

## ФОТОЭЛЕМЕНТЫ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ \*

Б. Ланге, Берлин

## ЧАСТЬ I

Цель данной работы дать краткий обзор современного технического развития фотоэлемента. Такой обзор облегчит каждому естествоиспытателю применение фотоэффекта в его специальной области работ. От изложения развития теоретических воззрений, хотя и очень интересных, придется отказаться, дабы яснее выступила чисто техническая сторона дела. Хотя фотоэффект был открыт еще в 1888 г. Гальваксом<sup>1</sup> (и Столетовым, *ред.*) и применялся для целей фотометрии, фотоэлементы только в последние годы приобрели совершенно неожиданное техническое и научное значение. Едва ли нужно указывать на обширные применения фотоэлементов в автоматических фотометрах, в звуковом кино, передаче изображений и телевидении. В Америке техническое применение фотоэлементов пошло еще дальше, например применяют фот. элементы для автоматической сортировки сигар по цвету, как счетчики при входах в тунели и залы, для управления машинами по печатным шаблонам, в текстильной и графической промышленности. Может также получить значение применение фотоэлементов для светового управления поездами, при котором упраздняется возможность проезда мимо заградительных сигналов. Наконец, фотоэлементы применены в Панамском канале как автоматические выключатели света, для включения и выключения светящихся буев. Резюмируя, мы видим, что фотоэлементы

\* Naturwiss. 1931. Перев. В. Фабрикант.

так же, как в свое время катодные лампы, вышли из научно-лабораторной стадии, и их применение носит уже высоко развитый технический характер.

### ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Освещенная коротковолновым светом цинковая пластинка приобретает, как известно, положительный заряд, появляющийся вследствие убыли электронов.

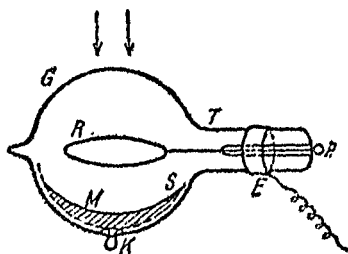


Рис. 1. Схема фотоэлемента.

Конечно в такой простейшей форме фотоэффект не применим практически. Только пользуясь щелочно-металлическим катодом с расположенным против него проволочным анодом, помещенными в откачанный стеклянный сосуд, можно применить фотоэффект для фотометрических измерений. Часто применяемые фотоэлектрические щелочно-металлические элементы Эльстера и Гейтеля<sup>2</sup> (рис. 1) состоят из частично посеребренного изнутри стеклянного шара G с боковым отростком для анодного ввода A. На серебряном слое S, соединенном с катодным вводом K осажден щелочной металл (в большинстве калий) более или менее толстым слоем M. Против M находится проволочный круг R, применяемый как анод. Круг соединен проводником с A; E — металлическое заземленное кольцо, непосредственно надетое на стекло. Оно должно предохранять от переползания зарядов с катода, обладающего сравнительно высоким отрицательным потенциалом, к аноду A.

Устройство лабораторного типа изображено на рис. 2, где особенно отчетливо виден кольцеобразный анод. Фототок такого элемента под действием солнечного света едва достигает  $10^{-8}$  А. Конечно не может быть и речи о сколько-

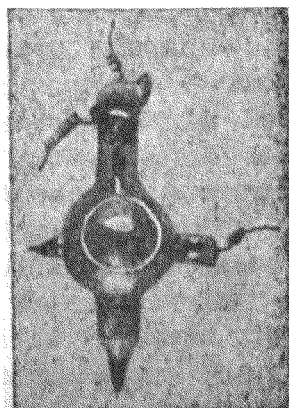


Рис. 2. Щелочно-металлический фотоэлемент.

нибудь существенном превращении света в электрическую энергию. Даже для фотометрических измерений применение таких малых фототоков затруднительно; только накладывая тянущее напряжение, можно усилить эти токи во много раз (рис. 3). При сравнительно низком наложенном напряжении уже достигается ток насыщения, т. е. практически почти все вырываемые фотоэлектроны попадают на анод и дальнейшее повышение напряжения уже не влияет существенно на фототок. В схеме, состоящей из фотоэле-

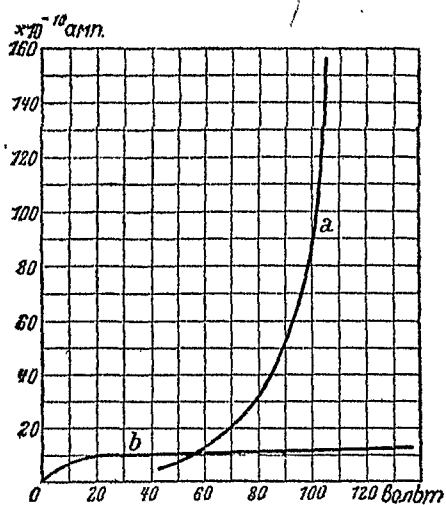


Рис. 3. Зависимость чувствительности от напряжения.

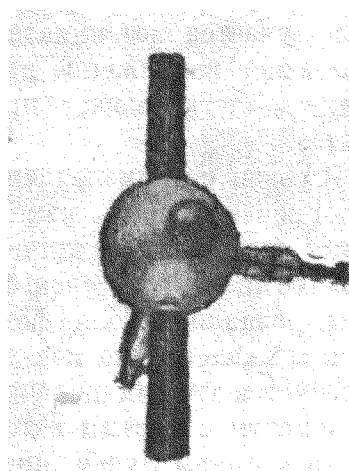


Рис. 4—7. Различные фотоэлементы.

