

Поскольку пороги процессов откалывания заметно выше, чем те энергии, при которых наблюдалось образование перечисленных выше изотопов, авторы рассчитали пороги процессов деления, при которых могут образовываться соответствующие ядра. При этом и для деления рассчитывались наиболее энергетически благоприятные случаи. При расчётах порогов деления принималось, что осколки имеют сферическую форму и радиус осколков $R = 1,48 \cdot 10^{-13} A^{1/3}$ см. Тогда пороги процессов деления оказываются равными:

1. $\text{Cu}^{63} + p \rightarrow \text{Cl}^{38} + \text{Al}^{25} + n; \quad E = 50 \text{ Мэв.}$
2. $\text{Br}^{79} + p \rightarrow \text{Sc}^{44} + p^{34} + 2n; \quad E = 80 \text{ Мэв.}$
3. $\text{Ag}^{107} + p \rightarrow \text{Co}^{61} + \text{Sc}^{45} + 2n; \quad E = 60 \text{ Мэв.}$
4. $\text{Sn}^{118} + p \rightarrow \text{Ga}^{73} + \text{Ca}^{45} + 2n; \quad E = 70 \text{ Мэв.}$

Сопоставление экспериментальных данных с расчётными порогами деления указывает на возможность образования рассмотренных конечных ядер по такому механизму. Правда, ни в одном из четырёх случаев авторы не идентифицировали вторых осколков деления, которые могли бы соответствовать хлору, скандию, кобальту или галлию. Поскольку приведённые значения сечений ($10^{-32} - 10^{-31}$ см²) соответствуют лишь выходу какого-то одного продукта деления, полные величины сечений деления должны быть значительно выше. Авторы указывают, что должен наблюдаться непрерывный спектр по массам продуктов бомбардировки ядер быстрыми частицами, ибо помимо откалывания лёгких частиц и деления на два «тяжёлых» осколка должны наблюдаться также и промежуточные случаи образования лёгких ядер, например Li, Be и т. п.

В заключение авторы отмечают, что число таких случаев, когда можно наблюдать деление ядер с промежуточными массовыми числами, сравнительно невелико, ибо необходима высокая степень очистки исходных элементов от всяких примесей и высокая чувствительность методики определения продуктов реакции.

Г. И.

РЕНТГЕНОВСКИЙ МИКРОСКОП *)

Обычно считается, что фокусировать лучи Рентгена с помощью линз или зеркал невозможно. В этом был убеждён сам Рентген, и в течение нескольких десятков лет после него физики разделяли его мнение с большим разочарованием. Осуществление рентгеновского микроскопа открыло бы поле исследований, недоступное для светового микроскопа из-за его недостаточной разрешающей способности и для электронного микроскопа — из-за малой проникающей способности электронных пучков.

Хотя все тела и преломляют рентгеновы лучи, эффект столь слаб, что его с трудом удаётся обнаружить. Обычная очковая линза имеет для рентгеновых лучей фокальное расстояние порядка 100 км. Ряд веществ имеет больший показатель преломления, но, к несчастью, все такие вещества одновременно весьма сильно поглощают лучи Рентгена. Повидимому, можно считать, что веществ, одновременно прозрачных и сильно преломляющих рентгеновы лучи, не существует.

Возможность отражательных оптических систем, на первый взгляд, также мало благоприятна. Отражение от поверхностей кристаллов достаточно слабо, а хроматические aberrации велики. Кроме того, вряд ли структура поверхностей реальных кристаллов достаточно правильна для образования изображений.

*) I. P. Kirkpatrick, Nature 166, 251 (1950).

