

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

Научная сессия Отделения общей физики
и астрономии Российской академии наук

(1 октября 1997 г.)

1 октября 1997 г. в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы РАН состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук. На сессии были заслушаны доклады:

1. **Трапезников В.А.** (Физико-технический институт УрО РАН, Удмуртский государственный университет, Ижевск). *Электронная спектроскопия малых доз излучения.*

2. **Халфин Л.А.** *Квантовая теория неустойчивых элементарных частиц и теория относительности.*

Краткое сообщение по первому докладу публикуется ниже.

PACS number: 07.81. + a

Электронная спектроскопия
малых доз излучения

В.А. Трапезников

Методов исследования поверхности как общей части двух смежных областей пространства насчитывается несколько десятков, и среди них метод электронной спектроскопии (ЭС) является одним из наиболее информативных прямых методов исследования электронной структуры, химической связи, анализа сверхтонких поверхностных слоев в пределах от максимальной толщины, определяемой длиной свободного пробега электронов вплоть до мономолекулярного слоя и отдельных атомов, адсорбированных на поверхности. Особенно эффективно использование метода ЭС совместно с методами рентгеновского поглощения и эмиссии. Здесь наглядно видно большое преимущество метода ЭС при исследованиях и анализе малых доз излучения в связи с большим на несколько порядков сечением электронных спектров по сравнению с рентгеновскими.

Малые дозы излучения возможны либо при малом количестве анализируемого вещества при сравнительно большой удельной интенсивности излучения, либо при малом времени регистрации излучения, хотя также при высокой удельной плотности излучения, и при удельной плотности, стремящейся к нулю при неограниченном времени регистрации излучения и максимально возможной площади анализируемой поверхности, определяе-

мой апертурой прибора. По мере уменьшения дозы необходимо увеличивать светосилу и чувствительность спектрометра. Для электронных магнитных спектрометров необходимым условием является увеличение радиуса циклотронной орбиты и использование для регистрации спектров микроканальных многоанодных пластин, что обусловлено наличием фокальной плоскости для этого типа приборов [1].

При прочих равных условиях наименее интенсивными спектрами в методе рентгеноэлектронной спектроскопии являются спектры валентных полос вследствие малой плотности состояний в них по сравнению с плотностью внутренних уровней. Наши результаты исследований электронной структуры палладиевых сплавов [2] совместно методами электронной и рентгеновской спектроскопии представлены на рис. 1. Постановка задачи заключалась в определении степени обобществления валентных электронов компонентов при образовании сплава. Материалы для получения образцов (Pd, Cu, Ag, Au, Rh) были максимально близки по параметрам: одинаковые симметрии кристаллической решетки (ГЦК), близость свойств, так как компоненты являются соседями по группе и по периоду. Методика определения электронной структуры — распределение состояния электронов в полосе по симметриям волновых функций и их плотности — заключается в приведении с помощью рентгеноэлектронных спектров к одной энергетической шкале рентгеновских спектров компонентов, в которых выполняется правило отбора, и совмещение этих спектров в валентной полосе сплава, полученной из электронного спектра. В электронном спектре валентной полосы сечения всех симметрий равновероятны из-за перекрытия всех симметрий конечных состояний на расстоянии в несколько десятков и сотен электронвольт (все переходы совершаются с дипольными правилами отбора). В валентной полосе сплава Pd–Rh (рис. 1а) наблюдается совпадение состояний Pd и Rh, что позволяет говорить об обобществлении валентных электронов компонентов при вхождении их в сплав в соответствии с теорией Мотта. В валентной полосе сплава Pd–Ag (рис. 1б) наблюдается сохранение энергетического положения спектров компонентов, присущего им до вхождения в сплав со сдвигом 2,6 эВ, что можно объяснить в рамках теории когерентного потенциала. На рисунке 1в, г изображены спектры Pd–Cu и Pd–Au, представляющие собой смешанный случай.