мента с наложенным напряжением и гальванометра, получаем при освещенности в 1 люкс фототок около  $5 \times 10^{-10}$  А. Щелочные элементы применяются исключительно с наложенным напряжением, так что фототок не является по сути дела результатом превращения света в электрическую энергию, а течет за счет вспомогательных батарей. Фотоэлемент работает только как управляющий орган, благодаря изменению своего сопротивления под действием света. Такие элементы с высоким вакуумом применяются еще и теперь при очень точных фотометрических измерениях вследствие большого постоянства их свойств. Техническое выполнение

слой электролитически сквозь стеклянную колбу обычной лампы накаливания. \* Как видно из рис. 7, в таком фотоэлементе (Нава-фотоэлемент, Тунгс-рама) спирально навитая нить является анодом, который во время электролиза используется как нагретый катод и дает необходимый для электролиза поток электронов. Для электролиза погружают лампу  $\text{NaNO}_3$  в смесь, служащую в то же время анодом, и при температуре около  $250^\circ$  натрий электролитически проходит сквозь стекло. Натрий осаждается при этом на охлажденной части колбы в виде блестящего металлического зеркала. В первоначальном своем виде изготовленный таким способом



Рис. 5.



Рис. 6.



Рис. 7.

#### Различные фотоэлементы.

фотоэлемент отличается от обычной лампы накаливания только третьим контактом, продолжение которого при впаивании ножки лампы вводится в нижнюю часть колбы. Лампа затем откачивается, запаивается и введением электролитически натрия превращается в фотоэлемент, причем третий электрод соединен с натриевым катодом.

Работы Зелени<sup>6</sup> показали, что можно активировать натриевый катод весьма интересным методом, а именно путем электролитического введения кислорода повысить общую чувствительность и сместить ее максимум в красную сторону. Если в готовом фотоэлементе, пользуясь особым

\* Подобное же устройство для электролиза сквозь стекло с применением нагретого катода впервые описано М. Пирани и Лаксом.

способом, произвести электролиз стекла в обратном прежнему направлении, то внутри фотоэлемента появится некоторое соответствующее закону Фарадея количество кислорода. Кислород частично окислит натрий и при этом образуются коллоидные растворы натрия в его собственной

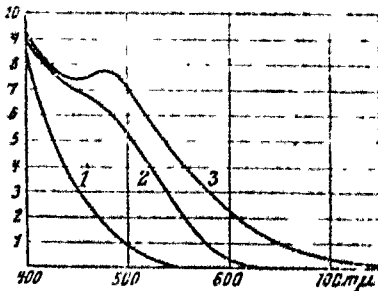


Рис. 8. Кривые спектральной чувствительности Тунгерман-Нава фотоэлементов.

окиси самых различных цветов, от желтого до фиолетового. Насколько при этом меняется спектральная чувствительность фотоэлементов, видно из рис. 8. Кривая 1 соответствует чистому натриевому катоду, тогда как кривые 2 и 3 — возрастающему количеству окиси. Замечательно, что кривая чувствительности сильно окисленного (окисленного) фотоэлемента (Нава) очень близка к кривой чувствительности глаза, так что этот фотоэлемент пригоден непосредственно для объективного определения освещенности.

В табл. 1 сведены кратко физические данные отдельных элементов.

Тип фотоэлемента	Фототок на люкс		Налож. напряж. в В	Граница чувствит. в μ
	без нал. напряж. в $10^{-10}$ А	с налож. напряж. в $10^{-9}$ А		
Вакуумный калиевый по Эльстеру и Гейтелю . . . . .	0,1	3	206	ок. 560
Газополный калиевый гидрировый по Пресслеру, . . . . .	0,1	86	120	800
Вакуумный натриевый Нава N	0,05	4	200	560
Вакуумный натриевый окисленный. Нава R . . . . .	0,1	20	200	740
Фотоэлемент с закисью . . . . .	500			8000
Световой детектор . . . . .	12			

При обзоре технического развития фотоэлементов перед нами явно выступают четыре стадии. Сначала фотоэффект на одной находящейся в воздухе металлической пластинке, затем переход к вакуумным элементам и применение наложенного напряжения, после чего важнейший с технической

точки зрения шаг — введение газополных элементов и наконец активирование поверхности. Установление оптимального давления газа и абсорбция на фотокатоде могут еще повысить действие фотоэлемента. Работы над фотоэлементами с одноатомным щелочным слоем<sup>6</sup> расширяют наши познания в области селективного фотоэффекта и дадут возможность определения квантового эквивалента. По нашему мнению, путь, здесь начерченный, не разрешит вопроса о сколько-нибудь существенном превращении света в электрическую энергию. Один взгляд на табл. 1 показывает, что фототок без наложенного напряжения, т. е. при непосредственном превращении света в электрическую энергию получается порядка  $10^{-7}$  А на люмен.\* Последнее время, несмотря на большие усилия, в области щелочных фотоэлементов получено мало нового. Подводя итоги, можно сказать, что, несмотря на очень скромный коэффициент действия, щелочные фотоэлементы вероятно достигли уже высшей точки своего развития.\*\*

Однако этим был сделан как бы только первый шаг в превращении света в электрическую энергию. Автор настоящей статьи описал<sup>7</sup> новый фотоэлектрический эффект, названный по предложению В. Шоттки\*\*\* фотоэффектом в заградительном слое (Sperrschicht photoeffekt), дающий, гораздо больший коэффициент фотоэлектрического действия. Низкий коэффициент действия щелочных фотоэлементов вызван большой работой выхода для вырываемых светом электронов и большим внутренним сопротивлением. Было показано, что если избегать выхода электронов непосредственно в вакуум или в наполненное газом пространство, то коэффициент фотоэлектрического действия значительно возрастает. В новых фотоэлементах электроны вырываются непосредственно в промежуточном слое, состоящем из уни-

\* При поверхности фотоэлемента около  $20 \text{ см}^2$ .

