

НОБЕЛЕВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ 1981 ГОДА

539.124

**ЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ АТОМОВ, МОЛЕКУЛ
И КОНДЕНСИРОВАННОГО ВЕЩЕСТВА*)***К. Зигбан*

В моей диссертации ¹, представленной в 1944 г., я описал свою работу по изучению β -излучения и внутренней конверсии при радиоактивных распадах, в которой были использованы два принципа. Один из них был основан на полукруговой фокусировке электронов в однородном магнитном поле, а в другом использовалась большая магнитная линза. Первый принцип позволял получить хорошее разрешение, но низкую интенсивность, а второй — как раз обратное. Тогда я стал надеяться на возможность объединения этих двух хороших свойств в одном приборе. Идея состояла в том, чтобы магнитному полю, которое в моих опытах было однородным, придать такую форму, когда фокусировка осуществлялась бы в двух направлениях, а не только в одном, как это было в полукруговом варианте. Известно, что в бетатронах электроны совершают колебательные движения как в радиальном, так и в аксиальном направлениях. Приняв периоды этих двух колебаний равными, Нильс Свартхольм и я ^{2,3} нашли простые условия, которым должно удовлетворять магнитное поле, для получения действительного электронного оптического изображения, т. е. мы установили принцип фокусировки по двум направлениям, или двойной фокусировки. Оказалось, что поле должно убывать как $1/\sqrt{R}$ и двойная фокусировка будет наблюдаться при $\pi \sqrt{2} \sim 255^\circ$. Был сконструирован простой грибовидный магнит, циркулярные полюсные наконечники которого были так обработаны, чтобы удовлетворить условиям фокусировки. Затем ThB был осажден на проволочную сетку, которая была помещена в пространство между полюсами. На фотопластинке, расположенной под нужным углом, мы получили сильную F-линию ThB. Уже первый эксперимент дал в основном удовлетворительный результат. И горизонтальные, и вертикальные нити проволочной сетки были отчетливо видны на фотопластинке. Была разработана более детальная теория нового принципа фокусировки и сконструирована большая установка с $R = 50$ см ⁴. Дисперсия была увеличена в два раза по сравнению с однородной формой поля вследствие радиального убывания магнитного поля. Поскольку все электроны для разумно малых телесных углов возвращались в плоскость симметрии поля, к точке фокуса, при увеличении радиуса кривизны прибора интенсивность не уменьшалась. Поэтому для регистра-

*) Siegbahn K. Electron Spectroscopy for Atoms, Molecules and Condensed Matter: Nobel Lecture, December 18, 1981.— Перевод А. А. Ищенко, под редакцией И. М. Дремина.

ции β -спектров и спектров внутренней конверсии от радиоактивных источников могли быть сконструированы приборы очень большой дисперсии с хорошей интенсивностью и намного улучшенной разрешающей способностью. Двойная магнитная фокусировка была удобна для электронов весьма высокой энергии (50 кэВ — 2 МэВ), обычно имеющихся в радиоактивном излучении, а требуемая форма поля могла быть легко достигнута при необходимой обработке полюсов железного магнита. Спектрометры с двойной фокусировкой стали часто использовать для исследований с высоким разрешением⁵ как в моей лаборатории, так и во многих других лабораториях. Такой тип фокусировки был также успешно использован Р. Хофстадтером⁶ в его известной работе по рассеянию электронов высокой энергии на ядрах и нуклонах.

В период конца 40-х годов, а также в 50-е и начале 60-х годов главной областью моих интересов была ядерная спектроскопия. Это было чрезвычайно интересное и плодотворное время в ядерной физике, поскольку была разработана оболочечная модель ядра, дополненная коллективными свойствами, которые были в значительной степени основаны на экспериментальном материале, собранном при изучении ядерных распадов. Тщательно были исследованы схемы ядерного расщепления, определены спины и четности различных уровней, а также интенсивности и мультипольные характеры переходов. Открытие несохранения четности в этот период еще более усилило общий интерес к этой области. Широко исследовался также вид взаимодействия в β -распаде, рассмотренном первоначально Ферми. Поэтому значительная часть моих собственных исследований и исследований моих студентов относилась к ядерной спектроскопии радиоактивного распада⁷⁻²³. В 1955 г. под моей редакцией была опубликована книга²⁴ Бета- и гамма-спектроскопия. В 1965 г. я завершил мою собственную карьеру ядерного спектроскописта, опубликовав монографию «Альфа-бета- и гамма-спектроскопия»²⁵. В этих исследованиях, охватывающих широкое поле ядерной спектроскопии, у меня была возможность сотрудничать с 72 соавторами, которые являются признанными авторитетами, а во многих случаях и пионерами в различных областях. Хотя моя собственная научная деятельность к этому времени почти полностью была нацелена на новую область, являющуюся предметом этой лекции, я еще и по сей день сохраняю интерес к ядерной физике, наиболее активно как редактор журнала «Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (NIM)», где я сотрудничаю со времени создания журнала в 1957 г.

Позвольте мне теперь вернуться к ситуации, относящейся к 1950 г. В это время мои сотрудники и я уже в течение некоторого времени разрабатывали технику высокого разрешения, используя нашу установку с двойной фокусировкой и большой дисперсией, а также другие методы такие, как спектрометр с магнитной линзой высокой просвечивающей силы и технику совпадений. Однако я часто обнаруживал, что моя экспериментальная работа останавливается в ожидании радиоактивных образцов; причиной этому были капризы циклотрона. Тогда я осознал, что я должен попытаться симулировать радиоактивное излучение заменителем, которым я буду управлять лучше, чем циклотроном. Я обнаружил, что очень удобным методом исследования γ -излучения от радиоактивных источников оказывается использование преобразователя « γ -лучи—электроны»; источник закрывается тонкой свинцовой фольгой, эмиттирующей фотоэлектроны, которые затем регистрируются спектрометром. Потом у меня возникла идея, что для выбивания из обычных материалов фотоэлектронов (их энергии связи в веществе надо было измерять с максимально возможной точностью) можно использовать рентгеновские трубки. Для получения энергии ядерных переходов такие энергии связи нужно было

добавить к величинам энергии линий внутренней конверсии от радиоактивных источников. Я проанализировал, что было сделано в этом направлении прежде ²⁶, ²⁷, и у меня сложилось мнение, что, возможно, мне удастся сделать значительный шаг вперед в этой области, если я применю тот опыт, который у меня уже имелся в ядерной спектроскопии, используя внешний фотоэффект, о чем говорилось выше, и мои установки высокого разрешения.

Уже в ранее выполненных исследованиях было установлено, что электроны в атоме сгруппированы в оболочки и, измеряя на фотопластинках высокоэнергетические края протяженной вали от различных электронных распределений, можно получить приближенные величины энергий связи. С другой стороны, поскольку наблюдаемые распределения электронов не имеют линейчатой структуры и, следовательно, не соответствуют атомным свойствам, достижимая точность и полезная информация существенно ниже по сравнению с тем, что можно получить при помощи эмиссионной и абсорбционной рентгеновской спектроскопии. Я отчетливо понимал, что электронная спектроскопия атомов и твердых веществ никогда не сможет конкурировать с эмиссионной и абсорбционной рентгеновской спектроскопией до тех пор, пока не удастся достичь такого высокого разрешения, чтобы ширина электронной линии была бы равной или близкой к ширине атомных уровней.

Я полагал, что эти проблемы важны и начал разрабатывать новую экспериментальную технику, с помощью которой можно было бы удовлетворить столь высоким требованиям к разрешению при низких энергиях электронов, в 10—100 раз меньших, чем в работах по радиоактивности. В начале 1950 г. я отошел от экспериментальной работы и в течение нескольких дней пытался сделать подробные вычисления ожидаемых интенсивностей. Я сконструировал ²⁸, ²⁹, ³⁰ безжелезный спектрометр с двойной фокусировкой при $\rho = 30$ см, на котором я имел возможность измерять ток с точностью, лучшей, чем $1 : 10^4$. Спектрометр был окружен большой трехкомпонентной системой катушек Гельмгольца для экранировки магнитного поля Земли во всей области спектрометра до $1 : 10^3$. Если бы я имел рентгеновскую трубку с K_{α} -излучением в области энергий 5 кэВ, это дало бы мне возможность измерить выбиваемые фотоэлектроны с точностью до доли электрон-вольта. Этой точности, как я думал, было почти достаточно в атомной физике. Я также надеялся наблюдать явления, представляющие интерес для химии, при условии, что мне удастся осуществить то разрешение, к которому я стремился, но к тому времени мои идеи в этом отношении были, конечно, очень неопределенными и в основном концентрировались вокруг сдвига атомных уровней в сплавах и т. д. Вычисляя ожидаемые интенсивности линий фотоэлектронов, я начинал с учета определенного числа мА·с рентгеновской трубки, а затем, используя имеющиеся сведения, рассчитывал число K_{α} рентгеновских фотонов. Потом я учел все телесные углы (как рентгеновской трубки, так и электронного спектрометра) и сделал некоторые предположения об эффективных сечениях фотоионизации из наиболее близких к поверхности слоев твердого вещества. Нельзя было ожидать, что такие электроны будут терять много энергии, и поэтому они представляли интерес для создания основ новой спектроскопии. В ретроспективе, эта последняя стадия моего исследования, конечно, представляла некоторый интерес с точки зрения последующего развития электронной спектроскопии в спектроскопию *поверхности*. Я предположил, что та величина, которая сейчас называется «глубиной выхода» электронов, должна быть меньше длины волны света и больше нескольких атомных слоев, и выбрал величину 100 \AA для моих вычислений. Это предположение не было чересчур плохим, если обратить-

ся к более поздним исследованиям, в которых были получены несколько меньшие значения для металлов и примерно 100 \AA для многослойных органических веществ. В конце концов я достиг установленной скорости счета на фотоэлектронной линии в моем приборе порядка нескольких тысяч электронов в минуту на счетчике Гейгера — Мюллера, расположенном в фокальной плоскости спектрометра с двойной фокусировкой. Итак, я был доволен, установив, что вычисления очень хорошо соответствуют действительности. Однако чтобы проделать этот шаг, потребовалось несколько лет.

Оборудование, которое мне нужно было конструировать и использовать, в то время было очень сложным. Предельно достижимое разрешение оказалось достаточно высоким, и даже можно было зарегистрировать собственную ширину линий внутренней конверсии²⁴. Это было сделано в 1954 г. и в 1956 г., я опубликовал³¹ совместно с моим сотрудником Каем Эдвардсоном отчет об этом периоде работы под названием «Бета-спектроскопия с точностью $1 : 10^5$ ». Однако на следующем этапе работы мне предстояло преодолеть много трудностей с измерениями электронов низкой энергии, выбитыми рентгеновским излучением, и зарегистрировать их с помощью счетчика Гейгера — Мюллера. У счетчика имелось чрезвычайно узкое окошко, через которое постоянно диффундировал газ, так что его потерю можно было компенсировать автоматической системой напуска газа. Начав работу, я не представлял себе те предосторожности, которые нужно было применять в работе с поверхностями твердых тел для того, чтобы можно было разрешить отдельные линии спектра. После дальнейшей проверки чувствительности этого оборудования к влиянию конечного размера ядра на линии конверсии в некоторых ядрах^{32, 33} вместе с двумя моими новыми сотрудниками, Карлом Нордлингом и Эвелином Соколовским, я, в конце концов, смог перейти к атомной физике. Был получен первый фотоэлектронный спектр^{34, 35} с чрезвычайно резкими линиями ожидаемой интенсивности. Эти электронные линии определенно обладали всеми теми качествами, которые были намечены мною как первая цель. Они были симметричны, четко выражены, с шириной линии, которая могла быть определена из ширины линии используемого рентгеновского излучения и ширины атомного уровня изучаемого элемента, плюс, конечно, небольшое дополнительное уширение, обусловленное разрешением прибора. На рис. 1 показаны первые спектры MgO. Положение пика электронных линий было измерено со значительной точностью. В будущем электронная спектроскопия атомов могла уверенно развиваться.