Остаётся возможность использовать полное отражение — эффект, не зависящий от кристаллической природы отражающего тела. Это полное отражение отличается от полного внутреннего отражения видимого света тем, что, в случае рентгеновых лучей легче получить полное внешнее отражение, что, несомненно, гораздо удобнее. С другой стороны, полное отражение рентгеновых лучей возможно лишь при углах падения, близких к прямому, т. е. при условии «скользящего», касательного падения пучка на отражающую поверхность. Угол скольжения при этом обычно значительно меньше одного градуса. Несмотря на столь невыгодные условия, образование изображений вогнутыми зеркалами всё же возможно. Если малый источник излучения O расположен перед вогнутым зеркалом, как показано на рис. 1, отражённые лучи, подчиняясь обычным законам отражения, соберутся в точке F . При этом зеркало может обладать значительной собира-

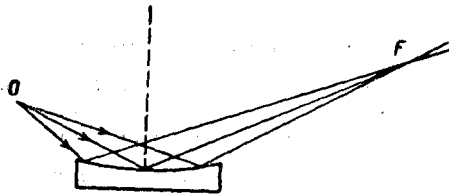


Рис. 1.

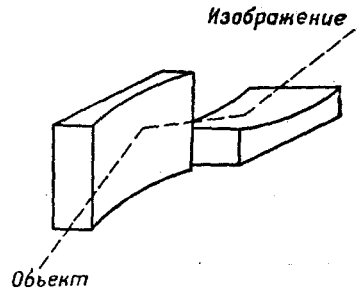


Рис. 2.

тельной способностью в отношении лучей, расходящихся от источника в плоскости чертежа; в отношении лучей, расходящихся перпендикулярно к чертежу, фокусирующее действие крайне мало.



Рис. 3.

Естественно, что изображение от одного зеркала в сильнейшей степени астигматично, т. е. точечный объект даёт изображение в виде линии. Киркпатриком предложен и осуществлён метод устранения астигматизма, заключающийся в применении скрещенных зеркал (рис. 2). Результат действия такой оптической системы вполне аналогичен исправлению астигматизма глаза очковыми линзами с дополнительным астигматизмом (так называемыми цилиндрическими). Как видно из

рисунка, лучи, выходящие из точки, последовательно отражаясь в двух зеркалах, вновь собираются в точку.

На основе подобных скрещенных отражательных систем при соответствующем положении источника и объекта были проведены первые опыты в области микроскопии в рентгеновых лучах. На рис. 3 приводится полученное Киркпатриком увеличенное изображение частой

металлической сетки, помещённой между мишенью рентгеновской трубки и первым зеркалом пары, подобной изображённой на рис. 2. Непосредственное увеличение, несколько различное в перпендикулярных направлениях, было порядка 50; снимок был добавочно увеличен фотографически в 10 раз. Маленькие шарики у середины рисунка представляют изображение капелек металла на сетке, изготовлявшейся электролитически; их диаметр достигает приблизительно 1 микрона.

Так как теоретическая фокальная поверхность системы наклонна к отражённым лучам, то изображение на фотоплёнке, нормальной к ним, сфокусировано лишь в одной точке, на рис. 3 близкой к одному из металлических шариков. Точность положения края этого шарика из снимка могла быть оценена как одна длина волны видимой области спектра. Конечно, из снимка на рис. 3 далеко нельзя делать каких-либо новых выводов о рассматриваемом объекте; снимок приводится как образец того, что уже достигнуто в настоящей момент.

Зеркала «рентгеновского микроскопа» изготавливаются обычными методами из стекла и затем покрываются тонким слоем тяжёлого металла путём испарения в вакууме. Металлическое покрытие даёт возможность работы под большими критическими углами скольжения. Применявшиеся поверхности зеркал — сферические, с радиусами кривизны 10–100 м. При этом не обязательно, чтобы оба зеркала пары имели одинаковую кривизну поверхности.

Несомненно, применение асферических поверхностей, например зеркал эллиптического профиля, позволит значительно улучшить качество изображений. Эллиптические зеркала смогут устранить сферическую абберацию, однако неудобства наклонной фокальной поверхности и неодинакового увеличения в разных направлениях останутся. Возможно, что окажется необходимым применять более сложные оптические системы, например две пары зеркал. К сожалению, вопрос об образовании изображения при скользящем падении пучков на поверхности, по видимому, вообще не разбирался в теоретической оптике. Возможно, что именно микроскопия в рентгеновых лучах привлечёт внимание к этой области теории.

