

## УСТАНОВКА БОЛЬШОЙ ВОГНУТОЙ ДИФФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ОПТИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ В ЛЕНИНГРАДЕ

*С. Фриш и Ф. Герасимов, Ленинград*

1. Как известно, в восьмидесятых годах прошлого столетия Роуленд впервые ввел в практику спектроскопии вогнутые диффракционные решетки.

Штрихи такой решетки наносятся на поверхность сферического вогнутого зеркала на равных расстояниях друг от друга, считая по хорде. Основным преимуществом вогнутой диффракционной решетки по сравнению с плоской является ее фокусирующее действие.

Если расположить решетку и освещающую ее щель на круге радиуса, вдвое меньшего, чем радиус кривизны решетки, то диффракционные спектры различных порядков расположатся вдоль того же круга, носящего название роулендова круга.

Решетки, нарезанные Роулендом, до сих пор принадлежат к наилучшим. Они имеют одно из следующих чисел штрихов на единицу длины: 20 000; 14 438 и 10 000 на 1 дюйм, или, что то же самое: 7874,1; 5684,4 и 3937,1 штрихов на 1 см. Наиболее удачные и распространенные решетки имеют число штрихов 14 438, или 10 000 на 1 дюйм. Решетки Роуленда нанесены на зеркала, изготовленные из так называемого зеркального металла, представляющего собой сплав меди (около 68%) и олова (около 32%).

Условие, определяющее положение линии с длиной волны  $\lambda$ , имеет вид

$$b(\sin i + \sin \varphi) = k\lambda, \quad (1)$$

где  $i$  — угол падения света на решетку,  $\varphi$  — угол диффракции,  $b$  — постоянная решетки и  $k$  — порядок спектра. Линейная дисперсия решетки  $\frac{dl}{dk}$  равна

$$\frac{dl}{dk} = \frac{kR}{b \cdot \cos \varphi}, \quad (2)$$

где  $R$  — радиус кривизны решетки. Таким образом лишь вблизи нормали к решетке, где угол  $\varphi = 0$ , дисперсия может считаться постоянной, а спектр, следовательно, нормальным.

Наконец, отметим, что разрешающая сила решетки  $\frac{\lambda}{\delta\lambda}$  равна

$$\frac{\lambda}{\delta\lambda} = kN, \quad (3)$$

где  $N$  — полное число штрихов решетки.

Способы установки вогнутых решеток весьма различны: в установке Абнея решетка и кассета закреплены неподвижно, щель же перемещается вдоль роулендова круга. В установке самого Роуленда неподвижно закреплена щель, а решетка и кассета расположены на концах подвижного диаметра. Так называемая установка Игля аналогична автоколлимационным установкам, причем для того, чтобы на кассету могли попасть различные части спектра, решетка поворачивается вокруг вертикальной оси. Наконец, по предложению Пашена и Рунге неподвижно закрепляются и щель и решетка, фотографические же пластинки располагаются в различных местах роулендова круга. Последние два типа установок являются наиболее распространенными, причем установка Игля применяется преимущественно для вакуум-спектрографов. Установка Пашена-Рунге, хотя и отличается громоздкостью, удобна тем, что она стационарна и позволяет одновременно фотографировать широкие спектральные участки в различных порядках. Она вообще наиболее пригодна для точных спектральных измерений и применена в целом ряде заграничных лабораторий, располагающих большими вогнутыми диффракционными решетками.

2. Описываемая ниже установка большой вогнутой диффракционной решетки выполнена и испытана в Государственном оптическом институте авторами настоящей статьи. Она осуществлена по схеме Пашена-Рунге, является первой и пока единственной установкой такого типа в Советском союзе и предназначена для различных точных спектроскопических работ.

Сама решетка изготовлена Роулендом в конце XIX столетия и отличается хорошим качеством. Ее данные следующие:

|                                        |                         |
|----------------------------------------|-------------------------|
| Радиус кривизны . . . . .              | 640 см                  |
| Длина нарезанной поверхности . . . . . | 5,7 дюймов (14,4 см)    |
| Число штрихов на дюйм . . . . .        | 10 000 (3937,1 на см)   |
| Общее число штрихов . . . . .          | 57 000                  |
| Постоянная решетки $b$ . . . . .       | $2,54 \cdot 10^{-4}$ мм |

Для использования полной разрешающей силы решетки особенно при длительных экспозициях (достигающих 10 и более часов) требуется постоянство температурного режима решетки и отсутствие тряски. В связи с этим решетка расположена в особом помещении, без окон, в 1-м этаже флигеля института. Схематический план помещения представлен на рис. 1. Общая его площадь 80 м<sup>2</sup>. Посреди помещения имеется лежащий непосредственно на грунте и не связанный с остальным зданием фундамент в виде треугольника, сложенного из бутового камня. Этот фундамент несет три бетонных массивных столба, на которых свободно лежит железобетонная ферма, горизонтальная проекция которой также представлена на рис. 1. Эта ферма, отличающаяся большой массив-