Рис. 2 иллюстрирует процесс, который достигнут от ранних записей выбитых из золотой фольги фотоэлектронов в спектре Робинсона³⁶ в 1925 г. до электронной спектроскопии линий в 1957 г. Линия, включенная в спектр Робинсона, соответствует тому месту, где расположен спин-дублет $N_{VI}N_{VII}$, представленный на рисунке справа. Расстояние между двумя хорошо разрешенными линиями в нашем спектре соответствует приблизительно $0,1 \text{ мм}$ в шкале спектра Робинсона. Ниже этого спектра черный участок растянут (серая шкала) для того, чтобы показать соответствующую часть нашего спектра. Этот спектр был получен на более поздних этапах развития метода. В пределах этого растянутого спектра показано дальнейшее растяжение дублета $N_{VI}N_{VII}$. Теперь расстояние между линиями спин-дублета соответствует увеличению шкалы в 600 раз на микрофотограмме Робинсона. Сравнение среднего и нижнего спектров, представленных на рисунке, показывает чрезвычайно чувствительность электронной спектроскопии к свойствам поверхности. Различие между этими двумя спектрами вызвано легким прикосновением пальца. Вначале такая чувствительность метода причиняла нам много хлопот, но позже, когда

электронная спектроскопия была применена как метод изучения поверхности, это оказалось одним из ее наиболее ценных достоинств.

В 1957 г. мы опубликовали статьи ^{34, 35, 37} с описанием наших первых результатов, которые действительно открывали замечательные возможности для будущих исследований. Мы получили первые очевидные химические сдвиги ³⁷⁻⁴² в металлах и их оксидах, а также для линий оже-электронов. Однако я думал, что прежде всего мы должны усовершенствовать наш метод и заняться исследованием чисто атомных проблем и лишь после того, как будет приобретен достаточный опыт, можно будет перейти к молекулярным проблемам. Поэтому мы систематически измеряли энергии

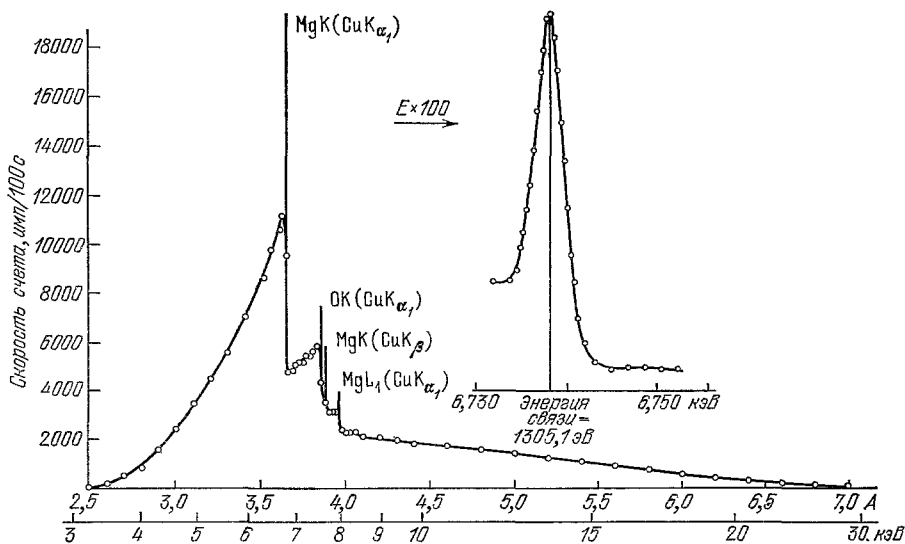


Рис. 1. Электронный спектр MgO, полученный с помощью рентгеновского излучения меди.

От каждого края можно разрешить очень резкую электронную линию. Такая электронная линия показана сверху справа, при этом шкала энергий увеличена в 100 раз, чтобы выделить конечную ширину линии.

связи атомов для множества элементов с возрастающей точностью, по сравнению с предыдущими методами, в особенности методом рентгеновской абсорбционной спектроскопии ^{40, 41, 43-61}. Мы удивлялись тому, насколько были неточны ранее принятые энергии связи электронов для различных оболочек в разных элементах. Мы получили так называемые «модернизированные» диаграммы Мозли. Нас беспокоили те неопределенности, которые обусловлены химическим состоянием элемента, и поэтому в наших систематических исследованиях мы пытались использовать только металлы или по крайней мере однотипные соединения. Мы также прилагали много усилий для исследования линий оже-электронов ⁶²⁻⁶⁹, которые проявлялись в наших спектрах со столь же хорошим разрешением, как и фотоэлектронные линии. Одним из результатов таких исследований было то, что мы могли наблюдать для группы элементов вблизи $Z = 40$ все девять линий, ожидаемых в теории промежуточного взаимодействия, по сравнению с наблюдаемыми шестью линиями в чистой $j-j$ -связи ⁶³.

В целом, развитый нами спектроскопический метод показал, что линии фотоэлектронов и оже-электронов находились рядом. Поэтому позже мы отказались от какого-либо названия для этой спектроскопии,

которое могло бы привести к ложному впечатлению о том, что появляются электронные линии только одного из двух видов. Линии оже-электронов могли также быть получены в результате воздействия электронов, в дополнение к электронам, выбитым рентгеновским излучением. Большую часть упомянутых выше основных работ по энергетическим уровням атомов описали в своих диссертациях Е. Соколовски⁷⁰, С. Нордлинг⁷¹, П. Бергвалл⁷², О. Хёрнфельдт⁷³, С. Хагстрем⁷⁴ и А. Фальман⁷⁵.

После нескольких лет работы в электронной спектроскопии над проблемами атомной физики наступил следующий этап работы, а именно систематические исследования химической связи. К ним я приступил совместно с моими сотрудниками Стигом Хагстромом и Карлом Нордлингом. Нами было установлено, что $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ дает две хорошо разрешенные фотоэлектронные К-линии от серы⁷⁶. Это показывало, что в молекуле могут быть выделены два, различным образом связанные атома серы, которые в соответствии с классической химией находятся в валентных состояниях 2 — и 6+ соответственно. Это был более четкий результат по сравнению со случаем медь — оксид меди, который мы изучали ранее, поскольку уровень отсчета для двух атомов серы мог быть отнесен к одной и той же молекуле. Систематические исследования химической связи методом ЭСХА описали в диссертациях С.-Е. Карлссон⁷⁷, Р. Нордберг⁷⁸, К. Хамлин⁷⁹, Дж. Хедман⁸⁰, Г. Йоханссон⁸¹, У. Геллиус⁸² и Б. Линберг⁸³.

На рис. 3 показаны химические сдвиги в спектре С 1s для этилтрифторацетата^{84, 85}. Рис. 4⁸⁶ показывает, как эффект химического сдвига может быть использован для идентификации групп атомов, связанных между собой в разветвленных цепях полимеров⁸⁷⁻⁹⁰. Интенсивности линий коррелируют с различными типами разветвлений в двух полимерах типа Viton.

В первом приближении при интерпретации электронных спектров электронная структура рассматривается как «замороженная» в процессе фотоэлектронной эмиссии. В таком приближении измеренные энергии связей электронов могут быть отождествлены с собственными энергиями орбиталей, полученными по методу Хартри — Фока. Здесь мы пренебрегаем тем фактом, что оставшаяся электронная структура после эмиссии электрона релаксирует в новое состояние с вакансией. Однако нет оснований считать энергию релаксации пренебрежимо малой и при точных вычислениях соответствующих энергий связи следует учитывать как энергию основного состояния, так и состояния с вакансией, а также разницу между ними. При ионизации внутренних оболочек атомов более тяжелых элементов необходимо при таких расчетах учитывать релятивистские эффекты (И. Линдгрен⁹¹). В последние годы для описания процессов

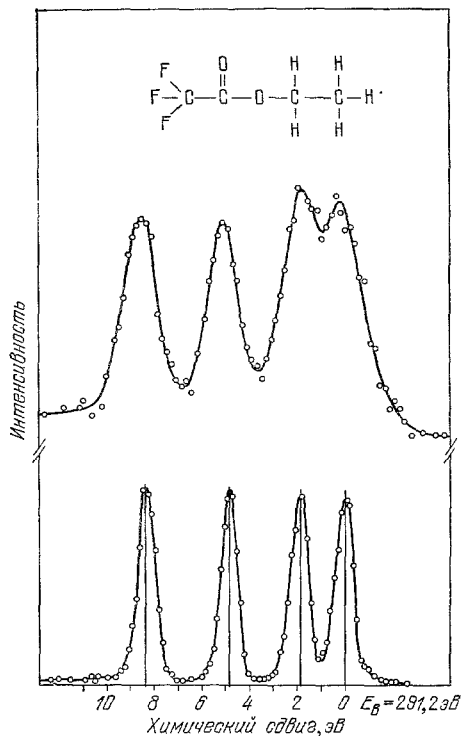


Рис. 3. Химические сдвиги ЭСХА на С1s в этилтрифторацетате.

Верхний спектр без, а нижний с монохроматизацией рентгеновских лучей^{84, 86}.

эмиссии фотоэлектронов были разработаны методы, использующие операторы перехода, которые хорошо описывают процессы релаксации⁹²⁻⁹⁴. Кроме того, расчеты *ab initio* могут быть дополнены различными модельными представлениями.

При рассмотрении химических сдвигов в свободных молекулах достаточным оказывается точный учет свойств только основного состояния⁹⁵⁻¹⁰⁶. Это обусловлено тем обстоятельством, что энергии релаксации для ряда подобных электронных систем изменяются незначительно. Разделение

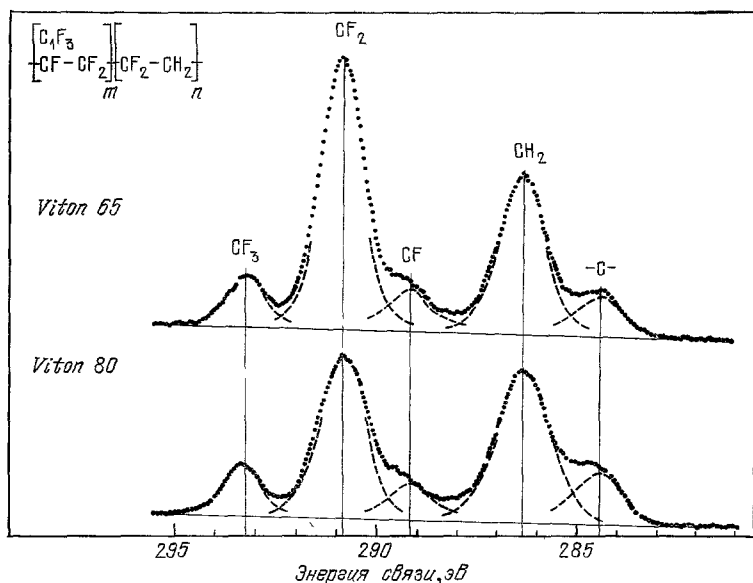


Рис. 4. ЭСХА-спектр полимеров Viton 65 и Viton 80.

энергии релаксации на две составляющие: одну — связанную со сжатием атома при ионизации — и другую — с «потокком» заряда из остальной части молекулы — открывает новые возможности для описания этого явления^{107, 108}. Атомная часть, которая почти постоянна для данного конкретного элемента, является доминирующим вкладом в энергию релаксации. Часть энергии, связанная с «потокком», изменяется в общем случае незначительно для свободных молекул со сходной структурой, что и приводит к постоянству энергии релаксации. Однако есть примеры, когда часть «потока» может значительно изменяться от одного случая к другому. Одним из них является молекула, адсорбированная на поверхности металла. В этом случае поток электронов проводимости от металлической подложки будет давать вклад в релаксацию «вакансии» оболочки. Это может привести к увеличению энергии релаксации на несколько электрон-вольт^{109, 110}. Другим примером являются чистые металлы и сплавы, в которых вакансии экранируются электронами проводимости¹¹¹⁻¹¹⁶. Этому посвящали диссертации Н. Мартенссон¹¹⁷ и Р. Найхольм¹¹⁸.