Малая длина волны рентгеновых лучей, в принципе, позволяет получать высокие разрешающие способности, однако, как и в электронном микроскопе, угловые апертуры пучков должны быть весьма малыми.

В случае лучей Рентгена угловая апертура резко ограничивается значением критического угла при полном отражении; увеличение её путём удлинения волны не приводит к увеличению разрешающей способности.

Теоретически, в пределе возможно разрешение точечных объектов на расстоянии порядка 70 ангстрем друг от друга.

С точки зрения удобства работы желательно применять не слишком жёсткие лучи, так как при этом растёт критический угол, что позволяет уменьшить экспозицию. В случае работы с тонкими органическими объектами мягкое излучение даёт больший контраст. В опытах Киркпатрика обычно длина волны составляла 2–3 Å. Ввиду сильного поглощения таких лучей воздухом оптическая система помещалась в сосуд, наполненный гелием при давлении в 1 ат. Фокусировка осуществлялась изменением наклона зеркал микрометрическим устройством.

Ограждающие системы свободны от хроматической абберации, поэтому для образования изображений нет нужды в монохроматическом источнике. Однако сами зеркала в случае полного отражения представляют собою селектор, отражающий длинноволновую и поглощающий коротковолновую часть падающего излучения, что приводит к улучшению контраста изображения.

Вполне возможно, что вскоре рентгеновские «микроскопы» станут ценным инструментом в ряде областей исследования. В частности, очень интересна возможность исследования биологических объектов, не подвергшихся высушивающему действию вакуума и электронной бомбардировке, мешающим в ряде случаев при работе с электронным микроскопом. С другой стороны, возможна широкая область применения в металлографии. Избирательность поглощения рентгеновых лучей, вероятно, может быть использована для химического анализа образцов, при изучении их под рентгеновским микроскопом в монохроматических лучах.

В. Вавилов

НАБЛЮДЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ МОЛЕКУЛ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОПРОЕКТОРА

Проблема увеличения разрешающей способности электронно-оптических приборов и возможности перехода к непосредственному наблюдению молекул и распознаванию их форм давно стоит перед электронной микроскопией.

В настоящее время при разрешающей способности электронных микроскопов в несколько десятков ангстрем в лучшем случае удаётся заметить отдельные крупные органические молекулы, состоящие из тысяч атомов, но не судить о их форме. Опознавать отдельные молекулы впервые удалось с помощью так называемого электронного проектора — прибора, дающего в руках умелого экспериментатора возможность получать при непосредственном увеличении объекта в миллион и более раз разрешение, превышающее пределы, технически достижимые в лучших из электронных микроскопов с магнитными или электростатическими линзами¹.

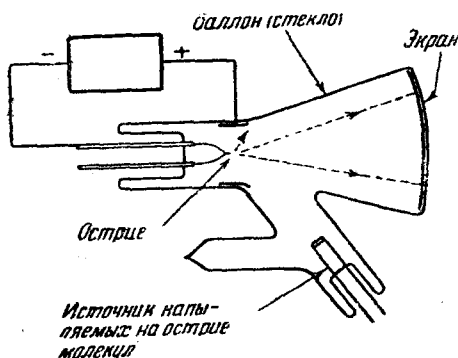


Рис. 1. Схема электронного микропроектора.

Электронный проектор в простейшей форме состоит из отпаянного стеклянного сосуда, откачанного до возможно более высокого вакуума — порядка 10^{-8} мм ртутного столба. Внутри сосуда находится металлическое (обычно вольфрамовое или молибденовое) острье с весьма малым радиусом закругления и вспомогательный электрод, часто в виде кольца (рис. 1). На стенки сосуда наносится флуоресцирующий экран. Острье служит катодом; ко второму электроду прикладывается положительный потенциал. Когда градиент электрического поля у острья достигает величины порядка 10^7 в/см, из металла начинают вырываться электроны, летящие по радиусам, выходящим, практически, из одной точки, и бомбардирующие флуоресцирующий экран. Если на пути электронов находится препятствие, на экране возникает его те-