ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ФОТОМЕТР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕМЕННОГО СВЕТОВОГО ПОТОКА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В УРАНОВОМ ФЛУОРИМЕТРЕ*)

1. ФОТОМЕТР

Описываемый фотометр обладает чувствительностью 10^{-10} люменов, но деление представляет собой часть флуориметра, служащего для определения очень малых количеств урана. Чувствительность этого флуориметра такова, что он даёт возможность установить наличие урана в количестве около $5 \cdot 10^{-10}$ *г*.

Фотометр состоит из фотоумножителя, заключённого в специальный кожух и соединённого кабелем с остальной частью фотометра, включающей в себя усилитель, измерительный прибор для отсчёта значений измеряемой световой величины и источник питания для усилителя. Источник питания фотоумножителя располагается отдельно. Такая конструкция даёт возможность при измерениях располагать фотоумножитель на любом расстоянии от остальной части прибора.

При использовании в качестве чувствительного элемента фотометра фотоумножителя необходимо было преодолеть трудности, возникающие из-за появления шумов в последнем.

При исследовании было установлено, что уровень шумов на единицу заданной полосы частот увеличивается по мере уменьшения частоты. Для уменьшения шумов в фотоумножителе источник света питается переменным напряжением с частотой 50 *гц* и, следовательно, создаёт переменный световой поток с частотой 100 *гц*.

На этой частоте уровень шумов фотоумножителя невысок и не служит помехой высокой чувствительности фотометра.

В фотометре используется 3-каскадный усилитель со стабилизацией отрицательной обратной связью. Коэффициент усиления каждого каскада около 40. Селективность достигается введением в схему однозвенного Т-образного фильтра, включённого между анодом и сеткой второго каскада.

Таким образом, получается сильная отрицательная обратная связь на всех частотах, за исключением резонансной частоты фильтра, где практически получается полное усиление усилителя.

---

*) C. D. Florida и C. N. Davey, J. Sci. Instr. **30**, № 11, 409 (1953).

Фильтр пропускает полосу частот в 10 *гц* с половинной амплитудой. Это решение является компромиссным между противоречивыми требованиями узкой полосы пропускания для низкого уровня шумов, необходимостью учёта влияния изменений частоты сети на частоту изменений светового потока и допусков на параметры элементов, составляющих схему. Изменение чувствительности достигается переключением величины входного сопротивления первого каскада.

Измерительный прибор на выходе представляет собой комбинацию прибора магнитодвижущей системы с выпрямителем. Предел измерения прибора — 25 вольт эффективных. Источники питания усилителя и фотоумножителя не отличаются по своей конструкции чем-нибудь существенным от аналогичных устройств, используемых обычно.

С помощью фотометра можно обнаруживать световой поток до 10^{-10} люменов, при этом уровень сигнала равен примерно четырёхкратному шуму.

Чувствительность прибора такова, что поддаются измерению количества света, которые вызвали бы почернение фотопластинки за несколько часов. Время срабатывания (~ 1 сек.) ограничивается главным образом указывающим измерительным прибором.

Дальнейшее увеличение чувствительности может быть достигнуто тремя путями:

1) применением фазочувствительного выпрямителя, который мог бы служить препятствием помехам от шумов, находящихся не в фазе с колебаниями светового потока;

2) улучшением селективности усилителя путём более острой отсечки частот за пределами полосы пропускания в 10 *гц*;

3) уменьшением величины темнового тока, во-первых, рациональным выбором напряжения на каждый каскад фотоумножителя так, чтобы его шумы были бы уравнены по величине с шумами усилителя, и, во-вторых, выбором соответствующей температуры окружающей среды, так как известно, что величина темнового тока растёт с ростом этой температуры.

2. ФЛУОРИМЕТР

Определение количества урана имеет большое значение при анализе руд. Общеизвестен флуоресцентный метод определения количества урана в руде, основанный на свечении смеси урановой руды и фтористого натрия при облучении её источником ультрафиолетового излучения. Интенсивность этого свечения почти прямо пропорциональна количеству урана, содержащегося в образце.

Общий вид флуориметра приведён на рис. 1, а его оптическая схема — на рис. 2.

Источник ультрафиолетового излучения *A* находится в кожухе *B*, внизу которого помещён исследуемый образец *F*.

Для устранения погрешностей прибора, которые могут получиться за счёт неравномерного распределения яркости в источнике *A*, применяется кварцевая оптика *C* и *E*. Фильтр *D*, помещённый на пути лучей, выделяет из них излучение с длиной волны 3650 Å.