Принимая во внимание интересные приложения, которые может иметь эффект химического сдвига для химии, а также тот установленный нами к этому времени факт, что электронная спектроскопия применима для анализа всех элементов Периодической системы, мы придумали для нашего метода акроним ЭСХА — электронная спектроскопия для химического анализа. Можно отдать предпочтение другому термину, если кто-либо специально интересуется зонами проводимости металлов или сплавов (рис. 5¹¹⁹) или структурой валентных электронов твердых материалов вооб-

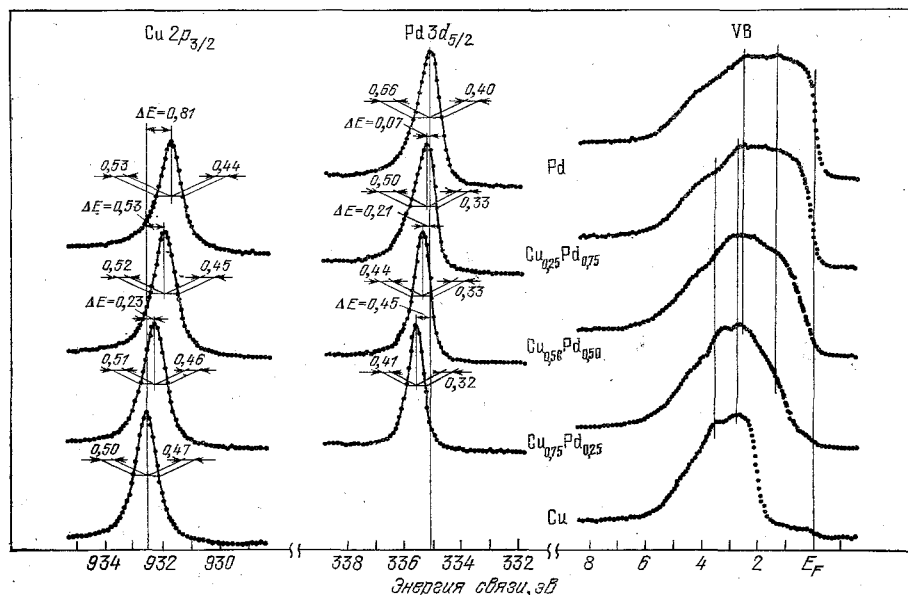


Рис. 5. Электронные спектры внутренних и валентных электронов (возбуждены монохроматизированным Al K α -излучением) некоторых сплавов состава Cu $_x$ Pd $_{1-x}$, а также чистых металлов.

При увеличении содержания Cu энергии связи подвергаются положительным химическим сдвигам. Асимметрия линий обусловлена образованием мягких пар «электрон-вакансия» на уровне Ферми при ионизации внутренней оболочки. Таким образом, величина асимметрии связана с плотностью состояний (локальной) уровня Ферми. Линии Pd становятся более симметричными при увеличении содержания Cu (локальная плотность состояний Pd уменьшается).

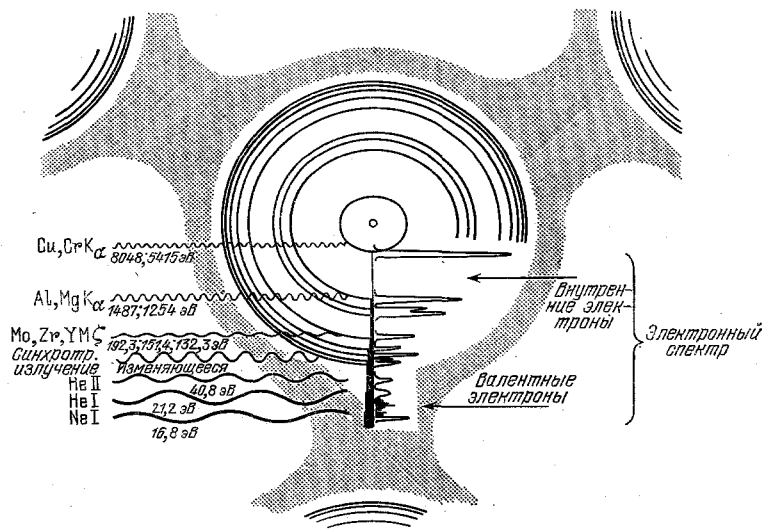


Рис. 6. Области энергии связи, доступные при использовании различных источников фотонов.

Сплошные окружности — локализованные орбитали типа атомных, заштрихованная область — в той или иной степени делокализованные молекулярные орбитали.

ще либо свободными молекулами. Одним из полезных различий в спектрах являются различия между спектрами электронов внутренней оболочки и спектрами валентных электронов (рис. 6). Как отмечалось ранее, дальнейшим очевидным основанием для классификации является происхождение линий фотоэлектронов и оже-электронов. Вскоре после работы ⁶⁹ мы

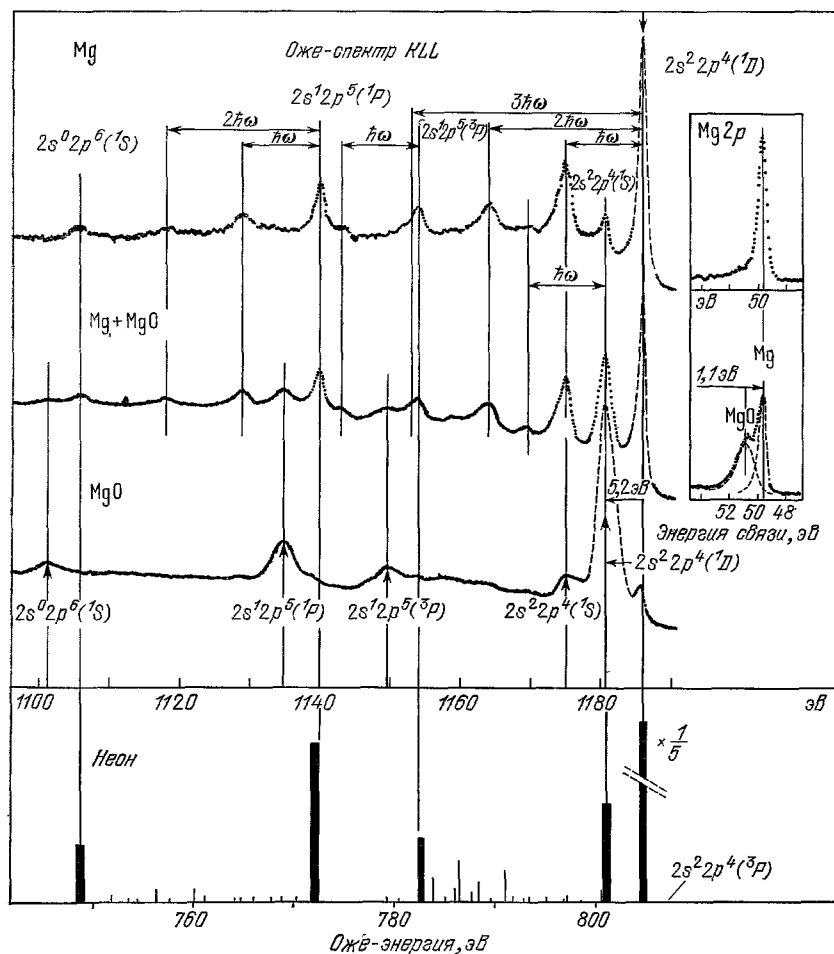


Рис. 7. Mg KLL-спектры оже-электронов при различных стадиях окисления, полученные методом ЭСХА.

Верхний спектр соответствует чистой поверхности металла, нижний спектр получен для окисленного металла (присутствуют только следы металла), средний спектр получен для промежуточной стадии окисления. Наблюдаются линии объемных плазмонов. Для сравнения внизу приведены Ne KLL-линии оже-электронов, полученные на ЭСХА-спектрометре при возбуждении электронным пучком.

установили эффект химического сдвига для оже-электронов в случае $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Дальнейшие исследования ¹¹¹, ¹¹², ¹²⁰⁻¹³³ показали, что оба эффекта химического сдвига дополняют друг друга. Сочетание этих двух сдвигов позволяет глубже проникнуть в механизм релаксации при фотоионизации. Электронные оже-спектры представлены на рис. 7, соответственно для чистого металла Mg, частично окисленного и, наконец, полностью окисленного до MgO ⁸⁶. Кроме обычных линий электронов внутренней оболочки и линий оже-электронов от различных внешних оболочек, характерных для каждого элемента, электронные спектры имеют также

дополнительные особенности. Часто наблюдаются спутники, расположенные вблизи (~ 10 эВ) главных линий электронов внутренней оболочки, со стороны низких энергий с интенсивностью около 10% от последних. На рис. 8¹¹⁴ показан электронный спектр газообразной Hg. Видны спутники линии дублета $N_{VI}N_{VII}$. Сильные спутники впервые наблюдались нами⁶⁸ в KLL-спектрах оже-электронов калия, для некоторых его соединений. Было установлено, что часто спутники появляются для линий внутренних оболочек, и иногда их интенсивности сравнимы с интенсивностями главных линий, например, для паранитроанилина¹³⁴⁻¹³⁶, соединений переходных металлов¹³⁷⁻¹⁴⁶ и различных молекул, адсорбированных на поверхности^{148, 149}. Поскольку эти электроны, как можно себе представить, испускаются возбужденными состояниями, соответствующие спутники получили название линий «встряхивания».

Молекулы типа O_2 или NO содержат неспаренные электроны и поэтому парамагнитны. Разнообразные классы твердых материалов имеют подобные свойства. В таких случаях спектры электронов внутренних оболочек имеют типичные особенности, называемые спиновым, мультиплетным или обменным расщеплением. Впервые это явление мы наблюдали¹⁵⁰ для кислорода при введении воздуха в газовую ячейку нашего прибора ЭСХА (рис. 9). Линия $1sO_2$ расщеплена с отношением интенсивностей 2:1. Такое расщепление по спину обусловлено обменным взаимодействием между оставшимся $1s$ -электроном и двумя неспаренными электронами на $\pi_g 2p$ -орбитали, которые ответственны за парамагнетизм этого газа. Результирующий спин может быть либо $1/2$, либо $3/2$. Вычисленные значения соответствующих энергий электростатического обмена хорошо согласуются с измеренной величиной расщепления, равной 1,11 эВ¹⁵¹. Помимо кислорода и азота в воздухе можно также видеть аргон и CO_2 , несмотря на низкое содержание этих газов. В результате статистической обработки этих измерений возможно обнаружить присутствие неона (0,001%). Другие особенности спектров можно наблюдать в области валентных электронов, т. е. при энергиях связи в интервале от нуля до, скажем, 50 эВ. В первых исследованиях всей этой области нами были использованы галогениды щелочных металлов¹⁵².

В более позднем исследовании¹⁵³ (1970) монокристалла NaCl мы открыли явление ЭСХА-дифракции. Мы исследовали угловое распределение испускаемых оже-электронов для переходов $NaKLL$ ($1D_2$) и фотоэлектронов для уровней $Na1s$, $Na2s$, $Cl2p_{3/2}$ и $Cl3p$, являющихся самыми внешними валентными орбиталями кристалла. Для возбуждения были использованы как излучение AlK_{α} , так и MgK_{α} . Извне кристалл мог быть установлен под различными углами по отношению к направлению эмиссии электронов, которое в свою очередь определялось системой щелей ЭСХА-спектрометра. Для сравнения были также получены угловые распределения для поликристаллических образцов. Во всех случаях наблюдались типичные дифракционные картины. В контрольных экспериментах на поликристаллических образцах не было таких картин. На рис. 10 показаны две из полученных дифракционных картин. Последующие измерения^{157, 158} с другими монокристаллами давали результаты, согласующиеся с отмеченными выше исследованиями. ЭСХА-дифракция недавно была применена для изучения поверхности и дала интересную информацию о геометрии молекул, адсорбированных на монокристаллах¹⁵⁹⁻¹⁶¹. Эта область исследований находится в стадии развития, и в будущем следует ожидать интересных результатов в изучении поверхности.

В процессе дифракции рентгеновских лучей имеется проходящаяся фотонная волна и уходящая дифрагированная фотонная волна. При дифракции электронов имеется проходящая электронная волна и уходящая

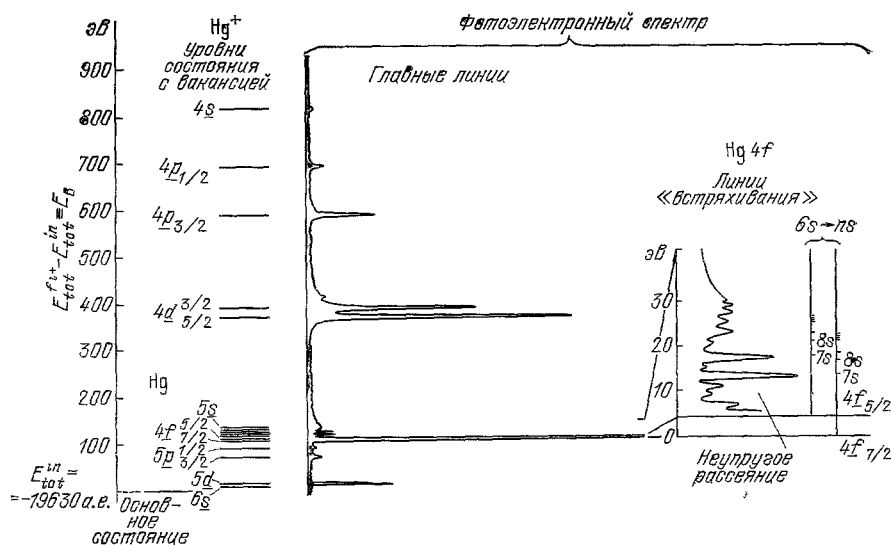


Рис. 8. Связь между системой уровней ртути в состоянии с вакансией (Hg^+) и наблюдаемым фотоэлектронным спектром атома ртути.