ностью (ее вес более 9 т), несет на себе щель  $S$ , решетку  $G$  и кассеты, расположенные вдоль роулендова круга  $aa'a''$  радиуса  $r = 320$  см. Таким образом все части установки расположены на одной и той же железобетонной ферме, что уменьшает их колебания относительно друг друга. Кроме того, предусмотрена возможность введения резиновых прокладок между фермой и стол-

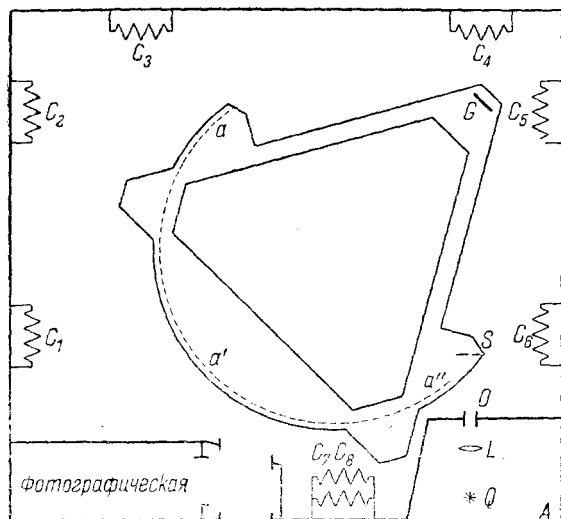


Рис. 1.

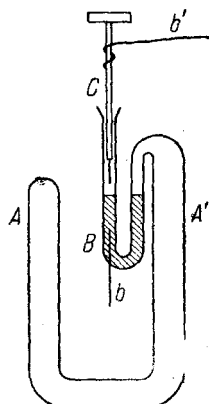


Рис. 2.

бами, для чего под ферму подведено 6 домкратов, на которых она может быть приподнята.

Источник света  $Q$  располагается в нише  $A$  (рис. 1), соединенной с соседней рабочей комнатой и отделенной от помещения решетки нетеплопроводными стенками. Свет, отбрасываемый от источника, проектируемый линзой  $L$ , проходит сквозь окошко  $O$  и падает на щель решетки  $S$ .

Требования, предъявляемые к постоянству температуры при работе с дифракционной решеткой, весьма высоки. Изменение температуры ведет к тепловому расширению самой решетки, что изменяет ее постоянную  $b$ , в результате чего спектральные линии смещаются. Достаточно весьма незначительного изменения температуры, чтобы две едва разрешаемые линии слились. В самом деле, дифференцируя соотношение (1) при данных  $k$ ,  $i$  и  $\varphi$ , получим

$$d\lambda = \frac{db}{k} (\sin i + \sin \varphi).$$

Так как смещение линии должно быть меньше, чем расстояние  $\delta\lambda$  между двумя едва разрешенными линиями, то изменение постоянной решетки  $db$  должно удовлетворять неравенству

$$db < \frac{k\delta\lambda}{\sin i + \sin \varphi}.$$

Принимая во внимание, что по формуле (3)

$$\delta\lambda = \frac{\lambda}{K \cdot N},$$

где  $N$  — полное число штрихов решетки, получим

$$db < \frac{\lambda}{N(\sin i + \sin \varphi)}. \quad (4)$$

В описываемой установке угол падения  $i$  близок к  $45^\circ$ . Полагая угол дифракции  $\varphi = 30^\circ$  и  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ , получим при  $N = 57\,000$

$$db < \frac{5 \cdot 10^{-5}}{57000 \cdot 1,2} \approx 7 \cdot 10^{-10} \text{ см.}$$

Так как коэффициент линейного расширения  $\alpha$  для зеркального металла, из которого сделана решетка, равен  $\alpha = 0,000018$ , а по-

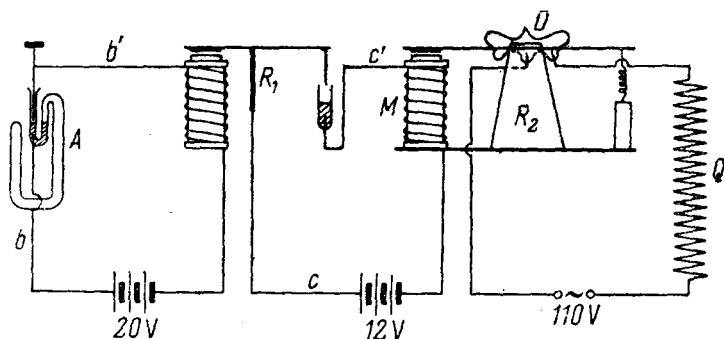


Рис. 3.