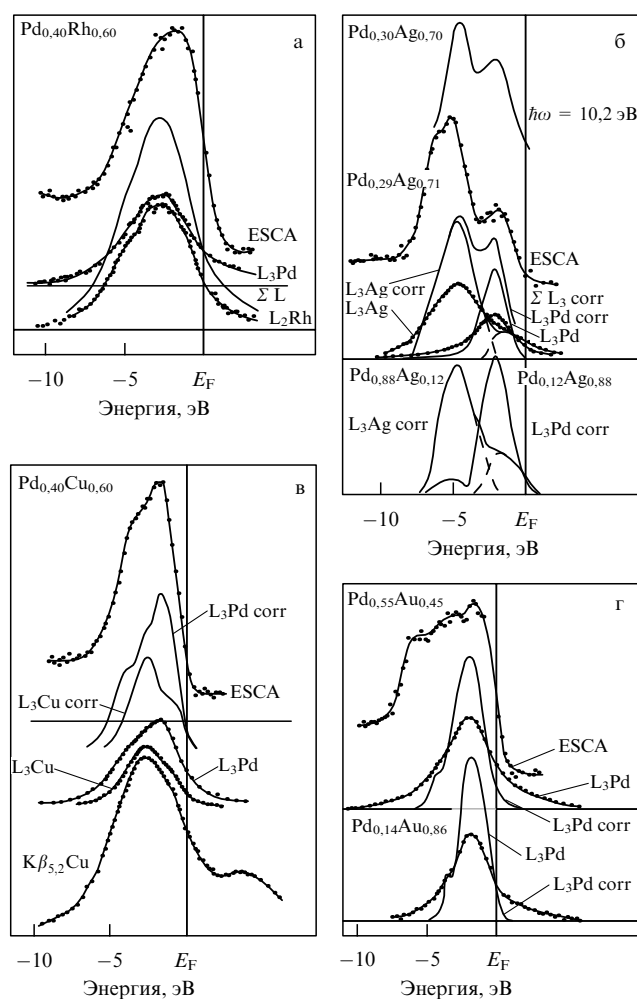


Рис. 1. ЭСХА и рентгеновские эмиссионные спектры: $\text{Rh}_{60}\text{Pd}_{40}$ (а); $\text{Ag}_{71}\text{Pd}_{29}$, а также ультрафиолетовый электронный спектр валентной полосы сплавов $\text{Pd}_{30}\text{Ag}_{70}$ (б); $\text{Cu}_{60}\text{Pd}_{40}$ (в); ЭСХА-валентная полоса $\text{Au}_{45}\text{Pd}_{55}$ и рентгеновские эмиссионные спектры PdL_3 для двух Au-Pd сплавов (г).

При исследовании интенсивностей электронных линий расплавленных образцов на основе никеля с выдержкой при заданных температурах (рис. 2) наблюдается циклическое изменение интенсивностей компонентов с периодичностью 10–20 мин с общим экспоненциальным ходом затухания флуктуаций, что говорит о процессе перераспределения концентраций компонентов на поверхности расплава для каждой температуры во времени [3]. Изучение тонкой структуры отдельных пиков этих флуктуаций компонентов и тем более валентных полос в жидком состоянии (Ni и Cu , [4]), отражающих изменение атомной и электронной структуры поверхностного слоя расплавов (рис. 3), требуют как можно меньшего времени для регистрации спектров, так как отмеченный экспоненциальный ход говорит о быстрой стабилизации процесса.

В настоящее время в электронной спектроскопии наметились два направления, связанных с малыми дозами регистрируемых электронов. Первое направление характеризуется регистрацией электронов за как можно меньшее время при исследовании электронной структуры и анализе сверхтонких поверхностных слоев

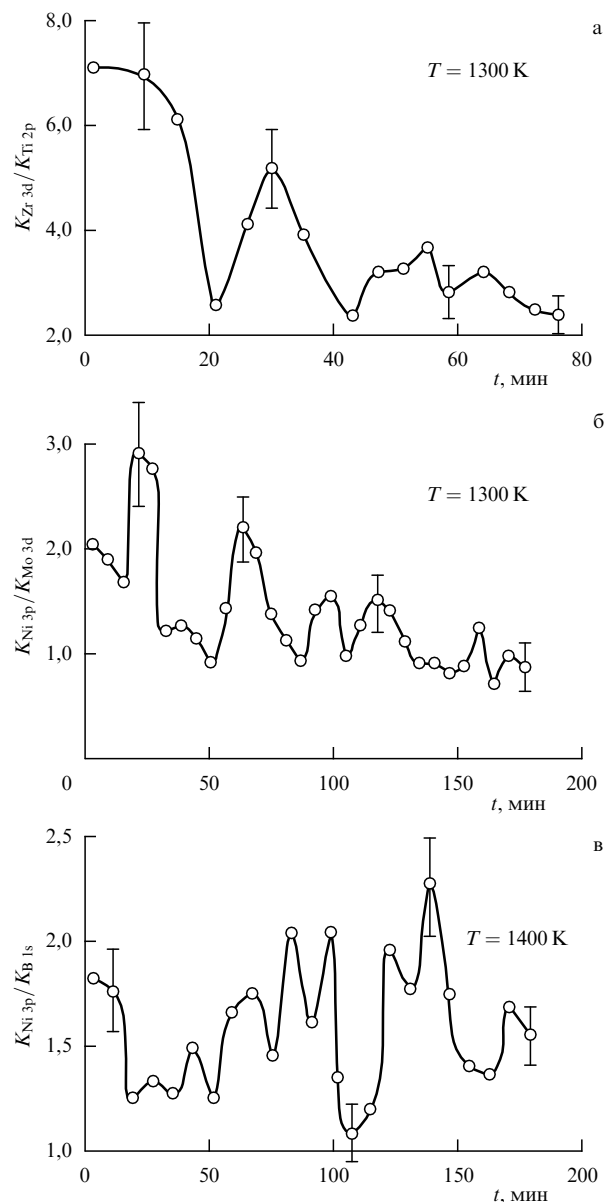


Рис. 2. Временная зависимость отношения контрастностей линий спектров K_i/K_j в расплавах: $\text{Zr}_{60}\text{Ni}_{20}\text{Ti}_{20}$ (а); $\text{Ni}_{72}\text{Mo}_{14}\text{B}_{14}$ (б); $\text{Ni}_{83}\text{B}_{17}$ (в).