Рисунок иллюстрирует, что главные линии связаны с состояниями иона, образованного при удалении атомной орбитали из нейтрального атома в основном состоянии (в одноэлектронном приближении). Область энергий вблизи 4f-линий растянута (крайний справа рисунок), чтобы показать, что наблюдаемые дополнительные линии спутников (линии «встряхи») обусловлены возбуждением ($6s \rightarrow n s$) выше 4f-вакантного основного состояния. (Отметим, что интенсивности 4f-линий усежены для сохранения масштаба всего рисунка.) (Из работ ^{114, 260}.)

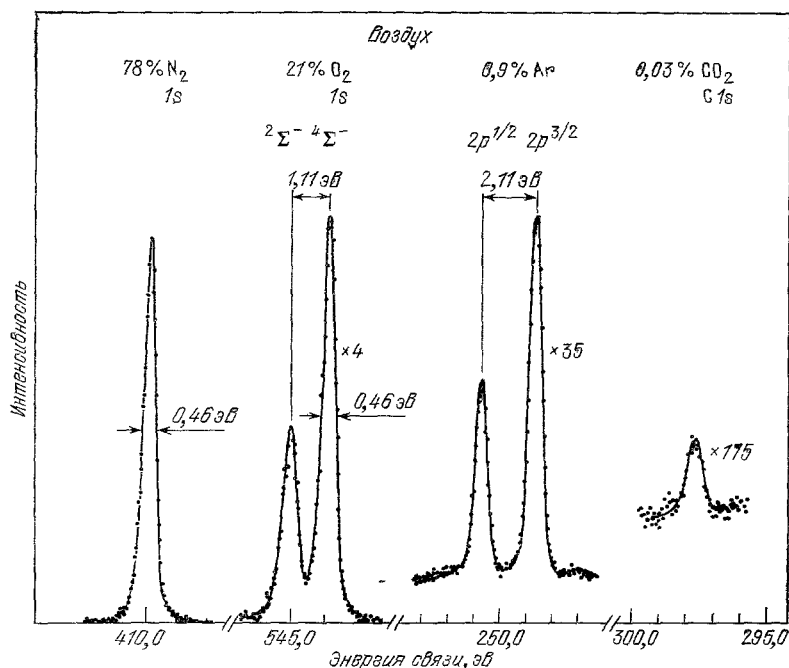


Рис. 9. Электронный спектр воздуха.

Разделение линии $\text{O}_2 1s$ на две компоненты обусловлено «спиновым» или «мультиплетным» расщеплением. Возбуждение осуществлялось монохроматизированным излучением Al K_α ($\Delta h\nu = 0,2$ эВ).

дифрагированная электронная волна. В ЭСХА-дифракции есть* приходящая фотонная волна и уходящая дифрагированная электронная волна с различными энергиями. Это — три определенно различные физические явления, которые с очевидностью требуют как различной экспериментальной техники для наблюдений, так и различных теоретических моделей, используемых при обработке полученных данных. Дальнейший прогресс может быть достигнут за счет использования как более совершенных приборов, сконструированных для этой цели, так и более мощных источников рентгеновских лучей и синхротронного излучения¹⁶¹⁻¹⁶⁴.

Для изучения газов и паров жидкостей мы сначала ввели методику замораживания¹⁶⁵ с целью конденсации газов на подложку. Таким путем мы получили спектр валентных или молекулярных орбиталей замороженного бензола¹⁶⁶. Вскоре мы установили, что использование в нашем приборе дифференциальной откачки дает возможность таким же образом изучать газовую фазу. В нашем первом исследовании с этой методикой для газов, т. е. свободных молекул, был взят ацетон, который давал две хорошо разрешенные линии внутренней оболочки C1s, одну для углерода карбонильной группы и одну для метильной группы с отношением интенсивностей 1 : 2¹⁶⁷.

Поскольку твердые вещества, поверхности, газы и пары жидкостей, как было установлено, являлись подходящими объектами для электронной спектроскопии, возникал вопрос, можно ли так же изучать жидкость. Оказалось, что это вполне возможно, и несколько подходящих методов было предложено в нашей лаборатории¹⁶⁸⁻¹⁷³. Ранние разработки и приложения описали в диссертациях Х. Зигбан¹⁷⁴, Л. А. Асплунд¹⁷⁵ и П. Кельфве¹⁷⁶.

Недавно была сконструирована новая более совершенная установка (Х. Зигбан), приведенная на рис. 11¹⁷³. Небольшой ролик вращается в кювете с жидкостью. Щель пропускает возбуждающее излучение, например рентгеновское излучение, а выбиваемые электроны из вещества, постоянно смачивающего ролик, покидают эту область через ту же щель, причем для уменьшения давления газа введена дифференциальная откачка. Охлаждение образца позволяет заметно увеличить набор жидкостей, которые могут быть исследованы таким методом. На рис. 12 показана часть спектра этанола, в котором растворены йод и йодид натрия, полученного недавно в нашей лаборатории¹⁷³. Здесь можно наблюдать хорошо разрешенный спин-орбитальный дублет йода $3d_{5/2}$ и $3d_{3/2}$. Каждая из этих электронных линий расщеплена в результате химических взаимодействий в отношении $\sim 1 : 2$. Это может быть обусловлено образованием в растворе I_3^- . Атом йода, расположенный в центре, имеет наибольшую энергию связи. Правильное отношение интенсивностей 1 : 2 получается при отнесении сателлитов «встряхиывания» к двум внешним атомам йода, что нахо-

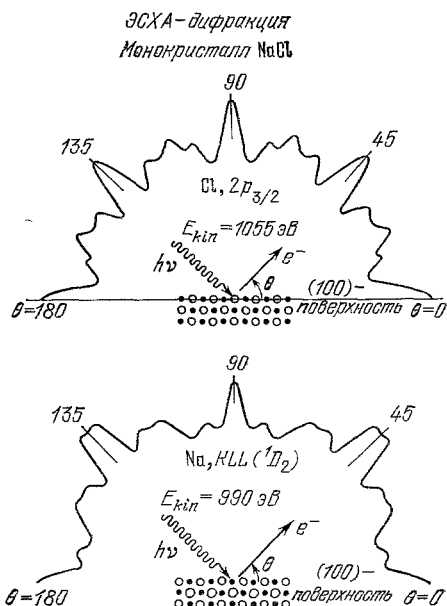


Рис. 10. Угловые распределения фотоэлектронов Cl $2p_{3/2}$ (Mg $K\alpha$) и Na KLL (D_2) оже-электронов монокристалла NaCl.

дится в согласии с другими нашими измерениями для сходных конфигураций в других электронных спектрах. Спектр жидкого этанола показан на рис. 13. Здесь можно наблюдать 1s-линию внутренних электронов

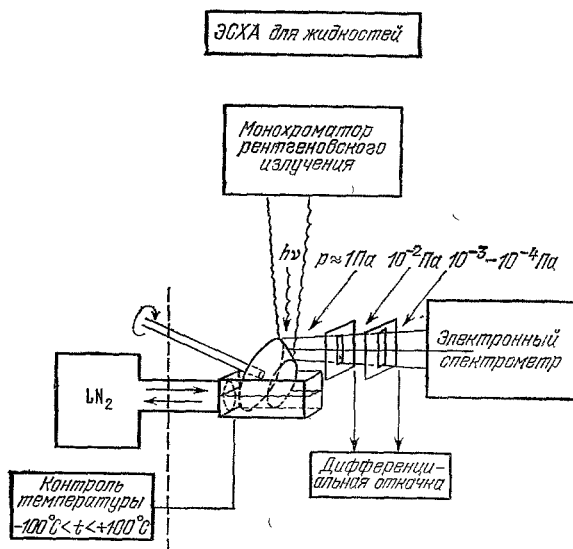


Рис. 11. Схематическое изображение устройства для исследования жидких образцов.

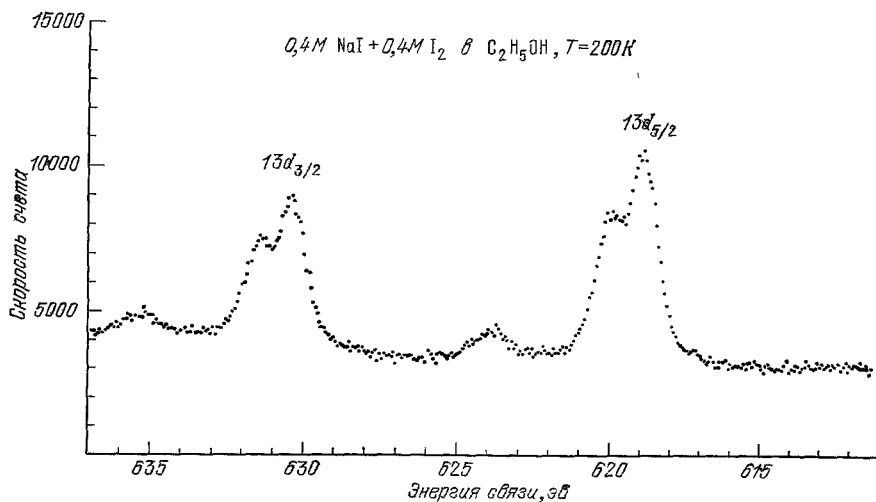


Рис. 12. Спектр I 3d раствора NaI (0,4M) + I₂ (0,4M) в этиловом спирте при 200 К. Дублет каждой компоненты спин-орбиты обусловлен ионизацией центрального атома (меньший пик) и внешнего атома (большой пик) иона I₂⁻. Дополнительные пики со стороны больших энергий связи, для каждой компоненты спин-орбиты, объясняются «встраиванием» структуры.

кислорода, химически расщепленную 1s-линию углерода и электронный спектр валентной зоны. Эта область исследований жидкостей в настоящее время бурно развивается.

В валентной зоне свободных молекул оказалось возможным значительно увеличить разрешение, если использовать для возбуждения УФ излучение, особенно резонансное излучение He при 21 эВ. Работы в этой

области развивали в Англии Д. В. Тернер¹⁷⁷⁻¹⁸², В. Ц. Прайс¹⁸³⁻¹⁸⁴ и их сотрудники. В США В. Е. Слайсер и сотрудники¹⁸⁵⁻¹⁸⁸ использовали сверхвысокий вакуум для исследования зон проводимости металлов.

В моей лаборатории в начале шестидесятых годов был сконструирован большой секторный прибор с электростатической фокусировкой для возбуждения электронных спектров в газовой фазе под действием вакуумного УФ излучения, а также электронов. Таким методом были получены спектры валентных электронов высокого разрешения, а в дальнейшем были исследованы спектры Оже и автоионизации инертных газов и органических

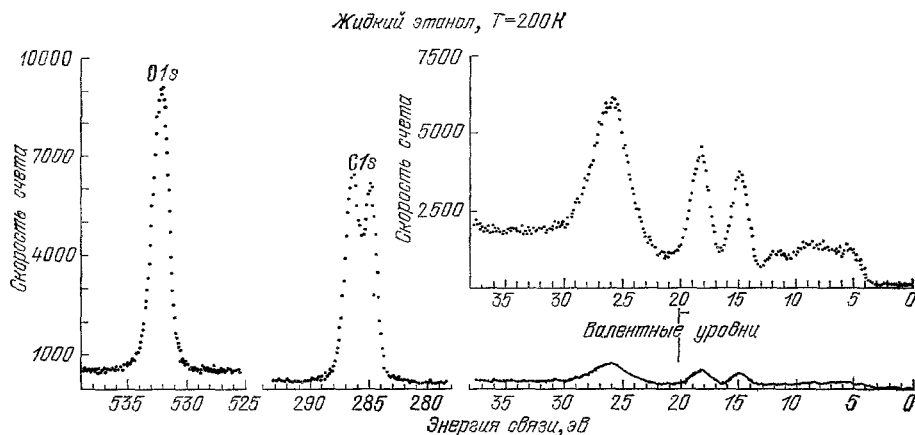


Рис. 13. ЭСХА-спектр жидкого этанола, полученный при $T = 200$ К.