стоянная решетки равна  $0,0025 \text{ см}$ , то изменение температуры не должно превышать  $0,02^\circ$ .

Регулировка температуры внутри помещения, где установлена решетка, производится автоматически. Вдоль стен установлено 8 электрических печей ( $c_1, c_2, c_3, \dots$  на рис. 1), соединенных попарно последовательно и питаемых переменным током 110V. Сила тока в печах 7A, так что их общая мощность составляет  $\approx 3\,500 \text{ W}$ . Внутри помещения установлен толуюловый термометр, изображенный на рис. 2.

Трубка  $AA'$  диаметром 2,5 см и длиной 56 см содержит 440 см<sup>3</sup> толуюла, имеющего большой коэффициент теплового расширения  $\alpha = 0,00110$ . При тепловом расширении толуюл передвигает ртутный столбик  $B$ , который соответственно включает или разывает контакт между проводом  $b$  и штифтом  $C$ , положение которого может регулироваться.

В цепь  $bb'$  с электродвижущей силой 20 V включено электромагнитное реле  $R_1$  (рис. 3). Это реле расположено в соседней комнате и соответственно включает или выключает вторичную

цепь  $cc'$  с электродвижущей силой 12 V. В эту цепь включено второе релэ, состоящее из электромагнита  $M$ , который при включении наклоняет алюминиевую доску, на которой расположены 4 ртутных выключателя  $D$ . В большем масштабе один такой выключатель представлен на рис. 4. Выключатель состоит из слегка изогнутой стеклянной трубки с двумя вводами  $K_1$  и  $K_2$ . Эта трубка отчасти наполнена ртутью. Воздух из трубки откачан, и она наполнена сухим водородом при давлении, несколько меньшем атмосферного. При нагибании трубки в одну сторону ртуть переливается и производит контакт между вводами  $K_1$  и  $K_2$ , при нагибании же в другую сторону она соответственно разрывает контакт. Каждый из таких выключателей введен в цепь пары печей и действует весьма надежно.

В помещении, где расположена решетка, под потолком установлено еще 4 вентилятора для размешивания воздуха; однако исследование теплового режима помещения показывает, что, повидимому можно обходиться и без них.

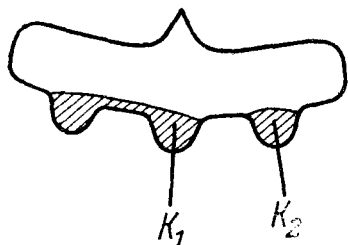


Рис. 4.

Указанная система печей с регулятором обеспечивает постоянство температуры внутри помещения с точностью до  $0,2^\circ$ . При этом колебания температуры происходят со сравнительно небольшим периодом 10—15 минут около среднего положения, постоянство которого сохра-

няется весьма хорошо в течение неопределенно долгого времени.

Для того чтобы сама решетка сохраняла еще лучше постоянство температуры, она помещена в толстостенный чугунный ящик, покрытый снаружи слоем асбеста. В ящике имеются вырезы для входа и выхода пучка света, падающего на решетку. Благодаря большой тепловой инерции ящика температура в нем остается постоянной в пределах приблизительно  $0,02—0,03^\circ$ . Сама решетка, обладающая также большой теплоемкостью, сохраняет постоянство температуры еще лучше.

На рис. 5 представлен ход температуры внутри ящика, где помещается решетка, в течение рабочего дня: один раз при отсутствии регулировки (сплошная линия), другой— при действующей регулировке (пунктирная линия). Как видно, во втором случае колебания не превышают  $0,05^\circ$ . Измерение температуры внутри помещения и вблизи самой решетки может производиться с помощью термопар и зеркального гальванометра, расположенного в соседней комнате, что позволяет следить за постоянством температуры и во время экспозиций.

3. В большинстве установок вогнутых решеток по схеме Пашена-Рунге вдоль всего роулендова круга располагаются две стальных полосы. К этим полосам можно в любом месте прижать фотографическую пластинку, что позволяет одновременно фотографировать любые участки спектра в разных порядках. Так как вся установка

решетки производится в затемненном помещении, то никакой дополнительной защиты фотопластинок от света не требуется.

Однако фокусировка при таких условиях затруднительна, и поэтому для описываемой установки была сконструирована более сложная, но зато и более точная система кассет.