конденсированных систем в пределах длины свободного пробега электронов во время быстропротекающих процессов, определяемых долями секунды вплоть до 10^{-5} с. Во втором направлении определяется распределение электронов по энергии на участке кривой интенсивности, асимптотически приближающейся к нулю, и здесь требуется зарегистрировать как можно меньшую интенсивность спектра при приемлемом доверительном интервале. Если применительно к первому направлению такой метод электронной спектроскопии можно было бы назвать импульсным, то ко второму оно неприменимо из-за длительного времени регистрации, но дозы регистрируемого излучения в обоих случаях одного порядка (исчезающе малы), что позволяет однозначно сделать акцент именно на малые дозы, и это налагает определенные требования на применяемую аппаратуру. В обоих случаях необходим электронный спектрометр, имеющий

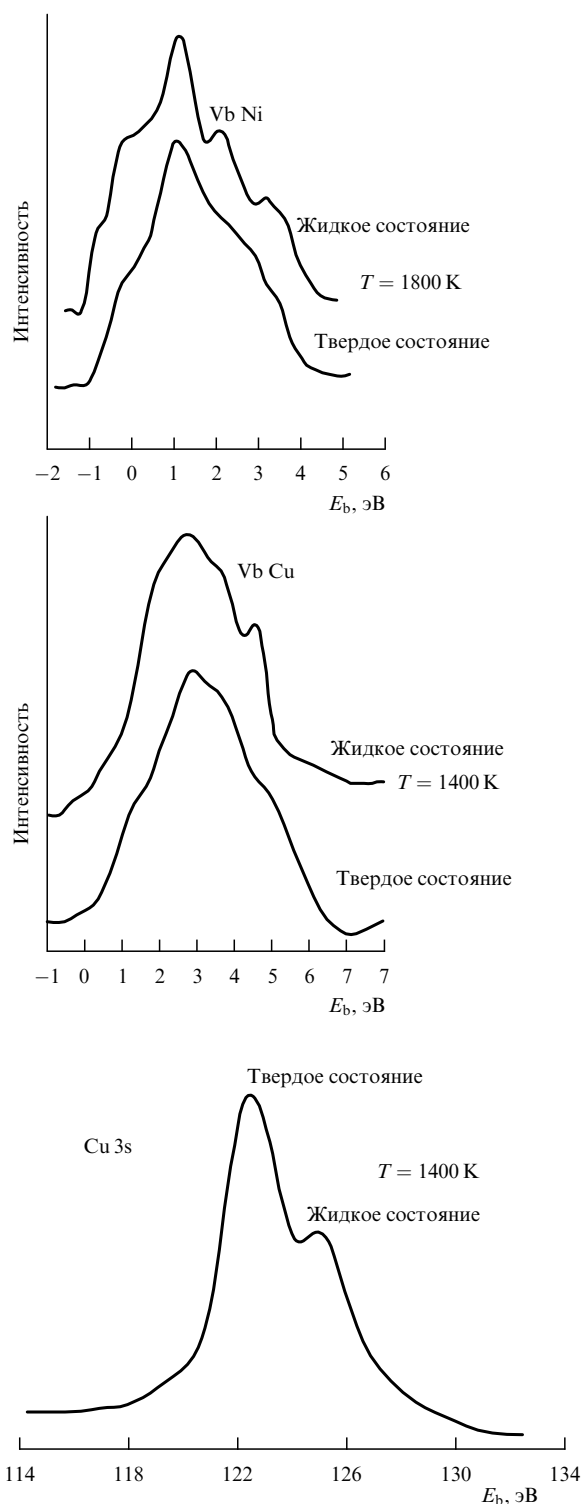


Рис. 3. Рентгеноэлектронные спектры валентных полос никеля и меди в твердом и жидком состоянии, ЭСХА-спектр 3s жидкой меди.

большую светосилу, хорошее разрешение и высокочувствительный тракт одновременной регистрации электронов в широкой области спектра. Для этой цели хорошо подходят электронные магнитные спектрометры с двойной фокусировкой $\pi\sqrt{2}$, так как они имеют фокальную плоскость, достаточную для одновременной регистрации значительного участка спектра в несколько десятков электронвольт (см. спектрометры ФТИ УрО РАН,

описания которых даны в [5]). Здесь уместно привести известное высказывание И.П. Павлова о путях развития науки: "Часто говорят и не даром, что наука движется вперед толчками в зависимости от успехов, делаемых методикой. С каждым шагом методики вперед мы как бы поднимаемся на ступеньку выше, с которой открывается нам более широкий горизонт с невидимыми ранее предметами".

Импульсная электронная спектроскопия была инициирована экспериментальной работой по эмиссии электронов из церия, празеодима, неодима и самария под давлением [6]. При импульсном давлении до 10 кбар при скорости нарастания давления в 2,5 кбар с^{-1} в области 7–10 кбар, т.е. в пределах одной секунды (последней), обнаружена эмиссия электронов церия (12000 имп с^{-1}), превышающая на два порядка эмиссию из празеодима (500 имп с^{-1}), неодима (450 имп с^{-1}) и самария (80 имп с^{-1}). Высокая интенсивность фразтоэмиссии для церия объясняется высвобождением при разрушении энергии, соответствующей сильной межатомной связи, появляющейся под давлением с образованием высокой плотности состояний на границе Ферми, которая возникает вследствие гибридизации 4f-электронов с валентными 5d 6sp. Для других редкоземельных элементов гибридизация 4f 5d 6sp-состояний с высокой плотностью менее вероятна из-за большого энергетического и пространственного различия положений их полос. Эмиссия электронов в празеодиме, неодиме и самарии и частично, конечно, в церии обусловлена процессом бароэлектронной эмиссии [7], в основе которой лежит туннельный эффект. Возрастание межатомных сил связи при импульсном давлении как минимум в поверхностном слое (динамическом покрытии), из которого идет эмиссия электронов, можно использовать для самоупрочнения деталей машин и механизмов, работающих в циклическом режиме (участки лопаток компрессоров и турбин двигателей летательных аппаратов, кольца и цилиндры двигателей внутреннего сгорания, стволы автоматического оружия и фрезы — ряд расположен по мере увеличения времени цикла), за счет рабочего давления в случаях, когда время холостой части цикла без давления меньше времени релаксации материала из состояния с сильной межатомной связью.