молекул с разрешением, которое давало возможность проявиться колебательной структуре. Использование поляризованного излучения инициировало работы по исследованию углового распределения. Были использованы поляризаторы для вакуумного УФ излучения, разработанные в нашей лаборатории.

Источники возбуждения были длительное время ограничены либо областью мягкого рентгеновского излучения, либо УФ областью с промежутком между ними от ~ 50 эВ (He II) до 1250 эВ (Mg K_{α}). На рис. 14 показан спектр валентных электронов $S F_6$, возбуждаемый He I, He II и Al K_{α} ^{197, 198}. Впоследствии были добавлены некоторые промежуточные рентгеновские линии¹⁹⁹⁻²⁰⁵ такие, как $Y M_{\xi}$ при 132 эВ; однако основным шагом в развитии метода было использование на протяжении семидесятых годов перестраиваемого синхротронного излучения (например, ²⁰⁶⁻²¹⁰), которое частично сокращало разрыв в указанном промежутке энергий. Теперь уже не так легко сохранять прежнее, столь сильное различие между рентгеновскими и УФ-электронными спектрами возбуждения, если только не указывать при этом на используемую методику для возбуждения атомов. Однако в большинстве работ это не так уж просто сделать, поскольку прекрасные работы можно сделать как с той или иной методикой, так и комбинируя их.

К 1967 г. мы прошли ряд основных этапов развития спектроскопии, сконструировав несколько новых спектрометров (включая спектрометры с электростатической двойной фокусировкой), применив новые источники излучения в мягкой рентгеновской и УФ областях, проделав теоретические исследования процессов электронной релаксации при ионизации и применив спектроскопию к ряду различных областей исследования. Мы реши-

ли представить новую спектроскопию в более согласованном и завершенном виде по сравнению с тем, что было сделано раньше. Поэтому в конце 1967 г. появилась наша книга «ЭСХА-изучение структуры атомов молекул и твердого вещества методом электронной спектроскопии»²¹¹. Двумя годами позже мы опубликовали вторую книгу²¹², в этот раз под названием «ЭСХА-

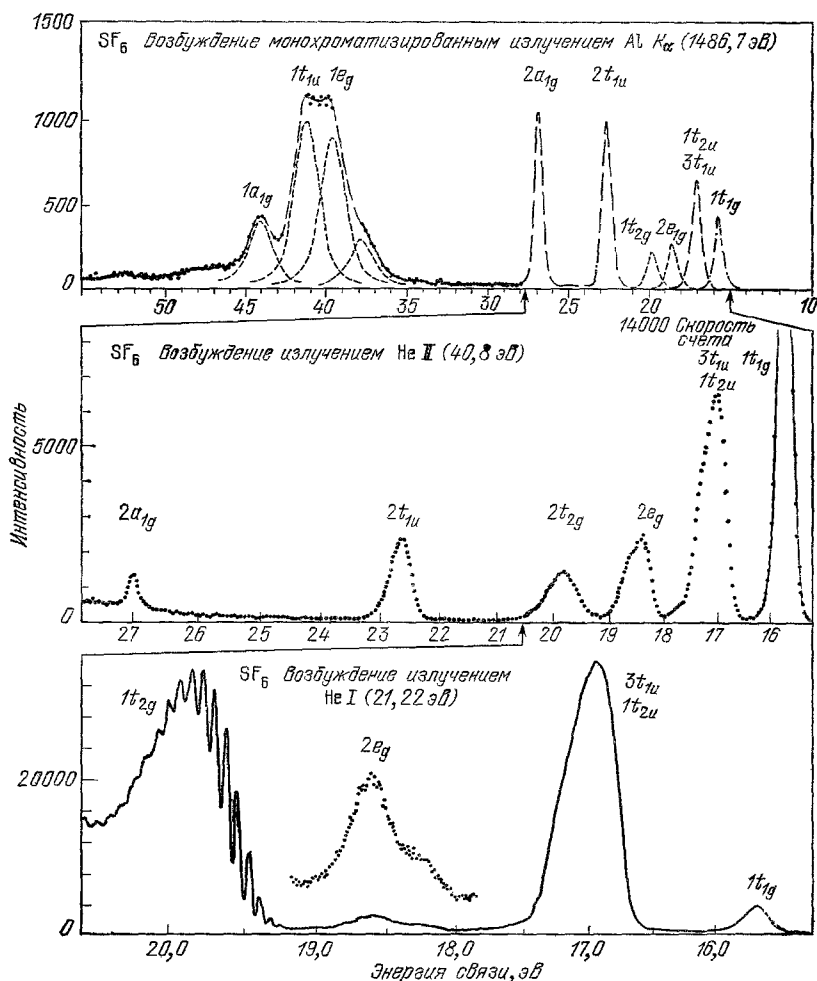


Рис. 14. Спектр валентных электронов молекулы SF_6 , возбужденной при различных энергиях фотонов (излучение $\text{Al K}\alpha$, He II и He I).

Этот рисунок иллюстрирует дополнительную природу различных источников возбуждения. Спектр, возбужденный излучением $\text{Al K}\alpha$, дает возможность получить всю валентную область (включая наиболее глубокие орбитали), которая недоступна для фотонов с меньшей энергией. Более высокое разрешение в спектре, возбуждаемом резонансным излучением, не дает возможности изучать более тонкие детали линий внешних электронов. Отметим также сильное изменение относительных интенсивностей линий в зависимости от энергии фотонов. Это может быть использовано как дополнение при отнесении спектров^{197, 198}.

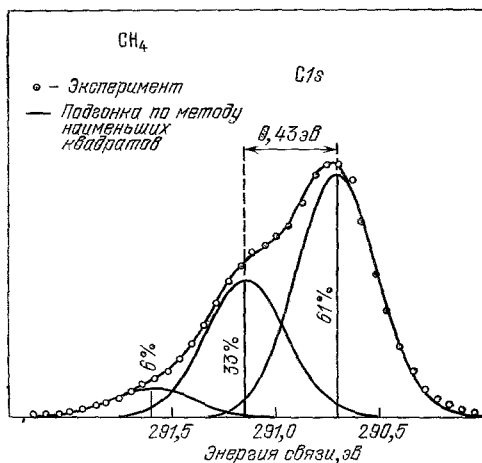
приложение к свободным молекулам». К тому времени несколько фирм, выпускающих научное оборудование, начали разрабатывать коммерческие спектрометры. Я принимал участие в одной из таких разработок фирмы Хьюлетт-Паккард в течение 1968 г., когда я временно отсутствовал в лаборатории. Я провел этот год в лаборатории им. Лоуренса в Беркли, с которой мы уже имели длительное сотрудничество как в области ядерной

спектроскопии, так и в ЭСХА-спектроскопии. Был сконструирован спектрометр Хьюлетт-Паккард²¹³, включающий монохроматор для $Al K_{\alpha}$ -излучения, состоящий из трех сферически изогнутых кварцевых кристаллов и системы возвращающих электростатических линз, для выравнивания дисперсии этих кристаллов в электронном спектрометре.

Сферически изогнутый монохроматор из кварцевого кристалла, дающий двойную фокусировку, был создан в моей лаборатории в 1958 г.²¹⁴ для других целей, а именно в связи с малоугловым рассеянием рентгеновских лучей на латексе и других частицах, представляющих биологический

Рис. 15. Колебательная структура линии внутренних электронов $C 1s$ в CH_4 .

Структура линии может быть количественно интерпретирована как следствие сокращения равновесных расстояний при испускании электрона внутренней оболочкой²¹⁷.



интерес²¹⁵. Для дальнейшего прогресса в ЭСХА оказалось существенным сочетание двойной фокусировки как с монохроматором рентгеновских лучей, так и с анализатором электронов. Другим значительным техническим усовершенствованием являлось введение плавно вращающегося анода с водяным охлаждением (У. Гелиус), мультidetекторов на основе электронных многоканальных пластин и оснащение установок вычислительной техникой (Е. Базилиер).

В 1972 г. мой сотрудник Ульрик Гелиус и я сделали новый прибор^{85, 216}, в основном предназначенный для изучения газов, в котором были предусмотрены все отмеченные усовершенствования. Улучшенное разрешение этого прибора давало возможность для расшифровки новых структур. Одним из наиболее интересных открытий была тонкая колебательная структура линий внутренних электронов^{82, 217}. На рис. 15 показан профиль $C 1s$ электронов в CH_4 . Оказалось, что эта линия может быть разделена на три компоненты, обусловленные симметричными колебаниями $1s$ -уровня центрального атома углерода при фотоионизации. Когда фотоэлектрон покидает молекулу метана, последняя сокращается примерно на $0,05 \text{ \AA}$. Следовательно, минимум новой потенциальной кривой для иона будет смещен на соответствующую величину, а наблюдаемая тонкая колебательная структура электронной линии определяется переходами в соответствии с правилом Франка — Кондона с интенсивностями, даваемыми факторами Франка — Кондона. Обнаружение этого эффекта может быть связано с одновременным открытием тонкой колебательной структуры эмиссионных линий мягкого рентгеновского излучения, сделанным в нашей лаборатории^{218–233}. В дальнейшем эти исследования описали в работах Л. О. Верме²³⁴, И. Нордген²³⁵ и Х. Огрен²³⁶. В совокупности эти результаты показывали, что колебания имеют место в этих молекулах как в пер-

воначальном, так и в конечном состояниях процесса эмиссии рентгеновских лучей.

Описанный выше спектрометр высокого разрешения, сконструированный совместно с У. Гелиус, запланирован как прототип усовершенствованных приборов нового поколения, которые изготовлены в основанной недавно лаборатории электронной спектроскопии в г. Упсала²³⁷. Один

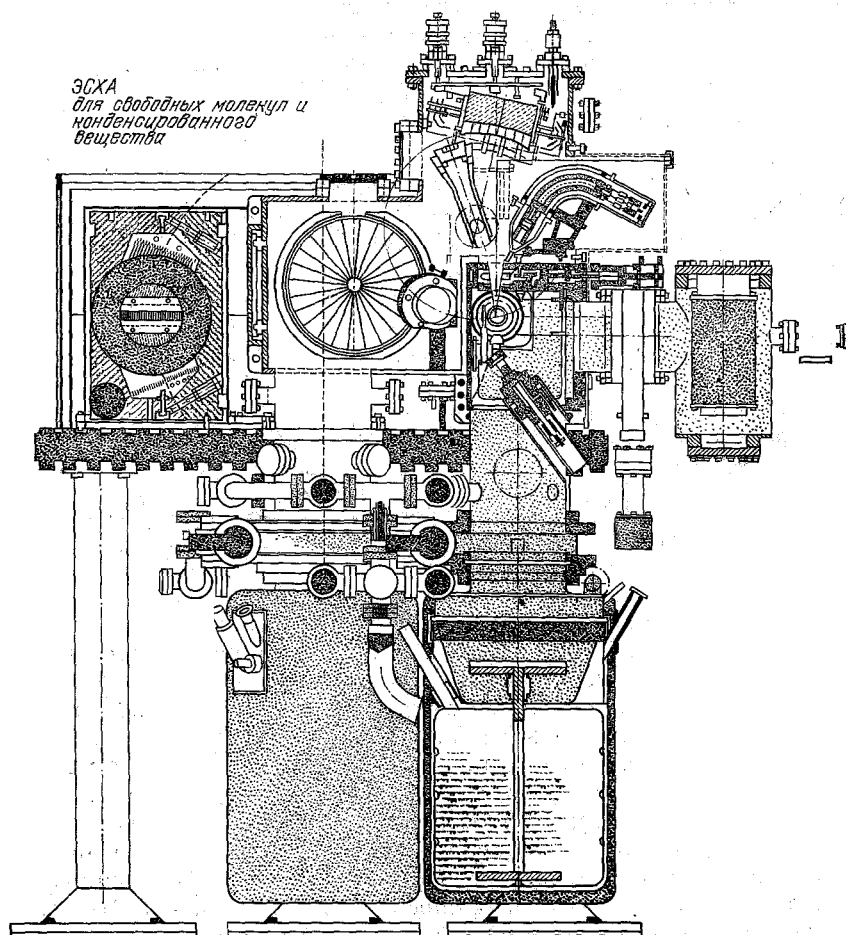


Рис. 16. Вид сбоку новой установки ЭСХА для свободных молекул и конденсированного вещества.