Вдоль всего роулендова круга на расстоянии 30 см друг от друга расположены по нормальям к кругу отрезки оптических рельсов длиной по 20 см. На каждом таком отрезке рельса *A* (рис. 6) расположен рейтер *B*, который может передвигаться винтом *C*. Положение рейтера определяется с помощью шкалы и нониуса *a* с точностью до 0,1 мм.

Каждый рейтер несет площадку *D* и столбик *E*. Рейтеры располагаются таким образом, чтобы передние стороны всех столбиков

точно совпали с действительной фокальной линией решетки, которая несколько отличается от теоретического круга Роуленда.

Кассеты переносные. Они сделаны из двух, скрепленных между собой, латунных полос. Задние стороны полос выточены по кругу радиуса, равного радиусу роулендова круга (320 см). Длина кассеты 60 см. Каждая кассета может быть поставлена на площадке *D* двух любых соседних рейтеров и прижата пружинами *f* к столбикам *E*. Таким образом она автоматически располагается по фокальной линии решетки. Фотопластинки прижимаются к кассете сзади с помощью двух специальных зажимов. Общий вид пары рейтеров с поставленной на них кассетой представлен на рис. 7. Расстояние между краями кассеты равно 5,5 см; это расстояние определяет ширину

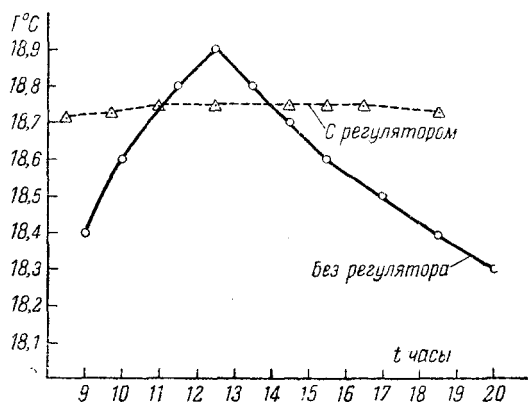


Рис. 5.

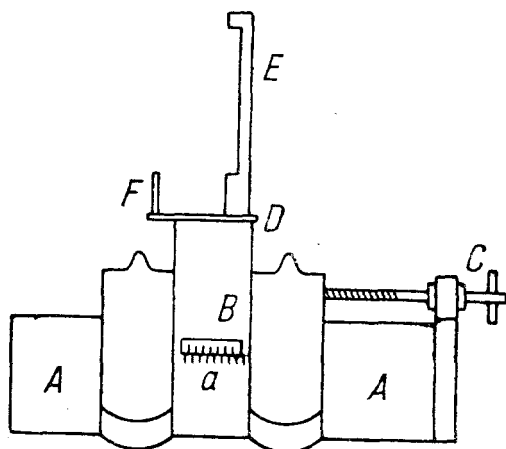


Рис. 6.

соседних рейтеров и прижата пружинами *f* к столбикам *E*. Таким образом она автоматически располагается по фокальной линии решетки. Фотопластинки прижимаются к кассете сзади с помощью двух специальных зажимов. Общий вид пары рейтеров с поставленной на них кассетой представлен на рис. 7. Расстояние между краями кассеты равно 5,5 см; это расстояние определяет ширину

употребляемой фотопластинки. Длина пластинки практически определяется толщиной стекла; при толстом стекле длинная пластинка

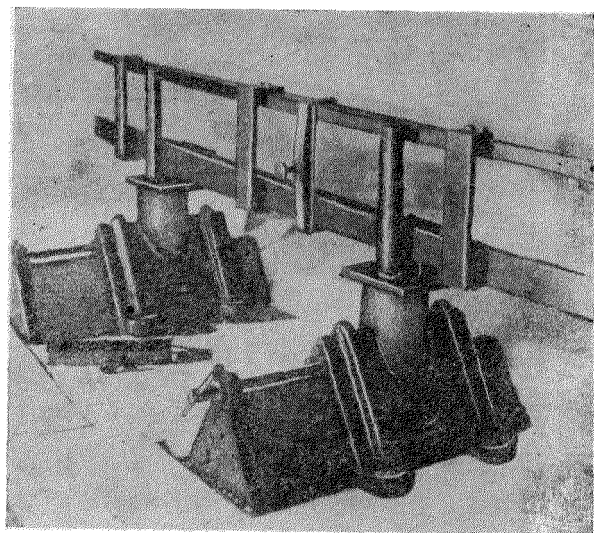


Рис. 7.

не выдерживает изгибания по кассете и ломается. При тонком стекле можно пользоваться пластинками длиной 20—30 см.