\*\* Заключение, оказавшееся преждевременным, так как со времени выхода настоящей статьи появились щелочные фотоэлементы с чувствительностью в сотни раз большей, нежели указанная в табл. 1. *Прим. пер.*

\*\*\* Ср. доклады В. Шоттки и Б. Ланге в Кенигсберге. *Phys. Zeitschr.* 31, 964—970 1930.

полярного полупроводника  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Этот слой находится в контакте с двумя расположенными в виде конденсатора электродами. Благодаря меньшей контактной разности потенциалов на границе металл-полупроводник, чем на границе металл-вакуум, повышается коэффициент действия. На рис. 9 дана схема такого устройства, в то время как рис. 10 дает внешний вид фотоэлемента с поверхностью в  $3 \text{ см}^2$ .  $E_1$  — тонкий полупрозрачный электрод, на который падает свет;  $u$  — полупроводящий слой из  $\text{Cu}_2\text{O}$  и  $E_2$  — второй медный электрод, непосредственно на котором получают закись меди. Характерным для этих фотоэлементов (купроксидов) \* является наличие заградительного униполярно проводящего

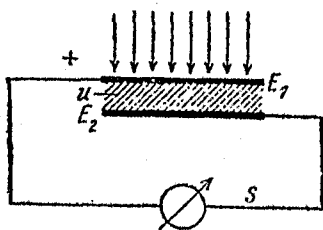


Рис. 9. Схема купроксидного фотоэлемента.

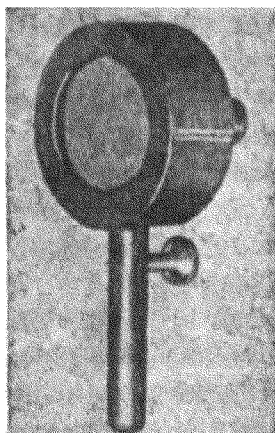


Рис. 10. „Купроксид“ по Ланге.

слоя с большим контактным сопротивлением, находящегося в изображенном на рис. 9 фотоэлементе между  $u$  и  $E_2$ . Освобождающиеся в закиси вблизи этого слоя фотоэлектроны проходят сквозь заградительный слой к медному электроду  $E_2$  и идут во внешней цепи тока от  $E_2$  к  $E_1$ . Чтобы падающий свет достигал пограничного слоя, целесообразно делать электрод  $E_1$  и полупроводник  $u$  возможно тоньше и прозрачнее. Кроме того при тонком слое мало сопротивление пути электронов, так что внешний коэффи-

\* Нами здесь употребляется термин „купроксид“, насколько нам известно, находящийся все более и более широкое распространение среди физиков нашего Союза. *Прим. пер.*

циент действия (эффективность) возрастает. В виду высокой эффективности этих фотоэлементов наложение вспомогательного напряжения не необходимо, но небольшое наложенное напряжение повышает фототок. Закисные фотоэлементы (купроксиды) делают возможным непосредственное превращение света в электрическую энергию, так как их максимальный фототок достигает уже  $10^{-4}$  А на люмен. Табл. 1 показывает увеличение фототока по сравнению с щелочными фотоэлементами в несколько тысяч раз. Как видно также из табл. 1, купроксидные фотоэлементы нового типа обладают большой чувствительностью к красным лучам и годятся, в виду далеко идущей пропорциональности между фототоком и интенсивностью света, для измерений в инфракрасной области. Из предельной инфракрасной длины волны вычислим по Эйнштейновскому квантовому условию  $N = \frac{a}{h\nu_0}$ , выход электрона и сравним с выходом в щелочных фотоэлементах.\* При этом обнаружим, что выход повысился только в десять раз, так как квантовые условия характеризуют только энергетический баланс отдельных элементарных процессов, но не дают измеряемого коэффициента полезного действия. Внешний коэффициент полезного действия значительно больше величины, даваемой квантовыми условиями, и зависит от еще неизвестных причин.

Занимаясь униполярной проводимостью кристаллов, автор еще в 1927 г. наблюдал появление электродвижущей силы при освещении кристалла. Например если на кристалле свинцового блеска, служащего детектором, осветить то место, где игла детектора касается поверхности кристалла, то возникает слабая электродвижущая сила, достигающая 20 mV. Для этого простого опыта пригоден также французский сернокислый свинец (гален), обладающий хорошими детектирующими свойствами. С помощью светофильтров легко доказать, что этот эффект чувствителен к красным лучам, в то время как коротковолновые излучения не оказывают почти никакого действия. Особенно интересен ход динами-

\*  $a$  — количество световой энергии,  $N$  — число вырванных электронов. Выход выражается в кулонах на калорию. *Прим. пер.*