В установке обеспечивается сверхвысокий вакуум и используются четыре различных вида возбуждения (монохроматизированное $Al K_{\alpha}$, монохроматизированное и поляризованное УФ, электронный удар, монохроматизированный электронный удар).

такой спектрометр, конструирование которого недавно завершено, является представителем шестого поколения в последовательности приборов моей лаборатории, начиная с 1954 г. Еще два новых прибора созданы для исследования молекул и третий прибор для изучения поверхности. В них предусмотрен сферический электростатический анализатор ($R = 36$ см) с системой электростатических линз (Ваннберг²³⁸). В спектрометре имеются следующие моды возбуждения: монохроматическое $Al K_{\alpha}$ -излучение ($\Delta h\nu = 0,2$ эВ) 1486,6 эВ; источник УФ излучения с решеткой, дающей возможность селекции линий УФ излучения между 10 и ~ 50 эВ; монохроматор электронов с изменяющейся энергией, с однородностью по энергии

≤ 10 мэВ и дополнительная электронная пушка для возбуждения оже-электронов, также с изменяющейся энергией (рис. 16). При изучении углового распределения можно использовать независимо поляризатор УФ-света на различных длинах волн.

Мною был дан краткий отчет, имеющий отношение к той работе, которая проделана в моей лаборатории в процессе развития электронной спектроскопии. В течение семидесятих годов по электронной спектроскопии было написано несколько обзоров и книг, и для того чтобы иметь более полное представление, читателю следует ознакомиться с такими источниками²³⁴⁻²⁵⁸. Две книги только что завершены в моей лаборатории, авторами которых являются Ганс Зигбан и Лейф Карлссон^{259, 260}, в которых описано развитие электронной спектроскопии в основном после 1970 г., а также различные экспериментальные и теоретические аспекты метода.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Siegbahn K. Studies in β -Spectroscopy: Thesis.— Ark. Mat., Astr., Fys. Ser. A, 1944, v. 30, p. 1.
2. Siegbahn K., Svartholm N.—Nature, 1946, v. 157, p. 872.
3. Svartholm N., Siegbahn K.— Ark. Mat., Astr., Fys. Ser. A, 1946, v. 33, p. 21.
4. Hedgran A., Siegbahn K., Svartholm N.—Proc. Phys. Soc. Ser. A, 1950, v. 63, p. 960.
5. Siegbahn K.— In: Alpha-, Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy./Ed. K. Siegbahn.— Amsterdam: North-Holland, 1956.— P. 79.— (Перевод: Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия/Под ред. К. Зигбана.— М.: Атомиздат, 1969.— Прим. перев.).
6. Hofstadter R. Les Prix Nobel, 1961.
7. Lindström G. Nuclear Resonance Absorption Applied to Precise Measurements of Nuclear Magnetic Moments and the Establishment of an Absolute Energy Scale in β -Spectroscopy: Thesis.— Ark. Fys., 1951. v. 4, p. 1.
8. Hedgran A. Precision Measurements of Nuclear Gamma-Radiation by Techniques of Beta-Spectroscopy: Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1952.
9. Bergström I. The Isomers of Krypton and Xenon; An Investigation with Electromagnetically Separated Radiactive Isotopes: Thesis.— Ark. Fys., 1952, v. 5, p. 191.
10. Thulin S. Studies in Nuclear Spectroscopy with Electromagnetically Separated Gaseous Isotopes: Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1954.
11. Gerholm T. R. Coincidence Spectroscopy: Studies of Nuclear Magnetic Dipole-Transition Probabilities and of Positron Annihilation Lifetimes. Design and Construction of an Electron-Electron Coincidence Spectrometer and Its Application to the Investigation of Some Complex Nuclear Disintegrations: Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1956.
12. Lindqvist T. Angular Correlation Measurements; Studies of Relative Transition Probabilities of Gamma Radiation and of Internal Compton Effect. Experiments on Nuclear g -Factors: Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1957.
13. Bäckström G. Levels and Transitions of Atomic Nuclei; Experiments and Experimental Methods: Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1960.
14. Pettersson B.-G. Experimental Studies of Electron-Gamma Directional Correlations: Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1961.
15. Karlsson E. Studies of Excitation Modes of Atomic Nuclei by Means of Magnetic Moment Determinations and General Decay Investigations: Thesis.— Acta Universitatis Upsaliensis (Uppsala), 1962, p. 11.
16. Thun J. E. Studies of Nuclear Properties of Decay Modes of Radioactive Nuclei: Directional Correlation and Coincidence Investigations: Thesis.— Ibid., p. 15.
17. Lindskog J. Studies of Nuclear Properties by Coincidence Spectrometer Methods: Decay Schemes and Transition Probabilities: Thesis.— Ibid., 1963, p. 22.
18. Matthias E. Experimental and Theoretical Investigations of Perturbed Angular Correlations; Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1963.
19. Schneider W. Applications of Digital Computer Techniques to Theoretical Investigations and the Analysis of Experimental Data in Nuclear Spectroscopy: Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1963.
20. Bergman O. Experimental Studies of Nuclear States and Transitions: Thesis.— Acta Universitatis Upsaliensis, 1964, p. 41.

21. Sundstrom T. Electromagnetic Transitions in Atomic Nuclei: Experimental Studies of Transition Probabilities and Decay Schemes: Thesis.— Ibid., p. 47.
22. Kleinheinz P. Studies of Internal Conversion Transitions in the Decay of Excited Nuclear States: Thesis.— Uppsala: Almqvist and Wilsell, 1965.
23. Bäcklin A. Nuclear Levels Excited in Neutron Capture Reactions and Radioactive Decays: Thesis.— Acta Universitatis Upsaliensis, 1967, p. 96.
24. Siegbahn K. Beta- and Gamma Ray Spectroscopy/Ed. K. Siegbahn.— Amsterdam: North-Holland, 1955.— (Перевод: Бета- и гамма-спектроскопия/Под ред. К. Зигбана.— М.: Физматгиз, 1959.— *Прим. перев.*).
25. Цит. в ⁵ сб.
26. Jenkin J. G., Leckey R. C. G., Liesegang J.— J. Electron Spectrosc., 1977, v. 12, p. 1.
27. X Ray Photoelectron Spectroscopy.— Benchmark Papers in Phys. Chem. and Chem. Phys. V. 2/Ed. T. A. Carlson.— Dowden: Hutchinson and Ross, 1978.
28. Siegbahn K.— In: Conference of the Swedish Nat. Committee for Physics.— Stockholm, 1952.
29. Siegbahn K.— In: Conference of the Swedish Nat. Committee for Physics.— Stockholm, 1953.
30. Siegbahn K. Introductory Talk at the Intern. Conference on Beta and Gamma Radioactivity.— Amsterdam, 1952; Physica, 1952, v. 18, p. 1043.
31. Siegbahn K., Edvarson K.— Nucl. Phys., 1956, v. 1, p. 137.
32. Sokolowski E., Edvarson K., Siegbahn K.— Ibid., p. 160.
33. Nordling C., Siegbahn K., Sokolowski E., Wapstra A.H.— Ibid., p. 326.
34. Nordling C., Sokolowski E., Siegbahn K.— Phys. Rev., 1957, v. 105, p. 1676.
35. Sokolowski E., Nordling C., Siegbahn K.— Ark. Fys., 1957, v. 12, p. 301.
36. Robinson H.— Phil. Mag., 1925, v. 50, p. 241.
37. Siegbahn K., Nordling C., Sokolowski E.— In: Proc. of Rehovoth Conference of Nuclear Structure.— Amsterdam: North-Holland, 1957.— P. 291.
38. Sokolowski E., Nordling C., Siegbahn K.— Phys. Rev., 1958, v. 110, p. 776.
39. Nordling C., Sokolowski E., Siegbahn K.— Ark. Fys., 1958, v. 13, p. 282.
40. Sokolowski E., Nordling C., Siegbahn K.— Ibid., p. 288.
41. Nordling C., Sokolowski E., Siegbahn K.— Ibid., p. 483.
42. Sokolowski E., Nordling C.— Ibid., 1959, v. 14, p. 557.
43. Sokolowski E.— Ibid., 1959, v. 15, p. 1.
44. Nordling C.— Ibid., p. 241.
45. Nordling C.— Ibid., p. 397.
46. Nordling C., Hagstrom S.— Ibid., p. 431.
47. Bergvall P., Hagström S.— Ibid., 1960, v. 16, p. 485.
48. Bergvall P., Hagström S.— Ibid., p. 515.
49. Bergvall P., Hagström S.— Ibid., 1960, v. 17, p. 61.
50. Bergvall P., Hörnfeldt O., Nordling C.— Ibid., p. 113.
51. Nordling C., Hagström S., Siegbahn S.— Ibid., 1962, v. 22, p. 428.
52. Fahlman A., Hörnfeldt O., Nordling C.— Ibid., v. 23, p. 75.
53. Hagström S., Hörnfeldt O., Nordling C., Siegbahn K.— Ibid., p. 145.
54. Цит. в ⁵ сб.— Appendix 2.
55. Hagström S., Karlsson S.-E.— Ark. Fys., 1964, v. 26, p. 252.
56. Hagström S., Karlsson S.-E.— Ibid., p. 451.
57. Fahlman A., Hagstrom S.— Ibid., v. 27, p. 69.
58. Andersson I., Hagström S.— Ibid., p. 161.
59. Nordling C., Hagström S.— Zs. Phys., 1964, Bd. 178, S. 418.
60. Fahlman A., Hamrin K., Nordberg R., Nordling C., Siegbahn K.— Phys. Rev. Lett., 1965, v. 14, p. 127.
61. Fahlman A., Hamrin K., Nordberg R., Nordling C., Siegbahn K., Holm L. W.— Ibid., 1966, v. 19, p. 643.
62. Hörnfeldt O., Fahlman A.— Ark. Fys., 1962, v. 22, p. 412.
63. Hörnfeldt O., Fahlman A., Nordling C.— Ibid., v. 23, p. 155.
64. Hörnfeldt O.— Ibid., p. 235.
65. Hagström S.— Zs. Phys., 1964, Bd. 178, S. 82.
66. Fahlman A., Nordling C.— Ark. Fys., 1964, v. 26, p. 248.
67. Fahlman A., Nordberg R., Nordling C., Siegbahn K.— Zs. Phys., 1966, Bd. 192, S. 476.