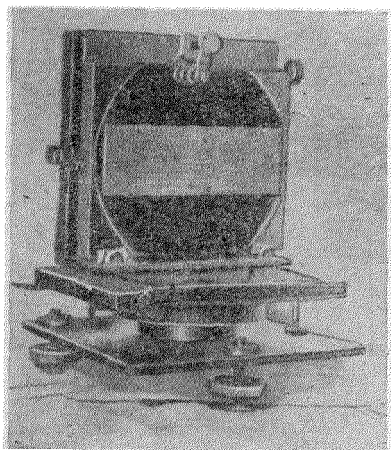


Рис. 8.

Установка рейтеров в первом приближении производится на глаз путем наблюдения в короткофокусный окуляр ярких линий видимого спектра ртути или железа. Более точная установка достигается путем фотографирования отдельных участков спектра.

Сама решетка установлена на специальной подставке (рис. 8). Подставка допускает поворачивание решетки вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной к плоскости решетки, и вокруг вертикальной оси. Поворачивание вокруг вертикальной оси позволяет в случае надобности менять угол падения  $i$ . Возможность поворачивания решетки вокруг го-

ризонтальной оси необходима для установки штрихов решетки параллельно щели. Щель укреплена также на отдельной подставке с тремя установочными винтами.

Необходимость устанавливать штрихи решетки строго параллельно щели обусловлена астигматизмом вогнутой решетки. Как показывает общая теория вогнутой диффракционной решетки, изображение каждой освещенной точки щели растягивается в фокальной плоскости в линию. Длина этой линии  $L$  определяется выражением

$$L = (\sin i \cdot \operatorname{tg} i + \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \cos \varphi \cdot h, \quad (5)$$

где  $i$ , как и прежде, угол падения,  $\varphi$  — угол диффракции,  $h$  — высота заштрихованной области решетки. Для описываемой решетки высота  $h$  равна 5 см. Если щель и штрихи решетки лежат в параллельных вертикальных плоскостях, но составляют между собой угол  $\alpha$ , то линия, даваемая решеткой, превращается в полосу шириной

$$\delta l = L \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

где  $L$  определяется формулой (5). Очевидно,  $\delta l$  должно быть меньше расстояния между двумя едва разрешимыми линиями.

Для рассматриваемой установки это требование приводит к тому, что угол  $\alpha$  не должен превышать  $3,5'$ .

Фокальная линия решетки, как указывалось, несколько отличается от теоретического роулендова круга. Это выступает яснее всего, если решетку перевернуть, не изменяя в остальном ее установки. В результате такого переворачивания на то место, куда попадал, например, спектр 1-го порядка, расположенный направо от центрального изображения, попадет тот спектр 1-го порядка, который прежде располагался слева от центрального изображения, и т. д. Если бы все спектры располагались строго по роулендову кругу, то такой „обмен“ спектров не должен был бы вести к изменению фокусировки. Однако на самом деле фокусировка меняется и тем больше, чем дальше от центрального изображения берутся участки. Так, специально произведенные снимки показали, что фокусировка для синей части ( $\lambda = 4358 \text{ \AA}$ ) спектра 1-го порядка меняется на 2 см, а для той же спектральной области 5-го порядка меняется на 12,5 см.

4. Решетка установлена таким образом, что угол падения  $i$  равен  $43^\circ 40'$ . При этом на то место, где роулендов круг пересекается нормалью к решетке  $GN$  (рис. 9), попадают следующие спектральные области различных порядков:

|                                        |              |
|----------------------------------------|--------------|
| $\lambda$ 17632 $\text{\AA}$ . . . . . | 1-го порядка |
| $\lambda$ 8816 $\text{\AA}$ . . . . .  | 2-го „       |
| $\lambda$ 5877 $\text{\AA}$ . . . . .  | 3-го „       |
| $\lambda$ 4408 $\text{\AA}$ . . . . .  | 4-го „       |
| $\lambda$ 3526 $\text{\AA}$ . . . . .  | 5-го „       |

Таким образом на это место попадают далекая инфракрасная область спектра 1-го порядка и видимые части спектров 3-го и 4-го порядков.

Линейная дисперсия вблизи нормали по формуле (2) равна

$$\left(\frac{dl}{d\lambda}\right)_0 = \frac{k \cdot R}{b} = \frac{k \cdot 6400}{2,54 \cdot 10^{-4}} \text{ мм/Å} = k \cdot 0,252 \text{ мм/Å}.$$

Отсюда величина, обратная дисперсии, вблизи нормали равна

$$\left(\frac{d\lambda}{dl}\right)_0 = 3,97 \text{ Å/мм}.$$

Границам видимой части спектра 1-го порядка ( $\lambda = 4000 \text{ Å}$  и  $\lambda = 7600 \text{ Å}$ ) соответствуют углы дифракции  $\varphi$ , равные  $\varphi_1 = -32^\circ 50'$  и  $\varphi_2 = -23^\circ 10'$ .