Возрастание межатомных сил связи для церия за счет гибридизации под давлением 4f-электронов с валентными и образования сильной ковалентной связи предлагается объяснить на основе результатов исследований методом рентгеноэлектронной спектроскопии шейк-ап-эффекта [5].

Высокую интенсивность фразтоэмиссии церия, связанную с образованием под давлением высокой плотности состояний на границе Ферми (на несколько порядков выше, чем без давления), можно также объяснить за счет резонанса Абрикосова–Сула [8], используемого для объяснения эффекта Кондо [9]. Этот эффект с изменением давления был предсказан для соединений церия и урана в работе В.В. Мошалкова и Н.Б. Брандта [10] — он допускает появление в металле состояния высокой проводимости вплоть до сверхпроводимости. В работе [11] говорится, что нептуний может дать тот же эффект. С высокой плотностью состояний на границе Ферми мы связываем увеличение числа электронов, ответственных за межатомные силы связи. Классический эффект Кондо (низкотемпературный) имеет весьма узкий энергетиче-

ский интервал высокой плотности состояний на поверхности Ферми (тысячные доли вольта), но в случае высокого давления, который возможен при значительно более высокой температуре, ширина интервала энергий с высокой плотностью состояний может быть значительно больше. С повышением температуры начинает проявляться ангармонизм, что автоматически приведет к увеличению энергетической ширины высокой плотности состояний на границе Ферми.

Оценка величины межатомных сил связи, характеризующих дебаевской температурой (Θ), в тонких поверхностных слоях (10^{-3} – 10^{-1} мкм) и в короткое время (10^{-4} – 10^{-1} с) приобретает определяющее значение. В работе [12] предложен способ определения Θ по электронным спектрам, возбужденным с одного атомного уровня рентгеновским излучением двух энергий, полученным либо от двух анодов, либо с использованием двух узких спектральных участков синхротронного излучения.

Наиболее подходящим представляется использование метода импульсной электронной спектроскопии, позволяющего получать высокую интенсивность за короткое время в милли- и микросекунды, при этом глубина анализируемого слоя определяется средней длиной свободного пробега электронов. Для металлов эта величина находится в пределах нескольких единиц 10^{-3} мкм (20 – 40 Å), для полупроводников и диэлектриков она возрастает до 10^{-2} – 10^{-1} мкм или даже до 1 мкм. Время регистрации спектра можно сократить путем увеличения радиуса орбиты электронов в спектрометре, увеличения мощности источника, возбуждающего электроны, и регистрации всего спектра электронов одновременно с использованием микроканальных многоанодных пластин, что даст выигрыш в несколько порядков по сравнению с обычными спектрами [13].

Задача заключается в подборе таких материалов покрытия и рабочего давления, при которых образуются сильные межатомные связи (Θ), но не начинается разрушение покрытия. Конечно, большая интенсивность фраттоэмиссии возможна и за счет образования высокой плотности состояний на поверхности Ферми $N(E_0)$ и ее реализации. Последнее может сопутствовать и большим силам связи, а может быть и независимо при проявлении эффекта Кондо.

Чем меньше время цикла, тем более вероятно использование рассматриваемой схемы работы машин с самоупрочнением. В приведенном перечне деталей время цикла увеличивается от начала к концу (для лопаток 10^{-4} и менее, для колец и цилиндров 10^{-2} и для ствольных и фрез порядка 10^{-1} с). С другой стороны, желательно иметь наибольшее время релаксации. Наилучшее — бесконечность. К последнему случаю относятся материалы с достигнутыми стабильными во времени высокими прочностными свойствами. В качестве примера материала со стабильными во времени высокими прочностными свойствами, полученными при импульсном воздействии, можно назвать полифосфонитрид, образующийся при возбуждении электронов атомов фосфора и азота на высокие колебательные уровни под воздействием импульсного электронного пучка [14].

В работе [12] две электронные линии для оценки изменения Θ берутся не случайные, а соответствующие по кинетическим энергиям возбужденных электронов энергиям двух флуктуаций тонкой структуры рентгенов-

ских спектров поглощения того же уровня, с которого получены электронные спектры. Здесь автоматически заимствуется метод оценки межатомных сил связи через Θ по зависимости отношения интенсивностей амплитуд флуктуаций тонкой структуры рентгеновского поглощения от температуры (T) и легирования (C) [15]. В методе рентгеновского поглощения Θ влияет на амплитуду возмущающего потенциала A слоя атомов, окружающих поглощающий атом, как $\exp(-1/\Theta)$. При использовании метода рентгеноэлектронной спектроскопии вместо метода рентгеновского поглощения достигается выигрыш во времени регистрации спектра в несколько порядков: вместо десятков минут и часов — доли секунды, что позволит осуществить оценку изменения межатомных сил связи по изменению Θ в процессе приложения давления (P) за короткое время.

Выбранным для железа и никеля двум парам флуктуаций коэффициента поглощения К-края (для Fe — D и A, для Ni — E и C) будут соответствовать две пары линий электронных спектров $\text{Fe}_{1s}A$ ($\text{Gd } L\beta_9$) и $\text{Fe}_{1s}D$ ($\text{Gd } L\beta_7$) для Fe и $\text{Ni}_{1s}C$ ($\text{Er } L\beta_9$) и $\text{Ni}_{1s}E$ ($\text{Ho } L\gamma_5$) для Ni (рис. 4). Как видно из подбора рентгеновских эмиссионных линий, для возбуждения двух электронных линий, соответствующих двум флуктуациям коэффициента поглощения железа и никеля, задача решается не лучшим образом, так как эмиссионные линии не точно совпадают по энергиям с максимумами флуктуаций и слабы по интенсивности. Источник синхротронного излучения не всегда доступен. Повышение интенсивности электронных линий становится необходимым условием применения данной методики. Одним из путей является повышение светосилы спектрометра и чувствительности его тракта регистрации.

