зеркальным отражением вторичных электронов предназначена для регистрации и идентификации легких фрагментов электрообразования на ядрах при высоких энергиях. Предварительные исследования показали, что благодаря хорошему временному разрешению и пороговому свойству детекторов УВЭЭ система способна на короткой (0,5 м) пролетной базе разделить по массам фрагменты в условиях большого фона релятивистских частиц.

В заключении приведены основные результаты диссертации:

1. Создана высоковакуумная экспериментальная установка для систематических исследований процесса управляемой вторичной электронной эмиссии (УВЭЭ) из рыхлых диэлектриков при облучении их как α - частицами, так и релятивистскими электронами.

2. Для эмиттера УВЭЭ из MgO с относительной плотностью 0,7% и 0,35% измерены распределения числа эмиттированных электронов и впервые показано, что эти распределения как в случае прохождения через них α - частиц, так и минимально ионизирующих β - частиц, хорошо описываются распределением Пуассона.

3. Впервые измерено отношение коэффициентов вторичной электронной эмиссии для (одних и тех же) эмиттеров УВЭЭ из MgO при облучении α - частицами и релятивистскими электро-

нами. Получено, что при одинаковых условиях коэффициент УВЭЭ для α - частиц примерно в двести раз превосходит значение коэффициента для β - частиц, т.е. так называемое " d/β - отношение" для УВЭЭ составляет ~ 200 . Этим показано, что эмиттеры УВЭЭ хорошо реагируют на ионизирующие способности частиц, и детекторы на их основе будут обладать пороговыми свойствами.

4. Проанализировано поведение относительных среднеквадратичных отклонений σ/\bar{n}_e распределений числа эмиттированных электронов при УВЭЭ и показано, что в случае прохождения α - частиц измеренные распределения числа эмиттированных электронов адекватны флуктуациям числа вторичных электронов первого поколения, образованных в рыхлом слое α - частицей. Однако эти электроны первого поколения не являются δ - электронами, ибо их распределение существенно отличается от Пуассоновского. Как возможный механизм отклонения от статистики Пуассона для электронов первого поколения, рассмотрен процесс их образования за счет диссипации энергии δ - электронов.

5. Измерены энергетические спектры вторичных электронов из MgO с плотностью 0,7%. Показано, что эмиттируемые электроны энергию набирают на длине свободного пробега за счет ускорения в управляющем электрическом поле. Получено усредненное значение свободного пробега электронов в слое MgO $\bar{l}_e \approx 5 \cdot 10^{-4}$ см которое согласуется с известными данными для других пористых диэлектриков. Показано, что эмиссия электронов из объема рыхлого диэлектрика возможна только при наличии в структуре слоя продольных или сквозных пор (каналов), где и происходит при достаточно высоких ($E > 3 \cdot 10^4$ В/см) значениях поля размножение вторичных электронов.

6. впервые оценено значение энергии Q , затрачиваемой первичной частицей на образование одного электрона первого поколения в рыхлых диэлектриках. Получено, что значение Q для MgO приблизительно на порядок превышает аналогичную величину для газов (энергия образования пары ионов) и находится в пределах 0,15-0,5 кэВ. Показано, что плохое амплитудное (энергетическое) разрешение эмиттеров УВЭЭ обусловлено высоким значением Q .

7. Разработаны и созданы детекторы ионизирующих частиц на основе УВЭЭ с регистрацией вторичных электронов микроканальными пластинами (МКП). В этих детекторах осуществлен изохронный перенос вторичных электронов от эмиттера УВЭЭ на МКП (в одном варианте - постоянным магнитным полем, а в другом - с помощью электростатического зеркала). Исследованы рабочие характеристики этих детекторов при регистрации α - частиц и тяжелых ионов. Получено: эффективность регистрации указанных частиц $\sim 100\%$; собственное временное разрешение (точность измерения момента прохождения частиц) $\pm 70-80$ пс; амплитудное разрешение для частиц с энергией 1 МэВ/нукл $\pm 50\%$; мертвое время 2 мкс при регистрации ионов $^{132}Xe^{+8}$.