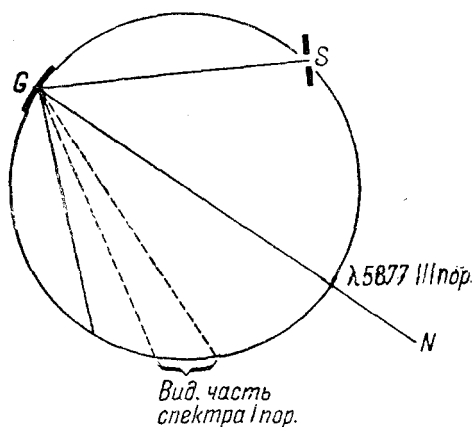


Рис. 9.

Общая длина видимой части спектра 1-го порядка равна 104 см. На рис. 10 представлена в натуральную величину часть фотографии со спектром железа в 1-м порядке.

Так как видимая часть спектра 1-го порядка лежит далеко от нормали, то для нее согласно формуле (2) дисперсия не постоянна и заметно отличается от дисперсии вблизи нормали. Ход дисперсии в спектре 1-го порядка в области от  $\lambda = 3000 \text{ Å}$  до  $\lambda = 8000 \text{ Å}$

представлен на рис. 11. Значения дисперсии, определенные экспериментально для разных спектральных участков и в разных порядках, хорошо согласуются с теоретическими. Непостоянство дисперсии сказывается при промерах. При определении длин волн по нормальям приходится пользоваться трехчленными интерполяционными

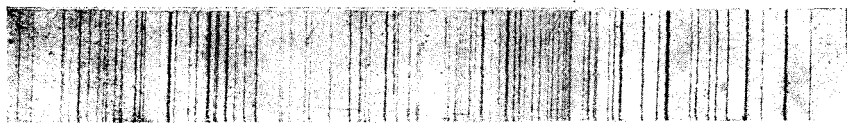


Рис. 10.

формулами и подбирать константы формул отдельно для каждого участка в 100—150 Å. При этих условиях в 1-м порядке точность промеров может быть доведена до  $\pm 0,005 - 0,006 \text{ Å}$ .

Решетка дает также хорошо выраженные спектры более высоких порядков вплоть до 8-го, что весьма существенно при решении тех спектроскопических проблем, где требуется большая разрешающая

сила (сверхтонкая структура линий, явление Зеемана, ротационная структура молекулярных спектров и т. д.). Установка позволяет производить наблюдения вплоть до  $\lambda = 8000 \text{ \AA}$  4-го порядка и вплоть до  $\lambda = 4000 \text{ \AA}$  8-го порядка.

Разрешающая сила решетки в силу обычного определения равна  $kN$ , где  $k$  — порядок спектра, а  $N$  — полное число штрихов. Таким образом описываемая решетка теоретически должна разрешать при  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$  две линии, отстоящие друг от друга на

$$\delta\lambda = 0,089 \text{ \AA} \text{ в 1-м порядке}$$

$$\delta\lambda = 0,044 \text{ \AA} \text{ во 2-м } "$$

$$\delta\lambda = 0,030 \text{ \AA} \text{ в 3-м } "$$

$$\delta\lambda = 0,022 \text{ \AA} \text{ в 4-м } "$$

Линейное расстояние между такими двумя едва разрешимыми линиями равно  $\delta l = 0,32 \text{ мм}$  для видимой части спектра 1-го по-

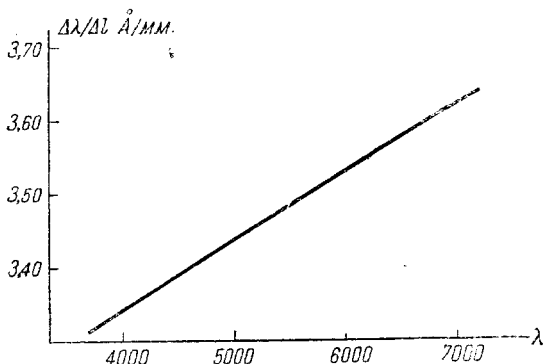


Рис. 11.

рядка и  $\delta l = 0,30 \text{ мм}$  для линий вблизи нормали, где дисперсия имеет наименьшее значение. Отсюда видно, что на фотографиях линейное расстояние между двумя разрешимыми линиями весьма мало. Для использования полной разрешающей силы решетки приходится работать с узкой щелью и обращать внимание на точную фокусировку и отсутствие тряски и постоянства температуры, о чем было сказано выше.