В Удмуртском государственном университете совместно с ФТИ УрО РАН разработан и изготовлен 100-сантиметровый электронный магнитный спектро-

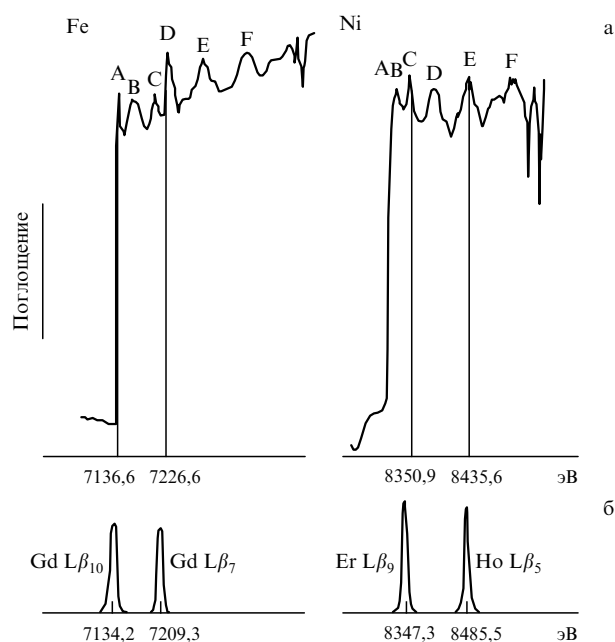


Рис. 4. Рентгеновские К-спектры поглощения железа и никеля (а); схема рентгеновских L-спектров эмиссии эрбия, гадолиния и гольмия (б).

метр с двойной фокусировкой $\pi \cdot \sqrt{2}$ (рис. 5) [16]. Само по себе увеличение радиуса циклотронной орбиты R до 100 см (рекордная величина) дает возможность увеличить чувствительность L , которая пропорциональна R^2 . Большие размеры камеры прибора позволяют разместить в нем довольно громоздкие устройства (рис. 6): тракт регистрации, состоящий из нескольких многоанодных микроканальных пластин, электронно-оптические преобразователи и другие узлы, что также направлено на повышение чувствительности спектрометра [17].



Рис. 5. Внешний вид 100-сантиметрового электронного магнитного спектрометра с двойной фокусировкой $\pi \cdot \sqrt{2}$ (вид сзади).

Новым направлением в развитии электронной спектроскопии является использование лазеров с перенастраиваемой частотой для исследования колебательных и вращательных спектров электронов, которое сформулировал К. Зигбан в обращении к К. и А. Валленбергам за содействием в становлении его новой лаборатории ESCA-LASER в Упсальском университете и опубликованном в качестве специального издания [18]. В работе дано обоснование этого нового направления и подчеркивается, что лазерные источники возбуждающего излучения имеют ряд преимуществ перед традиционными рентгеновскими и ультрафиолетовыми источниками: короткое время импульса (пико- и фемтосекундный диапазон), локальность и большая мощность излучения — это существенно расширяет возможности при исследовании быстротекущих процессов, в том числе в малых объектах и участках поверхности. Ознакомление с лабораторией ESCA-LASER летом 1997 г. показало, что это новое направление развивается успешно.

Идея увеличения межатомных сил связи за счет рабочего давления на поверхность деталей машин и механизмов, работающих в циклическом режиме, т.е. самоупрочнения, при превышении времени релаксации возбужденной электронной системы над частью времени цикла без давления, показалась заманчивой для предотвращения образования и развития усталостных трещин. Например, на поверхности лопаток авиационных двигателей, испытывающих значительные знакопеременные нагрузки с большой частотой, с целью повышения их ресурса. Это становится возможным при заполнении поверхностных усталостных трещин материалом покры-