8. На основе детекторов УВЭЭ с магнитным переносом вторичных электронов создан времяпролетный спектрометр тяжелых ионов для определения энергии и ее разброса выведенного пучка тяжелых ионов методом измерения энергии упруго рассеянных ионов. На циклотроне У-300 ДЯР ОИЯИ спектрометром были проведены измерения энергии упруго рассеянных ионов $^{132}Xe^{+8}$ и $^{56}Fe^{+8}$; показано, что благодаря хорошему временному разрешению (~ 250 пс) на малой пролетной базе (~ 50 см) спектрометр обеспечивает не-

плохое энергетическое разрешение $\pm 1,5\%$ для ионов с энергией до 5 МэВ/нукл. Показано также, что использованный метод существенно не влияет на точность определения энергии пучка и позволяет осуществлять ее контроль в процессе проведения экспериментов.

9. Создана времяпролетная система на основе детекторов УВЭЭ с зеркальным отражением вторичных электронов, предназначенная для идентификации легких фрагментов, образованных при взаимодействии электронов с энергией 4,5 ГэВ с ядрами. Апробирование системы на внутреннем пучке Ереванского электронного синхротрона указало на возможность использования детекторов УВЭЭ в измерениях массового распределения фрагментов, образованных на ядрах в условиях большого фона релятивистских частиц.

из проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Процесс усиления электрическим полем электронной эмиссии из рыхлых диэлектриков происходит в основном в продольных и (или) сквозных порах, т.е. эмиттер УВЭЭ является аналогом микроканальной пластины (МКП). В отличие от МКП эмиттер УВЭЭ имеет нерегулярную структуру пор (каналов) и содержит по толщине на два порядка меньше вещества. Несмотря на относительно низкий коэффициент усиления по сравнению с МКП, эмиттер УВЭЭ обладает высокой эффективностью регистрации заряженных частиц.

2. Разработанные на основе исследованных нами эмиттеров УВЭЭ, детекторы, благодаря своим рабочим характеристикам, представляются особенно перспективными для использования во времяпролетных спектрометрах при регистрации и идентификации сильноионизирующих короткопробежных частиц, где известные до настоящего времени детекторы малоэффективны.

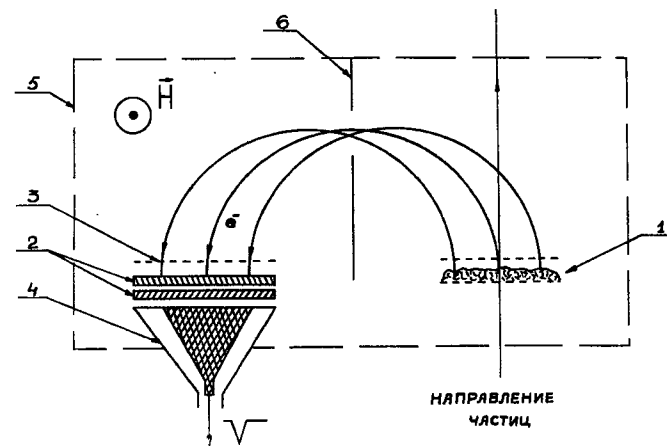


Рис. 1. Схематическое изображение детектора УВЭЭ с магнитным переносом вторичных электронов: 1 - эмиттер УВЭЭ; 2 - микроканальные пластины; 3 - тормозящая сетка; 4 - коаксиальный анод; 5 - постоянный магнит; 6 - коллиматор вторичных электронов.