Для определения практической разрешающей силы были сфотографированы в различных порядках объекты с узкой структурой. При фотографировании в 1-м порядке спектра железа можно было легко заметить разрешение двух линий  $\lambda = 3830,85$  и  $3830,75$ , т. е. отстоящих друг от друга на  $0,10 \text{ \AA}$ , что дает практическую разрешающую силу в 38 000. В более высоких порядках (вплоть до 6-го) фотографировалась синяя ртутная линия ( $\lambda = 4358 \text{ \AA}$ ), обладающая сверхтонкой структурой.

На рис. 12 воспроизведена увеличенная в 8 раз фотография этой линии, произведенная в 5-м порядке. Кроме центральной яркой и несколько размытой компоненты, по бокам видно еще 4 более резких и слабых компоненты. Кроме того, производилось наблюдение явления Зеемана на линии  $\lambda = 5852 \text{ \AA}$ . Эта линия дает в магнитном поле триплет, близкий к „нормальному“. Средняя компонента этого триплета тушилась николем, и, таким образом, получался дублет, ширина которого зависела от приложенного магнитного поля. Уменьшая магнитное поле, можно было настолько сузить этот дублет, что его обе компоненты сливались. На рис. 13 представлены микрофотометрические кривые, полученные с такого дублета в полях напряженностью в 2840, 1916, 1500 и 0 гаусс. Съемки производились в 4-м порядке. Как видно, при напряжении магнитного поля в 1500 гаусс, при кото-

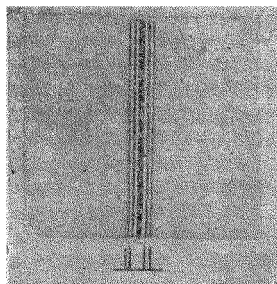


Рис. 12.

ром теоретическая ширина дублета равна  $\delta\lambda = 0,050 \text{ \AA}$ , еще вполне можно заметить его разрешение.

5. Всякая практически осуществленная решетка более или менее отличается от идеального типа решетки со строгой периодичностью отражающих и неотражающих штрихов. Вследствие

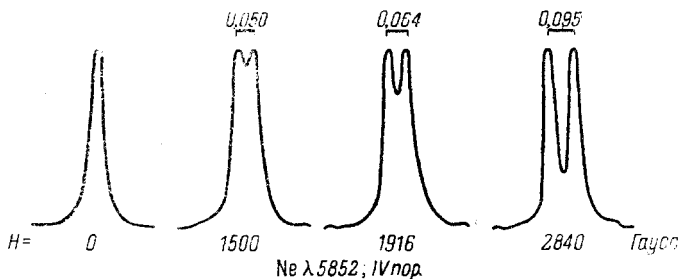


Рис. 13.

этого амплитуда отдельных отражаемых пучков не вполне одинакова, и разность хода между ними также не вполне постоянна. Для вычисления результирующих колебаний в фокальной поверхности реальной решетки следует суммировать ряд колебаний с различной амплитудой и непостоянной разностью фаз, т. е. иметь дело с суммой вида

$$\sum_{n=1}^N A_n \cos [2\pi\nu t + n\Delta + f(n) \cdot \Delta],$$

где  $N$  — полное число штрихов решетки, а член  $f(n)\Delta$  может рассматриваться как ошибка в фазе  $n$ -го пучка.

Весьма часто эта ошибка носит периодический характер, связанный с ошибками в винте делительной машины. Периодические ошибки ведут к появлению лишних максимумов — фальшивых линий, носящих название „духов“. Эти духи, если их положение и интенсивность заранее неизвестны, могут быть приняты за реальные линии и стать источником недоразумений.

Монотонное изменение фазы ведет к дополнительным фокальным свойствам решетки, а непериодические ошибки — к появлению сплошного фона. Таким образом с экспериментальной точки зрения наибольший интерес представляют периодические ошибки и вызываемые ими духи.

Духи бывают двух родов: а) так называемые роулендовы духи (отмечены впервые Роулендом), расположенные симметрично около реальной линии на незначительных расстояниях от нее; б) леймановы духи (отмечены впервые Лейманом), расположенные также симметрично около линии, но на больших расстояниях от нее. Интенсивность роулендовых духов возрастает с порядком спектра и может достигать нескольких процентов от интенсивности самой линии. Как показывает теория, роулендовы духи располагаются в местах, соответствующих длинам волн,

$$\lambda = \lambda_0 \pm \frac{n\lambda_0}{k \cdot q}, \quad (7)$$

где  $\lambda_0$  — длина волны самой линии,  $q$  — период ошибки,  $k$  — порядок спектра,  $n$  — целое число, равное 1, 2, 3. С возрастанием числа  $n$  интенсивность духов быстро падает.