ческой характеристики такого детектора под действием света и без него, показанный на рис. 11. В то время как у неосвещенного кристалла (кривая 1) выпрямленный ток возрастает с возрастанием переменного напряжения для освещенного кристалла, (кривая 2) указывает на в высшей степени странное изменение направления тока. Этот прежде непонятный эффект находит теперь простое объяснение в наличии фототока, направленного в сторону, противоположную выпрямленному току. При переменном напряжении меньшем 1,32 V перевешивает фототок, при 1,32 V оба тока компенсируют друг друга и при дальнейшем возрастании напряжения уже перевешивают выпрямленный ток, что и влечет за собой перемену направления результирующего тока. Из рис. 11 можно усмотреть весьма интересное свойство фототока. Если построить разности выпрямленного тока при освещении и без него, то получим пунктирную кривую с максимумом при 2,0 V. Так как эта кривая представляет фототок под действием пере-

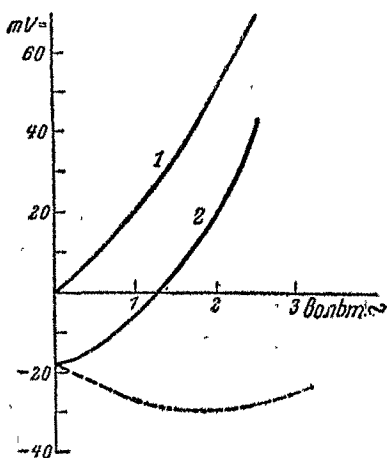


Рис. 11. Динамическая характеристика детектора с свинцовым блеском без освещения и с ним.

менного напряжения, то из нее следует, что фототок, усиливаясь при некотором наложенном напряжении, при дальнейшем повышении напряжения опять падает.

Дальнейшее развитие привело к вышеописанным фотоэлементам, которые отличаются от светодетекторов большей чувствительностью, полным постоянством свойств и использованием большей поверхности. Открытие здесь описанного нового фотоэффекта, собственно говоря, происходило постепенно. Еще в 1876 г., т. е. больше 50 лет тому назад, Адамс и Дэй сообщали о наблюдаемом ими возникновении самостоятельной электродвижущей силы в селеновых элементах особого вида. Из числа тысячи селеновых элементов был

найден один (Фриттом в Нью-Йорке), который при освещении давал электродвижущую силу без вспомогательной батареи. Вернер Сименс писал в Известиях Прусской Академии Наук (Sitzungsberichte der Preussischen Akademie) от 12 февраля 1885 г. на стр. 147: „мы здесь действительно имеем дело с явлением большой научной важности... Уже одно существование отдельных селеновых элементов с описанными свойствами есть факт, имеющий большое научное значение, так как здесь впервые происходит прямое превращение световой энергии в энергию электрическую“. В виду трудности их воспроизведения и в виду непостоянства их свойств эти элементы поридимому вскоре были преданы забвению. На основании новых работ<sup>8</sup> изменение сопротивления селеновых элементов вообще объясняется появлением внутренней электродвижущей силы (противоположно направленной) и поляризацией под действием света. Впервые уже значительно позднее в 1923 г. Гейгер<sup>9</sup> наблюдал появление электродвижущей силы при освещении кристалла свинцового блеска. Независимо от него Кобленц описал в 1922 г. подобное же явление у молибденита. При освещении только определенных ограниченных мест пластинок молибденита появляется напряжение. В обоих случаях однако заметно утомление, так что в течение немногих минут ток сильно меняется, и сила тока изменяется при новом освещении. Кроме того нет пропорциональности между интенсивностью падающего света и фототоком. Поэтому казалось, что этот эффект не имеет практического значения, и даже не были уверены в его фотоэлектрической природе.

Не зная ничего о приведенных здесь наблюдениях, автор в 1927 г. сделал вышеописанное открытие и пришел, возможно случайно, к устройству, в котором тот же или ему подобный эффект получается в достаточно применимой форме.

## ЧАСТЬ II

### ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТА ПРИ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Объективная фотометрия с помощью термоэлектрических или фотохимических методов дает при окрашенном излу-

чения значения для силы света, всегда отличные от получаемых визуально глазом. Фотоэффект во времена его открытия считали вообще неприменимым для целей общей фотометрии, так как казалось, что действуют исключительно ультрафиолетовые лучи. Даже после того как уже стало известным существование фотоэффекта для всего видимого спектра, медлили с применением его в фотометрических измерениях. Только в последние годы признали всеобщее значение фотоэлектрических методов. Это признание обусловлено частью улучшением методов, частью — изготовлением сине- и красночувствительных фотоэлементов. Так как упоминавшиеся уже „купроксиды“ работают без вспомогательного напряжения и их фототок можно измерять обычным гальванометром, то фотоэлектрические измерения с ними поразительно упрощаются. Поэтому их выгодно применять для различных фотометрических и колориметрических работ, а также и для определения цветных температур (пирометрически). Для определения почернения или поглощения света каким-либо раствором; достаточно только поместить поглощающую среду на пути света источника таким образом, чтобы освещенность фотоэлемента была соответственно ослаблена. Из отношения фототоков при поглощающей среде и без нее получим сразу пропускательность, так как и у щелочных фотоэлементов и новых купроксидных существует пропорциональность между фототоком и интенсивностью падающего света. При щелочных фотоэлементах надо конечно соблюдать особую осторожность в работе, чтобы исключить влияние утомляемости.