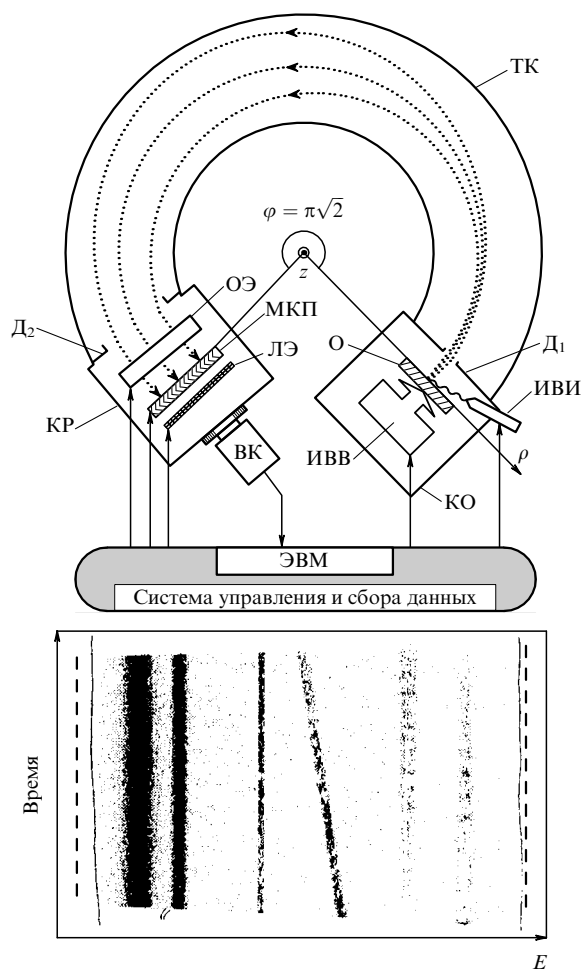


Рис. 6. Схема 100-сантиметрового электронного магнитного спектрометра в режиме параллельной регистрации (пунктирные линии); ТК — торовая камера, КО — камера образца, О — исследуемый объект, ИВИ — источник возбуждающего излучения, ИВВ — источники внешних воздействий, Д1, Д2 — входная и выходная апертурные диафрагмы, ОЭ — отклоняющие электроды, МКП — сборка м.к.п., ЛЭ — люминисцентный экран, ВК — видеокамера.

тия в той их части, где размер трещины соответствует размеру капилляра для данной пары материалов основа-покрытие. В этом месте трещины, которое схематически выглядит как пересечение двух расходящихся от ее вершины линий с двумя параллельными линиями капилляра, наложенного соосно на трещину в материале наполнителя, возможно существенное изменение свойств. Так, в экспериментальной работе [19] приведены данные по большому возрастанию эффективной массы электрона в капиллярах металлоаммиачного раствора в $2,3 \times 10^4$ раз по сравнению с массой покоя электрона. Это можно интерпретировать как увеличение плотности состояний на поверхности Ферми с соответствующим увеличением межатомных сил связи на капиллярноподобном участке трещины, что будет способствовать прекращению ее развития.

Метод рентгеноэлектронной спектроскопии с ее малой глубиной анализируемого слоя в пределах средней длины свободного пробега электронов позволяет проанализировать капиллярноподобный участок трещины, если трещина не заполнена наполнителем выше ее исследуемого участка на глубину анализируемого слоя

и угол падения возбуждающего электроны рентгеновского излучения будет меньше угла раствора трещины. Нами [20] экспериментально показано, что существующее представление о первоочередном полном заполнении пор и трещин [21] при нанесении покрытия и только последующем осаждении покрытия на межпоровую поверхность не является правилом. В [20] при нанесении меди на оксид алюминия, имеющего пористую поверхность, показано появление электронных спектров меди от межпоровой поверхности при заполнении атомами меди пор подложки на 5%. Анализ малого количества вещества внутри капиллярноподобного участка трещины и тем более исследование его электронной структуры требует значительного повышения чувствительности электронного спектрометра.

Не дожидаясь ввода в эксплуатацию 100-сантиметрового спектрометра, с помощью которого можно оценить изменение межатомных сил связи за короткое время и подобрать наилучший материал, было выполнено исследование по упрочнению лопаток 3-й ступени компрессора высокого давления авиадвигателя ПС-90А путем нанесения на поверхность тонкого ($\sim 0,1$ мкм) слоя соединения церия методом ионной имплантации. Проведенные усталостные испытания серийных (без покрытия) и опытных лопаток на стенде завода-изготовителя показали повышение ресурса опытных лопаток над серийными более чем на порядок при одинаковой нагрузке в 22 кгс мм^{-2} и частоте колебаний $6,7 \text{ кГц}$, а покрытие полифосфонитридом P_xN_y показало такое же повышение ресурса при повышенных нагрузках в 24 и 26 кгс мм^{-2} .

С завершением создания 100-сантиметрового спектрометра открывается возможность применить его для реализации второго из выше указанных направлений в электронной спектроскопии с целью оценки массы покоя электронного антинейтрино путем определения потери энергии электронами в высокоэнергетической части спектра при β -распаде трития ($\text{H}^3 \rightarrow \text{He}^3 + \beta^- + \bar{\nu}_e$) [22]. Значение массы покоя электронного нейтрино ν_e , начиная с предсказания Паули о существовании этой частицы в 1930 г. [23], со временем по мере повышения экспериментальных возможностей все убывает — от 1 МэВ до $4,35 \text{ эВ}$ в 1994 г. по данным работы Института ядерных исследований РАН в Троицке [24]. Кроме последнего результата на электростатическом спектрометре в Троицке была получена тонкая структура на высокоэнергетической части кривой распределения β -спектра в области, отстоящей от максимальной энергии на 10 эВ , шириной в 4 эВ и временная зависимость интенсивности этого участка уникального спектра на протяжении двух лет (1994–1996 гг.) [25] (рис. 7, 8). Интерпретации этих результатов пока не имеется. 100-сантиметровый магнитный дифференциальный электронный спектрометр позволит обнаружить более богатую тонкую структуру по сравнению с полученной на электростатическом интегральном приборе [26] в области $\sim 10 \text{ эВ}$ и можно ожидать, что покажет верхнюю границу массы нейтрино в $6,5 \text{ эВ}$. Ожидаемый результат основан на сравнении возможностей двух аналогичных спектрометров с одинаковой магнитной фокусировкой неоднородным полем $\pi \cdot \sqrt{2}$ и разными радиусами R : японского [27] — 75 см и верхней границей в 13 эВ и нашего — 100 см , что при одинаковых прочих условиях с учетом линейности графика Кюри при квадратичной зависимости чувствительности L от