Леймановы духи располагаются в местах, соответствующих длинам волн,

$$\lambda = \pm \frac{n_1}{n_2} \lambda_0, \quad (8)$$

где  $\frac{n_1}{n_2}$  — есть рациональная дробь, например  $\frac{4}{5}$  или  $\frac{6}{5}$  и т. д. Интенсивность этих духов незначительна (обычно не больше 0,1% от интенсивности самой линии), и они представляют собой сложные дифракционные максимумы, в то время как роулендовы духи отличаются резкостью и поэтому особенно легко могут быть приняты за действительные линии.

При исследовании описываемой решетки было обращено специальное внимание на роулендовы духи. Ртутная линия  $\lambda = 4358 \text{ \AA}$  фотографировалась в различных порядках с экспозициями, превышающими в несколько раз (до 12) нормальную. На рис. 14, а представлена съемка, сделанная в 1-м порядке; положение духов отмечено стрелками, остальные линии представляют собой действительные более слабые линии ртути, духов которых не видно. На рис. 14, б представлена съемка той же линии в 5-м порядке; положение духов снова отмечено стрелками. Как видно, духи здесь значительно интенсивнее, чем в 1-м порядке. Промеры дают хорошее согласие с формулой (7). В 1-м порядке духи

отстоят на  $\pm 8,4n \text{ \AA}$  от линии, а в 5-м порядке на  $\pm 1,7n \text{ \AA}$ , что соответствует периоду ошибок в 515 штрихов. Микрофотометрирование дало, что интенсивность духов в спектре 1-го порядка не превышает 0,1%, а в спектре 4-го порядка — 1% от интенсивности самой линии.

Леймановы духи из-за их малой интенсивности исследованы не были.

С явлением духов, повидимому, связаны некоторые особенности экстрафокальных съемок. Если бы решетка была идеальной, то на съемках, произведенных вне фокуса (ближе или дальше фокуса), должна была бы вместо линии получиться равномерно освещен-

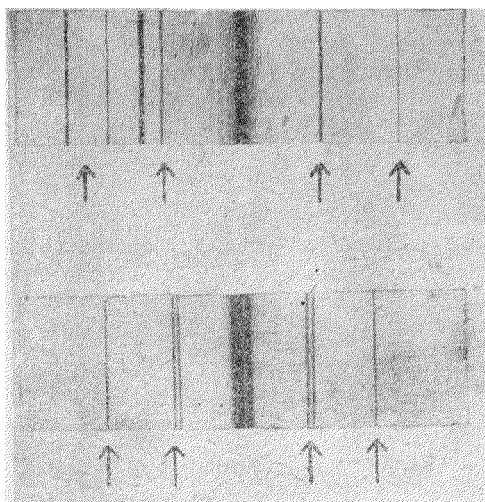


Рис. 14.

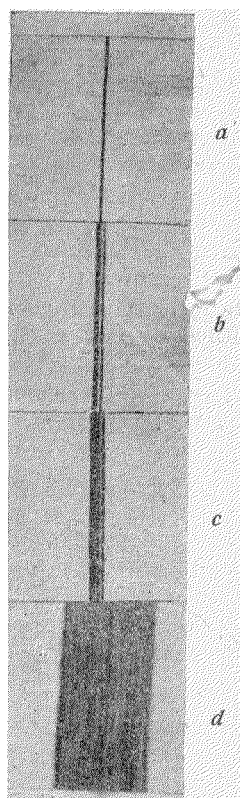


Рис. 15.

ная расширенная полоска. На самом деле экстрафокальные съемки обнаруживают ряд более или менее резких полос. Так, описываемая решетка при расстоянии от фокуса всего в 4 мм дает вместо одной линии две довольно резких линии приблизительно равной интенсивности. На рис. 15 *a*, *b*, *c*, приведены четыре снимка синей линии ртути  $\lambda = 4358 \text{ \AA}$ , произведенные в 1-м порядке. Первый из этих снимков относится к точной фокусировке, остальные три произведены соответственно на расстояниях в 7,5, 15 и 50 мм перед фокусом. (Снимки увеличены против оригинала в 4 раза.) Как видно, на расстоянии 7,5 мм от фокуса линия кажется тройной, а на расстоянии 50 мм от фокуса получается размытая полоса, обнаруживающая явные неравномерности в освещенности.

Исчерпывающей теории указанных свойств экстрафокальных съемок до сих пор не дано. Вуд связывает появление отдельных полос с монотонным изменением постоянной решетки в отдельных участках и возникающими благодаря этому добавочными фокальными свойствами отдельных частей решетки. Бродерсен и Цейзинг указали на связь этих полос с духами. Вырезая щелью, помещенной в фокальной поверхности решетки, лишь основную линию и задерживая духи, они получали равномерное освещение в пределах полоски, получившейся при этих условиях за фокусом.

— — — — —