Отражённое от образца ультрафиолетовое излучение и видимый свет, полученный в результате флуоресценции образца, проходят через комбинацию фильтров *G* и *H*, пропускающую видимый свет с длинами волн от 4600 до 5600 Å. Эта область соответствует большей части видимого спектра флуоресценции урана.

Система линз *J* и *L* проектирует изображение флуоресцирующего образца на катод фотоумножителя.

Исследуемые образцы помещаются на специальной подставке в нижней части прибора. Внутренняя полость этой части прибора выполнена из гра-

фита, дающего незначительную флуоресценцию при значительном поглощении рассеянного ультрафиолетового излучения.

При вынимании подставки для образцов из прибора отверстие в нём автоматически закрывается, чтобы предотвратить попадание на катод фотоумножителя значительного светового потока извне, так как иначе может произойти утомление фотоумножителя (из-за протекания по нему большого тока) и восстановление его чувствительности произойдёт не ранее чем через час.

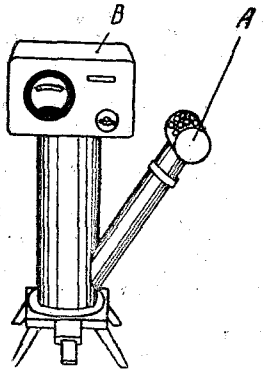

Рис. 1. *A* — источник ультрафиолета, *B* — фотоумножитель с усилителем.

Окно в кожухе фотоумножителя располагается против линзы *L*.

Фотоумножитель, усилитель и делитель напряжения к фотоумножителю расположены в верхней части прибора, как это показано на рис. 1.

Прибор применяется для определения количества урана, содержащегося в исследуемом образце, путём сравнения с образцом, содержащим определённое количество урана. Для подготовки образца уран испарением наносится на платиновую пластинку, к нему добавляется определённое количество смеси, содержащей фтористый натрий. Эта смесь расплавляется, а затем охлаждается. В флуориметр вставляется 6 пластин с образцами и каждый образец поочерёдно измеряется прибором. Так как поверхность каждого образца не является идеально диффузной, а также по ряду других причин, воспроизводимость измерений одного и того же образца не превышает 3%.

Измерения же двух одинаково изготовленных образцов дают расхождение в значениях до 10%. Отсюда может быть получено то минимальное значение количества урана, которое измеряется прибором.

Ниже приводятся средние цифры, полученные в результате измерений, произведённых на 10 флуориметрах.

В первой строке приводятся отсчёты по прибору при выключенной лампе. Эти отсчёты могут служить мерой уровня шумов фотоумножителя.

Вторая строка даёт отсчёты, полученные при включённой лампе и отсутствии образца в приборе. При этом сам сосуд, в котором при измерениях располагается образец, покрыт коллоидальным графитом. Таким образом, эти отсчёты дают возможность судить о флуоресценции самой внутренней части прибора. Третья строка даёт отсчёт по прибору при условии, что в сосуд для образца помещена только смесь, а сам уран отсутствует.

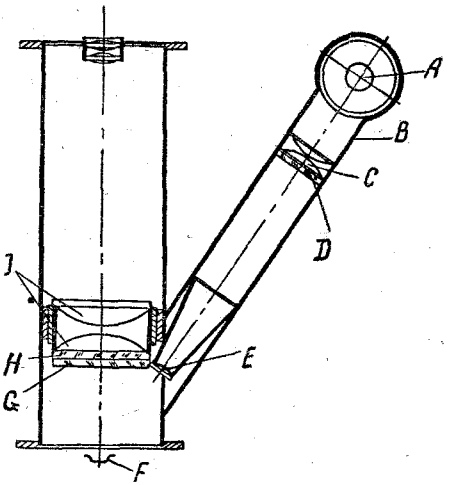

Рис. 2.

Четвёртая строка даёт отсчёт по прибору при помещении в нём смеси с ураном.

Лампа выключена	14
Лампа включена	214
Смесь без урана	2 112
Смесь $+10^{-8}$ *г* урана	15 460

Тогда очевидно, что минимальное количество урана, с уверенностью обнаруживаемое при помощи флуориметра, определяется как величина, соответствующая 10% отсчёта по прибору при измерении флуоресценции смеси без урана, умноженным на 3. Эта величина, как видно из приведённых выше отсчётов, равна $5 \cdot 10^{-10}$ *г*.

Следует отметить, что погрешность в 10% при измерениях смеси без урана по своей величине почти равна результатам измерений при включённой лампе. Это говорит о том, что погрешность при измерении флуоресценции смеси без урана почти равна величине флуоресценции самой внутренней части прибора.

М. Капник