68. Fahlman A., Hamrin K., Axelsson G., Nordling C., Siegbahn K.—Ibid., S. 484.
69. Fahlman A., Hamrin K., Nordberg R., Nordling C., Siegbahn K.—Phys. Lett., 1966, v. 20, p. 159.
70. Sokolowski E. Investigations of Inner Electron Shells by Spectroscopic Studies of Photo- and Auger Electrons: Thesis.—Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1959.
71. Nordling C. Experimental Studies of Electron Binding Energies and Auger Spectra: Thesis.—Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1959.
72. Bergvall P. Investigations of Atomic and Nuclear Energy Levels by Crystal Diffraction and Photo Electron Spectroscopy: Thesis.—Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1960.
73. Hörnfeldt O. Studies and Atomic Level Energies and Auger Spectra: Thesis.—Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1962.
74. Hagström S. Studies of Some Atomic Properties by Electron Spectroscopy: Thesis.—Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1964.
75. Fahlman A. Electron Spectroscopy and Atoms and Molecules: Thesis.—Acta Universitatis Upsaliensis, 1966, p. 73.
76. Hagström S., Nordling C., Siegbahn K.—Phys. Lett., 1964, v. 9, p. 235.
77. Karlsson S.-E. Precision Electron Spectroscopy for Studies of Nuclear and Atomic Energy Levels: Thesis.—Acta Universitatis Upsaliensis, 1967, p. 99.
78. Nordberg R. ESCA Studies of Atoms and Molecules: Thesis.—Ibid., 1968, p. 118.
79. Hamrin K. ESCA Applied to Solids and Gases: Thesis.—Ibid. 1970, p. 151.
80. Hedman J. ESCA Studies of Electron Levels and Bands in Atoms, Molecules and Solids: Thesis.—Ibid., 1972, p. 196.
81. Johansson G. Chemical Bonding and Electronic Structure of Molecules and Solids Studied by ESCA: Thesis.—Ibid., p. 205.
82. Gelius U. Molecular Spectroscopy by Means of ESCA: Experimental and Theoretical Studies: Thesis.—Ibid., 1973, p. 242.
83. Lindberg B. Some Aspects of the Sulphur-Oxygen Bond in Organic Sulphur Groups: Thesis.—Ibid., 1970, p. 173.
84. Siegbahn K., Nordling C., Fahlman A., Nordberg R., Hamrin K., Hedman J., Johansson G., Bergmark T., Karlsson S.-E., Lingren I., Lindberg B. ESCA—Atomic, Molecular and Solid State Structure Studied by Means of Electron Spectroscopy.—Nova Acta Regiae Soc. Sci. Upsaliensis. Ser. IV, 1967, v. 20 — P. 21.— (Перевод: К. Зигбан, К. Нордлинг, А. Фальман и др. Электронная спектроскопия.— М.: Мир, 1971.— Прим. перев.).
85. Gelius U., Basilier E., Svensson S., Bergmark T., Siegbahn K.—J. Electron Spectrosc., 1974, v. 2, p. 405.
86. Siegbahn K.—Ibid., 1974, v. 5, p. 3.
87. Clark D. T., Dilks A., Shuttleworth S., Thomas H.—Ibid., 1978, v. 14, p. 247.
88. Clark D. T., Dilks A.—J. Polymer Sci., 1978, v. 16, p. 911.
89. Clark D. T.—Phys. Scripta, 1977, v. 16, p. 307.
90. Clark D. T.—In: Handbook of X-Ray and UV Photoelectron Spectroscopy/Ed. D. Briggs.—Heyden, 1977.—P. 211.
91. Цит. в ⁸⁴ издание.—Sect. III-9, p. 63.
92. Goscinski O., Howat G., Aberg T.—J. Phys. Ser. B, 1975, v. 8, p. 11.
93. Pickup B., Goscinski O.—Mol. Phys., 1973, v. 26, p. 1013.
94. Goscinski O., Hehenberger M., Roos B., Siegbahn P.—Chem. Phys. Lett., 1975, v. 33, p. 427.
95. Siegbahn K., Nordling C., Johansson G., Hedman J., Hedén P.-F., Hamrin K., Gelius U., Bergmark T., Werme L. O., Manner R., Baer Y. ESCA Applied to Free Molecules.—Amsterdam; London: North-Holland, 1969.—Sect. 5.4.
96. Gelius U., Hedén P.-F., Hedman J., Lindberg B. J., Manner R., Nordberg R., Nordling C., Siegbahn K.—Phys. Scripta, 1970, v. 2, p. 70.
97. Lindberg B. J., Hamrin K., Johansson G., Gelius U., Fahlman A., Nordling C., Siegbahn K.—Ibid., 1970, v. 1, p. 286.
98. Allison D. A., Johansson G., Allan C. J., Gelius U., Siegbahn K., Allison J., Siegbahn K.—J. Electron Spectrosc., 1972/73, v. 1, p. 269.
99. Shirley D. A.—Adv. Chem. Phys., 1973, v. 23, p. 85.

100. Clark D. T.—In: *Electron Emission Spectroscopy*/Ed. W. Dekayser et al.—Amsterdam: D. Reidel, 1973.
101. Davis D. W., Banna M. S., Shirley D. A.—*J. Chem. Phys.*, 1974, v. 60, p. 237.
102. Wyatt J. F., Hillier I. H., Saunders V. R., Connor J. A., Barber M.—*J. Chem. Phys.*, 1971, v. 54, p. 5311.
103. Jolly W. L., Perry W. B.—*Inorg. Chem.*, 1974, v. 13, p. 2686.
104. Jolly W. L., Perry W. B.—*J. Am. Chem. Soc.*, 1974, v. 95, p. 5442.
105. Carver J. C., Gray R. C., Hercules D. M.—*Ibid.*, 1974, v. 96, p. 6851.
106. Perry W. B., Jolly W. L.—*Inorg. Chem.*, 1974, v. 13, p. 1211.
107. Gelius U., Johansson G., Siegbahn H., Allan C. J., Allison D. A., Allison J., Siegbahn K.—*J. Electron Spectrosc.*, 1972/73, v. 1, p. 285.
108. Siegbahn H., Medeiros R., Goscinski O.—*Ibid.*, 1976, v. 8, p. 149.
109. Bagus P. S., Hermann K.—*Sol. State Comm.*, 1976, v. 20, p. 5.
110. Ellis D. E., Baerends E. J., Adachi H., Averill F. W.—*Surf. Sci.*, 1977, v. 64, p. 649.
111. Ley L., Kowalczyk S. P., McFeely F. R., Pollak R. A., Shirley D. A.—*Phys. Rev. Ser. B*, 1973, v. 8, p. 2392.
112. Kowalczyk S. P., Pollak R. A., McFeely F. R., Ley L., Shirley D. A.—*Ibid.*, p. 2387.
113. Shirley D. A., Martin R. L., Kowalczyk S. P., McFeely F. R., Ley L.—*Ibid.*, 1977, v. 15, p. 544.
114. Svensson S., Martensson N., Basilier E., Malmquist P. A., Gelius U., Siegbahn K.—*J. Electron Spectrosc.*, 1976, v. 9, p. 51.
115. Jen J. S., Thomas T. D.—*Phys. Rev. Ser. B*, 1976, v. 13, p. 5284.
116. Johansson B., Martensson N.—*Ibid.*, 1980, v. 21, p. 4427.
117. Martensson N. *Atomic, Molecular and Solid State Effects in Photoelectron Spectroscopy: Thesis.*—Acta Universitatis Upsaliensis, 1980, p. 579.
118. Nyholm R. *Electronic Structure and Photoionization Studied by Electron Spectroscopy: Thesis.*—*Ibid.*, 1980, p. 581.
119. Martensson N., Nyholm R., Calén H., Hedman J., Johansson B.—Uppsala University. Institute of Physics Report, UU1008, July 1980.
120. Kowalczyk S. P., Pollak R. A., McFeely F. R., Shirley D. A.—*Phys. Rev. Ser. B*, 1973, v. 8, p. 3583.
121. Kowalczyk S. P., Ley L., McFeely F. R., Pollak R. A., Shirley D. A.—*Ibid.*, 1974, v. 9, p. 381.
122. Wagner C. D., Biloen P.—*Surf. Sci.*, 1973, v. 35, p. 82.
123. Matthew J. A. D.—*Surf. Sci.*, 1973, v. 40, p. 451.
124. Utriainen J., Linkohar M., Aberg T.—In: *Proc. of Intern. Symposium on X-Ray Spectroscopy and Electron Structure of Matter.*—1973, v. 1, p. 382.
125. Asplund L., Kelfve P., Siegbahn H., Goscinski O., Feller-Feldegg H., Hamrin K., Blomster B., Siegbahn K.—*Chem. Phys. Lett.*, 1976, v. 40, p. 353.
126. Keski-Rahkonen O., Krause M. O.—*J. Electron Spectrosc.*, 1976, v. 9, p. 371.
127. Siegbahn H., Goscinski O.—*Phys. Scr.*, 1976, v. 13, p. 225.
128. Asplund L., Kelfve P., Blomster B., Siegbahn H., Siegbahn K., Lozes R. L., Wahlgren U. I.—*Phys. Scripta*, 1977, v. 16, p. 273.
129. Kim K. S., Gaarenstroom S. W., Winograd N.—*Chem. Phys. Lett.*, 1976, v. 41, p. 503.
130. Wagner C. D.—*Farad. Disc. Chem. Soc.*, 1975, v. 60, p. 291.
131. Wagner C. D.—*Цит. в 80 сб.*—Ch. 7.
132. Kelfve P., Blomster B., Siegbahn H., Siegbahn K., Sanchez E., Goscinski O.—*Phys. Scripta*, 1980, v. 21, p. 75.
133. Thomas T. D.—*J. Electron Spectrosc.*, 1980, v. 20, p. 117.
134. *Цит. в 84 издание.*—P. 118.
135. Pignataro S., Distefano G.—*J. Electron Spectrosc.*, 1973, v. 2, p. 171; *Zs. Naturforsch.*, 1975, Bd. 30a, S. 815.
136. Gelius U. et al. (to be published).
137. Yin L., Adler I., Tsang T., Mantienzo L. J., Grim S. O.—*Chem. Phys. Lett.*, 1974, v. 24, p. 81.
138. Pignataro S. et al.—*Ibid.*, 1973, v. 20, p. 350.

139. Johansson L. Y., Larsson R., Blomquist J., Cederström C., Grapengiesser S., Helgeson U., Moberg L. C., Sundbom M.—*Ibid.*, 1974, v. 24, p. 508.
140. Barber M., Connor J. A., Hillier I. H.—*Ibid.*, 1971, v. 9, p. 570.
141. Hüfner S., Wertheim G. K.—*Phys. Rev. Ser. B*, 1973, v. 7, p. 5086.
142. Rosencwaig A., Wertheim G. K., Guggenheim H. J.—*Phys. Rev. Lett.*, 1971, v. 27, p. 479.
143. Rosencwaig A., Wertheim G. K.—*J. Electron Spectrosc.*, 1973, v. 1, p. 493.
144. Frost D. C., McDowell C. A., Woelsey I. S.—*Chem. Phys. Lett.*, 1972, v. 17, p. 320.
145. Kim K. S.—*Ibid.*, 1974, v. 26, p. 234.
146. Carlson T. A., Carver J. C., Saethre L. J., Santibanez F. G., Vernon G. A.—*J. Electron Spectrosc.*, 1974, v. 5, p. 247.
147. Fuggle J. C., Umbach E., Menzel D., Wandelt K., Brundle C. R.—*Sol. State Comm.*, 1978, v. 27, p. 65.
148. Lang N. D., Williams A. R.—*Phys. Rev. Ser. B*, 1977, v. 16, p. 2408.
149. Schönhammer K., Gunnarsson O.—*Sol. State Comm.*, 1978, v. 23, p. 691; v. 26, p. 399; *Zs. Phys. Ser. B*, 1978, Bd. 30, S. 297.
150. Hedman J., Hedén P. F., Nordling C., Siegbahn K.—*Phys. Lett. Ser. A*, 1969, v. 29, p. 178.
151. Цит. в ⁹⁵ издание.—Sect. 5.1, p. 56.
152. Цит. в ⁸⁴ издание.—Sect. IV, p. 72.
153. Siegbahn K., Gelius U., Siegbahn H., Olsson E.—*Phys. Lett. Ser. A*, 1970, v. 32, p. 221; *Phys. Scripta*, 1970, v. 1, p. 272.
154. Fadley C. S., Bergström S. A. L.—*Phys. Lett. Ser. A*, 1971, v. 35, p. 375.
155. Baird R. J., Fadley C. S., Wagner L. F.—*Phys. Rev. Ser. B*, 1977, v. 15, p. 666.
156. Zehner D. M., Noonan J. R., Jenkins L. H.—*Phys. Lett. Ser. A*, 1977, v. 62, p. 267.
157. Briggs D., Marrow R. A., Lambert R. M.—*Sol. State Comm.*, 1978, v. 25, p. 40.
158. Erickson N. E.—*Phys. Scripta*, 1977, v. 16, p. 462.
159. Kono S., Goldberg S. M., Hall N. F. T., Fadley C. S.—*Phys. Rev. Lett.*, 1978, v. 41, p. 1831.
160. Petersson L.-G., Kono S., Hall N. F. T., Fadley C. S., Pendry J. B.—*Ibid.*, 1979, v. 42, p. 1545.
161. Woodruff D. P., Norman D., Holland B. W., Smith N. V., Farrell H. H., Traum M. M.—*Ibid.*, 1978, v. 41, p. 1130.
162. Kevan S. D., Rosenblatt D. H., Denley D. R., Lee B.-C., Shirley D. A.—*Phys. Rev. Ser. B*, 1979, v. 20, p. 4133; *Phys. Rev. Lett.*, 1978, v. 41, p. 1565.
163. McGovern I. T., Eberhardt W., Plummer E. W. *Sol. State Comm.*, 1979, v. 32, p. 963.
164. Guillot C., Jugnet Y., Lasailly Y., Lecante J., Spanjaard D., Duc T. M.—Private communication.
165. Bergmark T., Magnusson N., Siegbahn K.—*Ark. Fys.*, 1968, v. 37, p. 353.
166. Цит. в ⁸⁴ издание.—P. 20.
167. *Ibid.*—P. 21.
168. Siegbahn H., Siegbahn K.—*J. Electron Spectrosc.*, 1973, v. 2, p. 319.
169. Siegbahn H., Asplund L., Kelfve P., Hamrin K., Karlsson L., Siegbahn K.—*Ibid.*, 1974, v. 5, p. 1059.
170. Siegbahn H., Asplund L., Kelfve P., Siegbahn K.—*Ibid.*, 1975, v. 7, p. 411.
171. Fellner-Feldegg H., Siegbahn H., Asplund L., Kelfve P., Siegbahn K.—*Ibid.*, p. 421.
172. Lindberg B., Asplund L., Fellner-Feldegg H., Kelfve P., Siegbahn H., Siegbahn K.—*Chem. Phys. Lett.*, 1976, v. 39, p. 8.
173. Siegbahn H., Svensson S., Lundholm M.—*J. Electron Spectrosc.*, 1981, v. 24, p. 205.
174. Siegbahn H. *ESCA Studies of Electronic Structure and Photoionization in Gases, Liquids and Solids: Thesis.*—*Acta Universitatis Upsaliensis*, 1974, p. 277.
175. Asplund L. *Electron Spectroscopy of Liquids and Gases: Thesis.*—*Ibid.*, 1977, p. 409.
176. Kelfve P. *Electronic Structure of Free Atoms, Molecules and Liquids Studied by Electron Spectroscopy: Thesis.*—*Ibid.*, 1978, p. 483.