Фототок щелочного фотоэлемента, соответствующий освещенности в 1 люкс, легко может быть измерен гальванометром. Применение высоко чувствительных зеркальных гальванометров позволяет измерять фотоэлементами освещенности до  $10^{-2}$  люкса. Однако при измерениях со спектрально разложенным светом или для измерений с узкой щелью, — если не применять усилителей, о которых будет сказано ниже, — можно работать только с электрометрами. Несмотря на их простоту, это вызывает некоторые затруднения, конечно, в значительной степени устраненные произ-

веденными в последнее время улучшениями аппаратуры. Упомянутые трудности обусловлены высоким внутренним сопротивлением фотоэлементов, которое при освещении бывает порядка  $10^8$  до  $10^{12}$   $\Omega$ . Вследствие такого большого сопротивления элемента изоляция держателя фотоэлемента и проводников должна быть отличной. Прежде всего надо полностью, защитить электростатически фотоэлемент и проводники, идущие к нему иначе электростатические заряды на стенках могут повлиять мешающим образом.

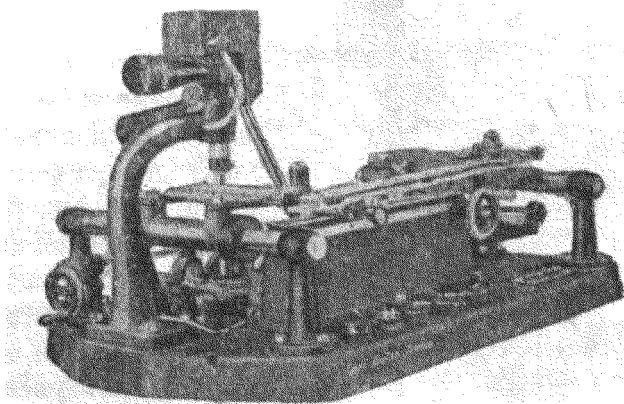


Рис. 12. Микрофотометр Цейса.

Особенно заботливо сконструированными элементами<sup>2</sup> с кварцевой изоляцией можно устранить эти затруднения. При электрометрическом методе измеряют падение напряжения на высокоомном сопротивлении, причем необходимо подчеркнуть, что величина этого сопротивления не должна превышать 1% от сопротивления фотоэлемента, иначе измеренное сопротивление не будет пропорционально освещенности. Изготовление нужных при этом высокоомных сопротивлений до сих пор затруднительно. По остроумной идее Коха<sup>3</sup> можно это высокоомное сопротивление заменить вторым фотоэлементом, освещенным таким же источником света, чем одновременно будут компенсироваться случайные колебания источников. На этом принципе основано устройство микрофотометра Коха.

Но на основании новых работ Перукка <sup>4</sup> удалось получить достаточно постоянные высокоомные сопротивления до  $10^{12}$   $\Omega$  катодным распылением, причем даже на янтаре. В микрофотометре Цейса <sup>5</sup> применено высокоомное сопротивление такого типа (по Кенигу). В этом фотометре промеряемая пластинка автоматически перемещается пе-

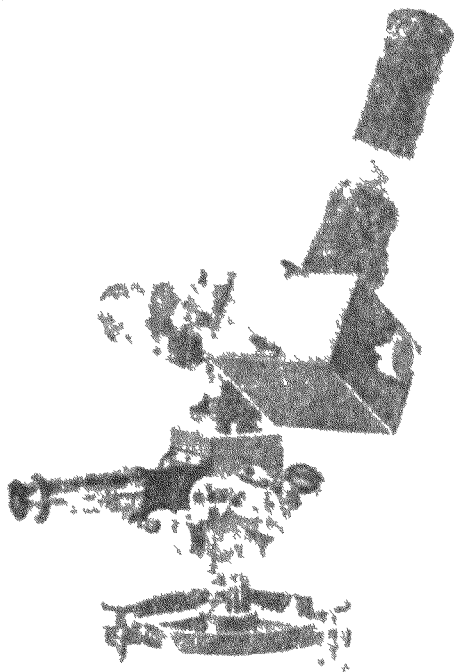


Рис. 13. Фотометр для астрономических измерений.

ред тонкой щелью таким образом, что проходящий сквозь нее световой луч попадает на фотоэлемент. Фотонапряжение электрометрически измеряется на высокоомном сопротивлении и отклонения нити электрометра фотографически регистрируются. Этим прецизионным инструментом можно промерить весь спектр в несколько минут и вместе с тем, включив увеличение 1:500, можно промерить распределение интенсивности в каждой отдельной спектральной линии.

Для измерения поверхностной яркости, в особен-

ности небесных светил, можно применять фотоэлектрический фотометр в его простейшей форме, состоящей из электрометра с пристроенным к нему фотоэлементом и с нужным лимбом. На рис. 13 показан такой фотометр по Эльстеру и Гейтелю в новой конструкции Дорно. \* Еще более чувствительным, чем описанный выше метод является определение фототока по времени зарядки электрометра. Так как при этом можно измерять фототоки  $10^{-15}$  А, то световая чувствительность превышает даже чувствительность глаза.

\* Построенный фирмой Günther und Tegetmeyer, Braunschweig

Важное применение нашли электрометрические методы в звездной фотометрии. В Нейбабельсбергской обсерватории Гутник измерял фотоэлектрически звезды восьмой величины, применяя квадрантный электрометр Линдемана. Так как точность этих инструментов почти не зависит от их положения, то их можно применять непосредственно подле телескопа. Описанные методы просты и уже в течение долгого промежутка времени появляются только конструктивные их усовершенствования. Только благодаря развитию катодных ламп, с помощью которых возможно усиление фототоков в миллионы раз, расширилась самым неожиданным образом область применения фотоэлементов.

Сначала, преобладали технические применения, но все же они были успешно применены также и в научной фотометрии. Розенберг<sup>6</sup> применял фотоэлемент с показанной на рис. 14 усилительной схемой, как звездный фотометр и при этом достиг большой степени точности. Преимуществом этого метода является возможность пользоваться обычным гальванометром вместо электрометра с его столь неудобной электростатической защитой. Несмотря на большое усиление не достигается однако значительного повышения абсолютной чувствительности, так как сильно мешают всякие колебания анодного тока и тока накала в особенности.