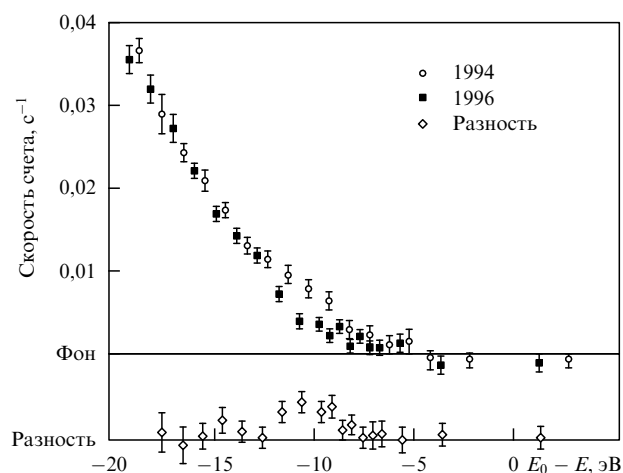


Рис. 7. Наложение коротковолновых частей β -спектров при распаде трития, полученных в 1994 и 1996 гг. в ИЯИ РАН.

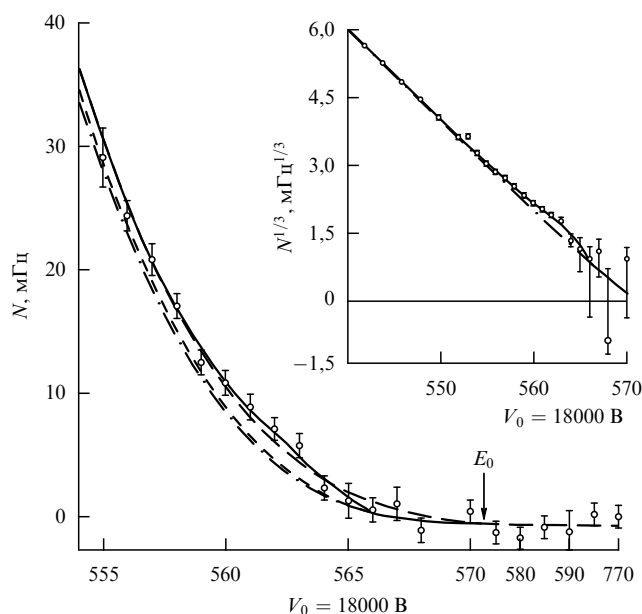


Рис. 8. График Кюри коротковолновой части β -спектров при распаде трития и тот же экспериментальный спектр.

радиуса ($L \sim R^2$) позволит получить названную границу в два раза уменьшенной энергией ($6,5 \text{ эВ}$). Новый результат Института ядерных исследований РАН за 1994–1996 гг. дает значение массы покоя антинейтрино в $3,9 \text{ эВ}$. Если исходить из разрешения порядка 10^{-4} , заложенного в 100-сантиметровый прибор, то граница может быть сдвинута до $2\text{--}1 \text{ эВ}$.

В свежих обзорах по нейтрино [28, 29] методу оценки массы покоя электронного нейтрино по β -распаду трития придается приоритетное значение.

Из оценки массы покоя электронного антинейтрино делаются далеко идущие гносеологические выводы. С. Хокинг в своей книге "От большого взрыва до черных дыр" [30] указывает: "Однако если нейтрино не является безмассовой частицей, а обладает небольшой собственной массой, обнаруженной в неподтвержденном эксперименте советских ученых в 1981 г. ([31], с границей в 14 эВ

— В.Т.), то мы смогли бы обнаружить их косвенно: они могли бы оказаться одной из форм "темной материи", упоминавшейся ранее, гравитационное притяжение которой достаточно для того, чтобы прекратить расширение Вселенной и заставить ее опять сжиматься".

В дополнение к микроскопическим методам оценки массы покоя нейтрино можно использовать данные космологических исследований по оценке средней плотности Вселенной. Задача по оценке массы покоя нейтрино имеет большое значение не только для физики элементарных частиц при построении единой теории с целью объединения всех четырех видов взаимодействия: гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного, но и для объяснения возникновения Вселенной и предсказания перспектив ее развития. Либо Вселенная имеет божественное начало и будет без конца расширяться по Фридману, если нейтрино не имеет массы покоя и средняя плотность будет менее 10^{-29} г см⁻³ (сейчас она оценивается без учета массы нейтрино как 10^{-30} г см⁻³), т.е. Вселенная должна быть открытой, либо никакого начала никогда не было¹.

Одно из последних исследований на предмет открытости Вселенной [32], в котором рассматриваются различные варианты оценки ее плотности с учетом легких типов нейтрино (имеется в виду как раз рассматриваемое здесь электронное нейтрино), показало, что она, скорее всего, должна быть открытой. Авторы довольно осторожно формулируют вывод: "Мы рассмотрели основные аспекты космологии, в которой плотность Вселенной играет роль искомой величины, либо параметра расчета. Мы надеемся, что убедили читателя в том, что невозможно привести сколь угодно сильных доводов в пользу того, что Вселенная имеет критическую плотность и что, взвешивая доказательства, мы должны предпочесть открытую Вселенную. Мы не утверждаем, что мы доказали, что Вселенная открыта, — но мы доказываем, что имеется большое основание сомневаться в утверждении, что мы живем во Вселенной, имеющей критическую плотность". На основании такого заключения можно сделать вывод, что масса покоя нейтрино должна быть равна нулю.