177. Turner D. W., Al-Jaboury M. I.— J. Chem. Phys., 1962, v. 37, p. 3007.
178. Turner D. W., Al-Jaboury M. I.— J. Chem. Soc. (London), 1963, p. 5141.
179. Al-Jaboury M. I., May D. P., Turner D. W.— Ibid., 1965, p. 616, 4434, 6350.
180. Radwan T. N., Turner D. W.— Ibid., 1966, p. 85.
181. Al-Jaboury M. I., Turner D. W.— Ibid., 1967, p. 373.
182. Turner D. W., Baker C., Baker A. D., Brundle C. R., Molecular Photoelectron Spectroscopy.— Lnd: Wiley-Interscience, 1970.
183. Price W. C.— Endeavour, 1967, v. 26, p. 78.
184. Lempka H. J., Passmore T. R., Price W. C.— Proc. Roy Soc. Ser. A, 1968, v. 304, p. 53.
185. Berglund C. N., Spicer W. E.— Phys. Rev., Ser. A, 1964, v. 136, p. 1030, 1044.
186. Spicer W. E.— J. Appl. Phys., 1966, v. 37, p. 947.
187. Blodgett A. J., Jr., Spicer W. E.— Phys. Rev. 1966, v. 146, p. 390.
188. Blodgett A. J., Jr., Spicer W. E.— Ibid., 1967, v. 158, p. 514.
189. Bergmark T. Electronic Structure of Atoms and Molecules Studied by Means of Electron Spectroscopy: Thesis.— Acta Universitatis Upsaliensis, 1974, p. 274.
190. Karlsson L. High Resolution Studies of the Valence Electron Structure of Atoms and Molecules by Means of Electron Spectroscopy: Thesis — Ibid., 1977, p. 429.
191. Jadrny R. Electronic Structure Studied by Electron Spectroscopy and Angular Distributions: Thesis.— Ibid., 1978, p. 463.
192. Mattsson L. High Resolution Valence Electron Spectroscopy. Development of a VUV-Polarizer for Angular Distributions: Thesis.— Ibid., 1980, p. 562.
193. Asplund L., Kelfve P., Blomster B., Siegbahn H., Siegbahn K.— Phys. Scripta, 1977, v. 16, p. 268.
194. Siegbahn H., Asplund L., Kelfve P.— Chem. Phys. Lett., 1975, v. 35, p. 330.
195. Siegbahn H. In: Excited States in Quantum Chemistry/Ed. C. A. Nicolaides, D. R. Beck.— N. Y.: Plenum Press, 1978.— P. 273.
196. Darko T., Siegbahn H., Kelfve P.— Chem. Phys. Lett., 1981, v. 81, p. 475.
197. Karlsson L., Mattsson L., Jadrny R., Bergmark T., Siegbahn K.— Phys. Scripta, 1976, v. 14, p. 230.
198. Gelius U.— J. Electron Spectrosc., 1974, v. 5, p. 985.
199. Krause M. O.— Chem. Phys. Lett., 1971, v. 10, p. 65.
200. Wuilleumier F., Krause M. O.— Phys. Rev. Ser. A, 1974, v. 10, p. 242.
201. Banna M. S., Shirley D. A.— Chem. Phys. Lett., 1975, v. 33, p. 441; J. Electron Spectrosc., 1976, v. 8, p. 23, 255.
202. Nilsson R., Nyholm R., Berndtsson A., Hedman J., Nordling C.— Ibid., 1976, v. 9, p. 337.
203. Berndtsson A., Nyholm R., Nilsson R., Hedman J., Nordling C.— Ibid., 1978, v. 13, p. 131.
204. Cavell R. G., Allison D. A.— Chem. Phys. Lett., 1975, v. 36, p. 514.
205. Allison D. A., Cavell R. G.— J. Chem. Phys., 1978, v. 68, p. 593.
206. Synchrotron Radiation. Techniques and Applications/Ed. C. Kunz.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1979.— (Topics in Current Physics. V. 10).
207. Synchrotron Radiation Instrumentation and New Developments.— Nucl. Instr. and Meth., 1978, v. 152 (Conf. Vol./Ed. P. Wuilleumier, Y. Farge).
208. Synchrotron Radiation Instrumentation.— Nucl. Instr. and Meth., 1980, v. 172 (Conf. Vol/Ed. D. L. Ederer, J. B. West).
209. Synchrotron Radiation Facilities.— Ibid., 1980, v. 177 (Sonf. Vol./Ed. M. R. Howells).
210. Synchrotron Radiation Research/Ed. H. Winick, S. Doniach.— N. Y.: Plenum Press, 1980.
211. Цит. в ⁸⁴ издание.
212. Цит. в ⁹⁵ издание.
213. Siegbahn K., Hammond D., Fellner-Feldegg H., Barnett E. F.— Science, 1972, v. 176, p. 245.
214. Wassberg G., Siegbahn K.— Ark. Fyz., 1958, v. 14, p. 1.
215. Hagström S., Siegbahn K.— J. Ultrastruct. Res., 1960, v. 3, p. 401.
216. Gelius U., Siegbahn K.— Farad. Disc. Chem. Soc., 1972, v. 54, p. 257.
217. Gelius U., Svensson S., Siegbahn H., Basilier E., Faxälv A., Siegbahn K.— Chem. Phys. Lett., 1974, v. 28, p. 1.
218. Siegbahn K.— In: Electron Spectroscopy/Ed. D. A. Shirley: Proc. of Intern. Conference Asilomar, California, USA, 1971.— Amsterdam: North-Holland, 1972.

219. Siegbahn K., Werme L. O., Grennberg B., Lindeberg S., Nordling C.—Uppsala University. Institute of Physics Report. UIIP-749.—October 1971.
220. Siegbahn K., Werme L. O., Grennberg B., Nordgren J., Nordling C.—Phys. Lett. Ser. A, 1972, v. 41, p. 111.
221. Werme L. O., Grennberg B., Nordgren J., Nordling C., Siegbahn K.—Ibid., p. 113.
222. Werme L. O., Grennberg B., Nordgren J., Nordling C., Siegbahn K.—Phys. Rev. Lett., 1973, v. 30, p. 523.
223. Werme L. O., Grennberg B., Nordgren J., Nordling C., Siegbahn K.—Nature, 1973, v. 242, No. 5348, p. 453.
224. Werme L. O., Grennberg B., Nordgren J., Nordling C., Siegbahn K.—J. Electron Spectrosc., 1973, v. 2, p. 435.
225. Werme L. O., Nordgren J., Nordling C., Siegbahn K.—C. R. Ac. Sci. Ser. B, 1974, t. 119, p. 279.
226. Nordgren J., Werme L. O., Agren H., Nordling C., Siegbahn K.—J. Phys. Ser. B, 1975, v. 8, p. L48.
227. Werme L. O., Nordgren J., Agren H., Nordling C., Siegbahn K.—Zs. Phys., 1975, Bd. 272, S. 131.
228. Nordgren J., Agren H., Werme L. O., Nordling C., Siegbahn K.—J. Phys. Ser. B, 1976, v. 9, p. 295.
229. Nordgren J., Agren H., Selander L., Nordling C., Siegbahn K. Paper presented at the Nordic Symposium on Atomic and Molecular Transition Probabilities in Lund, March 28—29, 1977.
230. Nordgren J., Agren H., Nordling C., Siegbahn K.—Ann. Acad. Reg. Scientiarum Upsaliensis (Uppsala), 1978, v. 21, p. 23.
231. Agren H., Nordgren J., Selander L., Nordling C., Siegbahn K.—Phys. Scripta, 1978, v. 18, p. 499.
232. Nordgren J., Agren H., Pettersson L., Selander L., Griep S., Nordling C., Siegbahn K.—Ibid., 1979, v. 20, p. 623.
233. Agren H., Selander L., Nordgren J., Nordling C., Siegbahn K., Müller J.—Chem. Phys., 1979, v. 37, p. 161.
234. Werme L. O. Electron and X-Ray Spectroscopic Studies of Free Molecules: Thesis.—Acta Universitatis Upsaliensis, 1973, p. 241.
235. Nordgren J., X-Ray Emission Spectra of Free Molecules: Thesis.—Ibid., 1977, p. 418.
236. Agren H. Decay and Relaxation of Core Hole States in Molecules: Thesis.—Uppsala, 1979.
237. Siegbahn K.—In: Electron Spectroscopy/Ed. J. Hedman and K. Siegbahn.—Phys. Scripta, 1977, v. 16, p. 167.
238. Wannberg B., Skölleremo A.—J. Electron Spectrosc., 1977, v. 10, p. 45.
239. Phil. Trans. Roy. Soc., 1970, v. 268, p. 1—175.
240. Electron Spectroscopy/Ed. D. A. Shirley.—Amsterdam: North-Holland, 1972.
241. Farad. Disc. Chem. Soc., 1972, v. 54.
242. Цит. в ¹⁰⁰ сб.
243. Electron Spectroscopy/Ed. R. Caudano.—Amsterdam: Elsevier, 1974.
244. Electron Spectroscopy of Solids and Surfaces.—Farad. Disc. Chem. Soc., 1975, v. 60.
245. Proc. of Intern. Symposium Electron Spectroscopy. Uppsala, May 1977/Ed. J. Hedman, K. Siegbahn.—Phys. Scripta, 1977, v. 16, No. 5—6.
246. Proc. of Australian Conference on Electron Spectroscopy.—J. Electron Spectrosc., 1979, v. 15.
247. Baker A. D., Betteridge D. Photoelectron Spectroscopy.—N. Y.: Pergamon Press, 1972.
248. Eland J. H. D. Photoelectron Spectroscopy.—Lnd.: Butterworths, 1974.
249. Carlson T. A. Photoelectron and Auger Spectroscopy.—N. Y.: Plenum Press, 1975.
250. Electron Spectroscopy/Ed. C. R. Brundle, A. D. Baker.—Lnd.: Academic Press.—V. 1, 1977; V. 2, 1978; v. 3, 1979.
251. Handbook of X-Ray and Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy/Ed. D. Briggs.—Heyden, 1977.
252. Rabalais J. W. Principles of Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy.—N.Y.: Wiley-Interscience, 1977.
253. Ghosh P. K. A Whiff of Photoelectron Spectroscopy.—New Delhi: Swan Printing Press, 1978.
254. Photoemission and the Electronic Properties of Surfaces/Ed. B. Feuerbacher, B. Fitton, R. F. Willis.—N. Y.: Wiley-Interscience, 1978.

255. Photoemission in Solids/Ed. M. Cardona, L. Ley.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1978, 1979.— (Topics in Applied Physics. V. 26, 27).
256. Roberts M. W., McKee C. S. Chemistry of the Metal-Gas Interface.— Oxford: Clarendon Press, 1978.
257. Ballard R. E. Photoelectron Spectroscopy and Molecular Orbital Theory.— Adam Hilger, 1978.
258. Berkowitz J. Photoabsorption, Photoionization and Photoelectron Spectroscopy.— N. Y.: Academic Press, 1979.
259. Siegbahn H., Karlsson L. Photoelectron Spectroscopy.— In: Handb. d. Phys. V. 31./Ed. W. Mehlhorn.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag (to be published).
260. Siegbahn H., Karlsson L. Electron Spectroscopy for Atoms, Molecules and Condensed Matter.— Amsterdam: North-Holland (to be published).