Схема включения фотоэлемента с усилителем дана на рис. 14, где цепь, обозначенная „компенсация“, служит для измерения. Уравнивая, токи с помощью изменяющегося сопротивления, легко удастся компенсировать текущий через гальванометр анодный ток. Ток в анодной цепи изменится, если изменится под влиянием фототока потенциал сетки; при этом нарушится компенсация, и гальванометр получит отклонение, которое может служить мерой освещенности. Усиление может быть весьма велико и в соответствующей

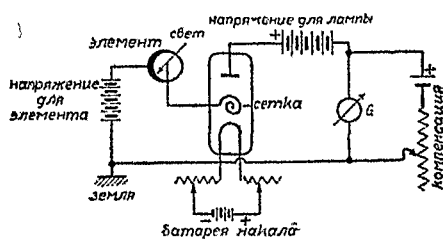


Рис. 14. Усилительная схема по Розенбергу.

схеме можно получить усиление фототока более, чем в 600 тыс. раз.

Разработанный в Остербергской обсерватории метод применялся для фотометрирования звезд. Приблизительную картину полученных здесь достижений можно себе представить на основании того факта, что свет Юпитера дает ток  $10^{-4}$  до  $10^{-5}$  А (после усилителя).

Некоторым усовершенствованием по сравнению с этой усилительной схемой является показанная на рис. 15 схема Кемпбелла в виде мостика.

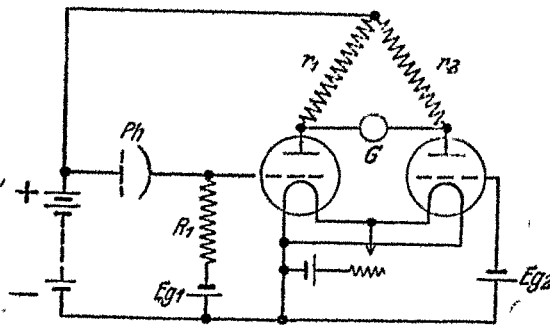


Рис. 15. Усилительная схема по Кемпбеллу.

и усиленный ток (в мостике) в широких пределах пропорциональны друг другу. Изменяя напряжения на сетках  $Eg_1$  и  $Eg_2$  или изменяя соотношение между сопротивлениями  $r_1$  и  $r_2$ , можно так установить мостик, что в отсутствии фототока гальванометр  $g$  будет стоять на нуле. При освещении фотоэлемента через гальванометр потечет ток, причем соответствующим подбором сеточных потенциалов можно добиться пропорциональности между отклонениями гальванометра и освещенностью. В обычных же усилительных схемах между ними не существует никакого простого соотношения. При этой же схеме можно получить некоторое увеличение точности, пользуясь нулевым методом, при котором восстанавливают равновесие в мостике, изменяя сеточное напряжение  $Eg_1$ , тогда фототок получается как отношение  $Eg_1$  к  $R_1$ .

Применение купроксидов вместо щелочных фотоэлементов для целей фотометрии имеет то преимущество, что они дают без дополнительных батарей и усиления, сравнительно большой фототок, который можно измерять просто гальванометром, так что измерительная схема отличается большой

простотой. Также благодаря низкому внутреннему сопротивлению этих фотоэлементов, лежащему между 100 и 1000  $\Omega$ , исчезают все уже упомянутые затруднения, связанные с изоляцией. Кроме того, купроксиды отличаются своей чувствительностью к инфракрасным лучам. Все же для измерения весьма малых количеств света более чувствительным является электрометр со щелочным фотоэлементом.

Применяемые кроме того для фотометрических измерений селеновые и таллофидовые элементы дают под действием света только изменение своего сопротивления и принятыми здесь обозначениями не могут быть названы фотоэлементами. Спектральная чувствительность селеновой клетки близка к цветоувствительности глаза. Однако это столь ценное качество ослабляется тремя недостатками: во-первых, как известно, уменьшение сопротивления не исчезает в точности одновременно с возбуждающим светом; во-вторых, селеновые элементы со временем меняют свое сопротивление, что происходит под действием внутренних причин; в-третьих, температура влияет на их светочувствительность.

Объективная фотометрия с помощью селеновых элементов хотя и возможна, но едва ли практически применима.

### Технические применения фотоэлементов

Применяя катодные лампы для усиления фототоков можно, как мы уже раньше указывали, достигнуть новых и совершенно неожиданных технических успехов, которые растут почти с каждым днем. Например в последнее время применяют фотоэлектрическое управление при прокатке раскаленного металла, при котором светящаяся масса действует в конце пути прокатки на фотоэлемент, чем автоматически изменяет ход стана. Впервые техническое применение фотоэлементы нашли в передаче изображений по телефону, разработанному еще с селеновыми элементами, но получившему действительно техническое значение только с переходом от селеновых элементов к настоящим фотоэлементам. В настоящее время работает уже много аппаратов для передачи изображений между Европой и Америкой.