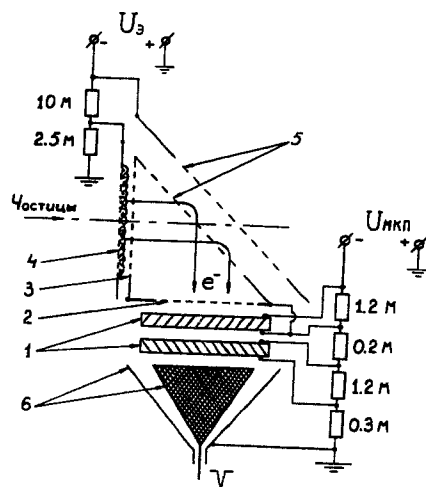


Рис. 2. Схематический вид детектора UVЭЭ с зеркальным отражением вторичных электронов: 1 - микроканальные пластины; 2 - тормозящая сетка; 3 - ускоряющая сетка эмиттера UVЭЭ; 4 - эмиттер UVЭЭ; 5 - электростатическое зеркало; 6 - коаксиальный анод с волновым сопротивлением 50 Ом; $U_{мкп}$ - напряжение питания сборки МНП; U_3 - напряжение питания системы эмиттер UVЭЭ - зеркало.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ
В РАБОТАХ

1. Арванов А.Н., Ахперджян А.Г., Гавалян В.Г., Лорикян М.П.; Маргарян Ю.Л. Экспериментальное исследование статистики UVЭЭ, Труды IV конференции молодых ученых Ереван, Ереван, 1980, с. 232.
2. Арванов А.Н., Ахперджян А.Г., Гавалян В.Г., Кавалов Р.Л., Лорикян М.П., Маргарян Ю.Л. Детектор UVЭЭ с рабочим веществом MgO . - ПТЭ, 1981, № 4, с. 58.
3. Арванов А.Н., Ахперджян А.Г., Гавалян В.Г., Лорикян М.П., Маргарян Ю.Л. О статистике UVЭЭ при прохождении α -частиц. - Радиотехника и электроника, 1982, т. 27, № I, с.163.
4. Кавалов Р.Л., Маргарян Ю.Л. Детекторы частиц на основе эмиссии электронов из рыхлых диэлектриков. - Совещание по экспериментальным установкам У-400 (сборник аннотаций), Дрезден, ГДР, 1982, Д7-82-897, Дубна, 1982, с. 68.
5. Кавалов Р.Л., Лукьянов С.М., Маргарян Ю.Л. и др. Временной детектор с рыхлым диэлектрическим эмиттером. - ПТЭ, 1984, № 3, с. 46; Дубна, 1983. - 7с. (Препринт/ОИЯИ:13-83-188).
6. Кавалов Р.Л., Маргарян Ю.Л., Палян Г.А. Исследование энергетических спектров вторичных электронов при UVЭЭ. - Радиотехника и электроника, 1985, т. 30, в печати.
7. Кавалов Р.Л., Лукьянов С.М., Маргарян Ю.Л. и др. Временипролетный спектрометр тяжелых ионов на основе детекторов рыхлого диэлектрика. - Дубна, 1983. - 7 с. (Препринт/ОИЯИ: 13-83-903).
8. Кавалов Р.Л., Маргарян Ю.Л., Палян Г.А., Панян М.Г. Времен-

ной детектор заряженных частиц на основе рыхлого диэлектрика. - Ереван, 1983. - 15 с. (Препринт Ереванск. физ. ин-т: ЕФИ-673(63) - 83): *Nucl. Instr. and Meth.*, 1985, 6 номер.

9. Бабаян А.З., Кавалов Р.Л., Маргарян Ю.Л. и др. Постоянный магнит с регулируемой напряженностью поля для эмиссионных детекторов частиц. - Ереван, 1982. - 10 с. (Препринт/Ереванск. физ. ин-т: ЕФИ-565(52) - 82).

10. Маргарян Ю.Л. О некоторых особенностях электронной эмиссии из рыхлых диэлектриков, облучаемых α -частицами и релятивистскими электронами. - Ереван, 1984. - 19 с. (Препринт/Ереванск. физ. ин-т: ЕФИ-741(56) - 84).



Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 11.06.85г. ВФ-07402 Формат 60x84/16
Офсетная печать. Тираж - 170 экз.
Зак. тип. № 313

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, Маркарян 2