Противоположная точка зрения, основанная на ненулевой массе нейтрино и, соответственно, на наличии критической (10^{-29} г см⁻³) или большей плотности Вселенной, предсказывает, что когда-то прекратится расширение Вселенной и наступит ее сжатие вплоть до "точки" и образования большой "черной дыры". Такое состояние будет неустойчивым и произойдет новое рождение Все-

ленной путем взрыва, аналогичного тому, который примерно 10 млрд лет назад произошел при рождении нынешней Вселенной. Последний гносеологический вывод из оценки массы покоя нейтрино не оставляет места для других представлений о рождении и гибели Вселенной: она была всегда и эволюционировала в циклическом режиме с временем цикла, превышающем 20 млрд лет, и впредь бесконечно будет существовать, развиваясь по такому же циклическому закону.

Работа выполняется по программе "Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997–2000 гг." (проект № КО 422).

Список литературы

1. Зигбан К и др. *Электронная спектроскопия* (М.: Мир, 1971) с. 494
2. Hedman J et al. *Phys. Scr.* **4** 195 (1971)
3. Shabanova I N, Kholzakov A V, Ponomarev A G *J. of Electr. Spectr.* **88** (1998)
4. Shabanova I N, Kholzakov A V, Kraposhin V S *J. of Electr. Spectr.* **88** (1998); Shabanova I N et al. *Surf. Rev. Lett.* **4** (6) 1149 (1997)
5. Трапезников В А, Шабанова И Н *Рентгеноэлектронная спектроскопия сверхтонких поверхностных слоев конденсированных систем* (М.: Наука, 1988) с. 200
6. Трапезников В А и др. *ФММ* (8) 198 (1991)
7. Трапезников В А *Поверхность. Физика, химия, механика* (8–9) 136 (1994)
8. Абрикосов А А *ЖЭТФ* **48** 990 (1965)
9. Kondo J *Prog. Theor. Phys.* **32** 37 (1964)
10. Мошталков В В, Брандт Н Б *УФН* **149** 585 (1986)
11. Оспилян Ю А *Вестн. АН СССР* (5) 16 (1987)
12. Трапезников В А *Поверхность и новые материалы: информационные материалы* (Ижевск: ФТИ УрО АН СССР, 1990) с. 5
13. Трапезников В А *УФН* **145** 537 (1985)
14. Басов Н Г и др. *ЖТФ* **55** 2259 (1985)
15. Трапезников В А *ФММ* **5** (1) 8 (1957)
16. Трапезников В А, Шабанова И Н, Журавлев В А *Вестн. Удмуртского ун-та* **5** (1) 111 (1993)
17. Романенко В А, Романенко А В, Трапезников В А, в кн. *Тез. докл. 3-й Российской ун-в.-акад. научно-практической конф.* (Ижевск: УдГУ, 1997) с. 79
18. Зигбан К *Обращение к К. и А. Валленбергам* (Изд-е Упсальского ун-та, 1996) с. 17 (на шведском языке)
19. Arendt P *Solid State Commun.* **67** (12) 1167 (1988)
20. Ляхович А М и др. *Электрохимия* **19** (3) 289 (1983)
21. Keller F, Hunter M S, Robinson D L *J. Electrochem. Soc.* **100** 411 (1953)
22. Трапезников В А *Вестн. Удмуртского ун-та* **7** 136 (1995)
23. Паули В К *старой и новой истории нейтрино. Теоретическая физика 20 века* (Под ред. Я А Смородинского) (М.: ИЛ, 1962) с. 386; см. там же Письмо собранию физиков в Тюбингене, с. 390
24. Beleshev A I et al. Preprint INR P-0883/95 (Moscow: INR, 1995)
25. Lobashev V M *Search for neutrino rest mass in tritium beta decay* (Moscow: INR, 1997)
26. Lobashev V M et al. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **238** 496 (1985)
27. Kawakami K et al. *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **17** S283 (1991)
28. Герштейн С С, Кузнецов Е П, Рябов В А *УФН* **167** 811 (1997)
29. Козлов Ю В, Мартемьянов В П, Мухин К Н *УФН* **167** 849 (1997)
30. Хокинг С *От большого взрыва до черных дыр. Краткая история времени* (М.: Мир, 1990) с. 168 [Hawking S W *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes* (Toronto, New York: Bantam Books, 1988) p. 198]
31. Любимов В А и др. *Оценка массы покоя нейтрино из измерений β -спектра трития* (М.: ИТЭФ, 1981) с. 56
32. Coles P, Ellis G *Monthly Nature* **2** (8) 59 (1994); *Nature* (London) **370** 609 (1994)

¹ Результаты оценки массы покоя нейтрино могут поставить под сомнение вечный вопрос о наличии или отсутствии Бога. В книге С. Хокинга [30] в предисловии К. Сагана говорится: "Это также книга о Боге..., а может быть, об отсутствии Бога". Здесь следует обратить внимание на не совсем удачный перевод этого места, приведенный в русском издании. Речь идет о "может быть", что для русскоязычного читателя, знакомого с английским языком, оставляет два предположения о тексте оригинала, т.е. о "could be" или "may be". То или другое значение несет в себе совершенно разный смысл — либо в первом случае с уверенностью можно заключить из книги об отсутствии Бога, либо высказывание во втором случае имеет неопределенный смысл о наличии или отсутствии Бога. Ознакомление с оригиналом кладет конец таким сомнениям, так как там употреблено слово "perhaps", т.е. говорится в общем виде о возможности быть обоим точкам зрения, т.е. остается открытым вопрос о наличии или отсутствии Бога, ответ на который может быть получен путем однозначной оценки массы покоя нейтрино.