Передатчик этого аппарата состоит из вращающегося цилиндра, служащего держателем для передаваемых изображений или кусков текста. Световой луч скользит спирально по вращающемуся изображению, так что интенсивность отраженного света соответствует яркости отдельной точки изображения и в фотоэлементе возникает соответствующий фототок. Усиленный фототок передается по проводам или без них приемнику и там превращается в соответствующее количество света, которое дает изображение на вращающемся с той же скоростью барабане с светочувствительной бумагой. Большое техническое значение имеет при этом замена постоянного фототока прерывистым с частотой до 1000 герцов, что гораздо удобнее для усиления. Несмотря на то, что изображение разбивается на отдельные элементы, благодаря большому числу точек — система Телефункен-Сименса работает с 40 точками на квадратный миллиметр — переделанное изображение с трудом отличается от оригинала. При передаче изображений так же, как и при телевидении и звуковом кино повышение фотоэлектрического действия фотоэлементов не только сберегает один усилительный каскад, но прежде всего дает улучшение качества, уменьшая искажение.

Применение фотоэлементов для звукового кино восходит к трем немецким изобретателям: Фохту, Массоле и Энглю, <sup>8</sup> которые еще 10 лет тому назад дали фотографическую запись звука и разработали Триергон-систему. Так как в Германии предъявляются очень высокие требования ко всякого рода музыкальным предложениям, то звуковая фильма не встретила ожидавшегося одобрения. В противоположность Германии, Америка пришла в восторг, и в Германии звуковое кино появилось уже по возвращении из Америки, где было предоставлено много денежных средств на создание звуковых фильм и на улучшение аппаратуры.

Для записи звука светом применяются только два способа, при которых амплитуде звука соответствует или ширина или интенсивность изображения некоторой щели на пленке. На рис. 16 и 17 показаны два куска фильм с такой записью звука. Рис. 16 по способу изменения интенсивности и рис. 17

по способу изменения амплитуды (ширины). Съемка может быть различной, а воспроизведение — одним и тем же с помощью фотоэлемента, дающего переменный фототок амплитуды и частоты, соответствующих пропускаемости записи звука. Если отвлечься от сложных усилительных устройств, то в звуковых фильмах так же, как в передаче изображения и в телевидении, действует по сути дела простое превращение света в соответствующие фототоки. В звуковом кино эти фототоки превращаются в акустические колебания. В передаче и в телевидении они превращаются опять в свет.

При этом в качестве безынерционного светового реле стали употреблять керр-ячейки, а при малых мощностях — лампы

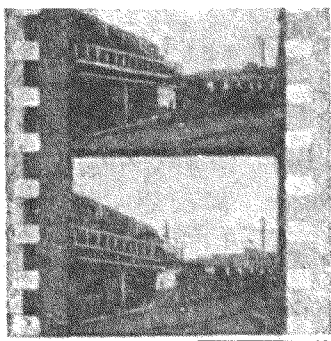


Рис. 16. Запись звука изменением интенсивности.



Рис. 17. Запись звука изменением амплитуды.

тлеющего разряда. Действие передатчика в телевидении полностью соответствует в этом отношении действию передатчика при передаче изображений. Здесь так же скольжение по точкам картины, которая длится в течение небольшой доли секунды.

Приемник дает отдельные световые элементы последовательно во времени, но опять-таки с такой скоростью, что получается впечатление всей картины в целом.

Интересное научное применение принципов телевидения дал Довийе. Как известно, при рентгеновском просвечивании мешают вторичные лучи, вуалирующие картину. Довийе отказался от применения одного только конуса лучей с получением всех точек картины просвечивания одновременно и работает с узкими пучками, которые так

же, как в телевидении при помощи диска Нипкова со спирально расположенными отверстиями скользят по просвечиваемому телу. Чтобы обойти недостатки, возникающие при прямом рассматривании экрана, Довийе заменяет экран фотоэлементом. При этом получающийся фототок усиливается так, что он может управлять лампой тлеющего разряда в такт падающим световым импульсам. Рассматривание этой лампы сквозь синхронно-вращающийся диск Нипкова дает всю картину просвечивания сразу. В показанном на рис. 18 аппарате и для анализа и для синтеза

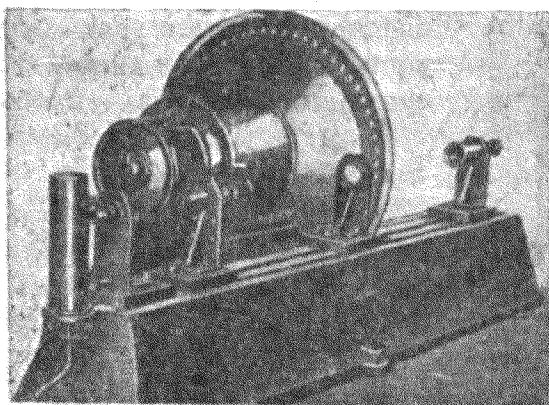


Рис. 18. Установка рентгенотелевидения Довийе.

картины применен общий диск Нипкова. Благодаря высокой чувствительности фотоэлемента применявшаяся обычно интенсивность просвечивающего излучения может быть понижена в тысячу раз; поэтому облучение практически можно производить сколь угодно долго, не боясь причинить

вред пациенту. Этим способом можно при малой интенсивности лучей получить яркую картину и заснять ее на пленку, что естественно дает возможность получения не только крайне кратких моментальных снимков, но и непосредственно настоящего кинофильма.

Совершенно отличной от всех вышеописанных областей применения фотоэлемента является область получения электрических колебаний от них. Схема такого устройства дана Розингом<sup>10</sup> и применена им в читающей машине для слепых. Если включить последовательно батарею, фотоэлемент и высокоомное сопротивление с параллельной емкостью, то возникнут, как при лампе тлеющего разряда, колебания, которые при освещении фотоэлемента или со-

всем прерываются или меняют свой тон соответственно силе освещения (вследствие изменения внутреннего сопротивления фотоэлементов). Свободные колебания возникают, если омическое сопротивление фотоэлектрической цепи значительно больше индуктивного. Розинг, как сказано выше, применил этот эффект в конструкции читающей машины для слепых. Отдельные буквы с помощью простого приспособления и указанной схемы дают различные акустические сигналы в зависимости от своей величины и яркости, похожие на азбуку Морзе, таким образом оптическая картина шрифта изображается акустически.

Конечно совершенно невероятно, чтобы указанными здесь фактами исчерпывались все взаимоотношения между светом и электричеством. С уточнением методики будут открыты новые явления, часть из которых может быть предвидена уже сейчас при современной состоянии наших знаний, но пока-что не может быть наблюдаена. И вероятно в последующем году эта связь между светом и электричеством действительно приобретет огромный интерес. Разнообразие практических применений фотоэлементов поразительно велико и растет с каждым днем. Но все же еще поразительнее то, что мы не можем до сих пор энергию солнечного света, электромагнитная природа которого известна уже несколько десятков лет и напряжение поля которого равно вольту на сантиметр, — превратить в полезную электрическую энергию. Небольшой подсчет фототоков, даваемых купроксидами, показывает, что пока мы едва ли имеем возможность применить этот эффект для рационального превращения световой энергии в электрическую. Так как купроксид при световом потоке в 1 люмен на квадратный сантиметр поверхности дает фототок  $10^{-4}$  до  $10^{-5}$  А и так как максимальное солнечное излучение равно 10 люменам на единицу поверхности, то электрическая мощность достигает всего лишь 1 W при освещенной поверхности в  $1 \text{ км}^2$ . Правда, повышение фотоэффекта в 10 — 100 раз привело бы уже к практически применимым значениям энергии. Первым приближением к практическому использованию описанного автором нового фотоэффекта является работа, сделанная в

исследовательской лаборатории Сименса. Как показано на рис. 19 фототок от купроксида  $49 \text{ см}^2$  поверхностью, освещенного солнцем, вращает очень маленький мотор.

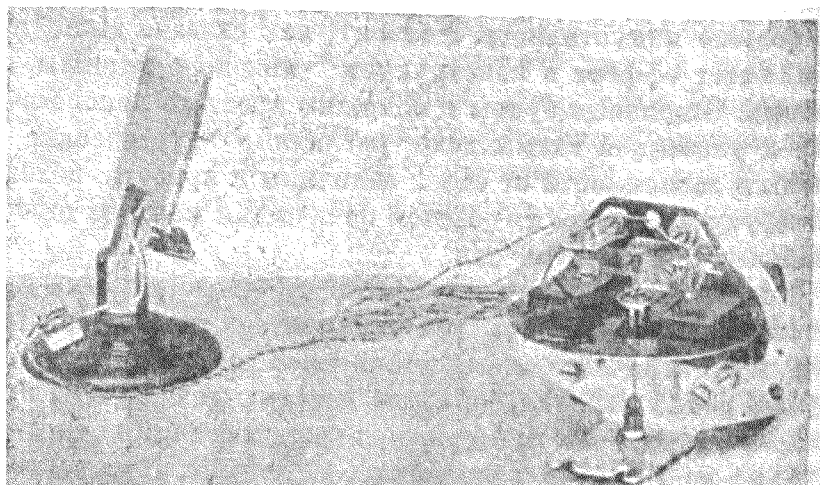


Рис. 19. Фотоэлемент при освещении солнечным светом приводит в движение соединенный с ним маленький электромотор.

Примечание к корректуре. Со времени написания настоящей статьи (июль 1930 г.) удалось получить фотоэлементы (купроксиды) нового типа с фототоком, в 10—100 раз превышающим прежние. По этому поводу вскоре появилось предварительное сообщение (Ланге).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. W. Hallwachs, Wied. Ann. 53, 301, 1888; 54, 731, 1888.
2. I. Elster u. Geitel, Wied. Ann. 43, 225, 1891.
3. L. Marton u. E. Rostas, Z. Techn. Phys. 9, 32, 1928.
4. M. Pirani u. E. Lax, Z. techn. Phys. 3, 232, 1922.
5. P. Selenyj, Physik. Z. 30, 933, 1929.
6. R. Suhrmann, Z. wiss. Photogr. 29, 156, 1930.
7. B. Lange, Physik. Z. 31, 139, 1930.
8. D. Reichinstein, Naturwiss. 18, 685, 1930.
9. P. H. Geiger, Physic. Rev. 2, 461, 1923.
10. W. W. Coblentz, Sci. Pap. Bureau Stand 446, 16, 1922.

1. E. Steinke, Z. Physik 11, 215, 1922.
  2. R. Suhrmann, Z. wiss. Photogr. 29, 156, 1930.
  3. P. P. Koch, Ann. Physique IV, 39, 705, 1912.
  4. E. Perucca, Ann. Physique V, 4, 252, 1930.
  5. G. Hansen, Ann. Physique IV, 78, 558, 1925.
  6. H. Rosenberg, Naturwiss. 9, 359, 389, 1921.
  7. N. R. Campbell u. D. Ritchie, Photoelectric cells. S. 141, London, 1929.
  8. I. Engl, Der tönende Film. Sammlung Vieweg. Braunschweig, 1927.
  9. F. Schroter, Elektrische Nachrichten-Techn. 6, 439, 1929.
  10. B. L. Rosing, Z. Tech. Phys. 11, 177, 1930.
-