

Е. АНГЕРЕР • ЛАБОРАТОРНАЯ ТЕХНИКА

Е. АНГЕРЕР

# ЛАБОРАТОРНАЯ ТЕХНИКА

---

1 9 3 4

ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

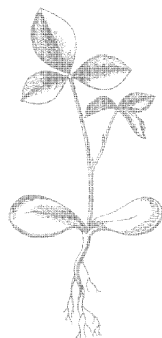
Е. АНГЕРЕР

# ЛАБОРАТОРНАЯ ТЕХНИКА

ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО Е. М. БРУМВЕРГА  
ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФ. К. П. ЯКОВЛЕВА



ОНТИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1934 ЛЕНИНГРАД



Scan AAW

# TECHNIK DES EXPERIMENTS

VON

Dr. ERNST von ANGERER

## HANDBUCH DER EXPERIMENTALPHYSIK

Herausgegeben

VON

W. WIEN und F. HERIUS

BAND I

Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H.  
Leipzig 1926

## ОТ РЕДАКТОРА

В современной экспериментальной работе лабораторная техника играет исключительно важную роль. Во всех случаях, когда приходится прибегать к точным измерениям, необходимо бывает обеспечить вполне отчетливую, надежную и бесперебойную работу аппаратуры, обыкновенно очень сложной; это неизбежно требует от самого экспериментатора основательного знакомства с современной лабораторной техникой и умения применить на практике сложные и иногда запутанные указания и рецепты, которые можно почерпнуть отчасти из текущей научной литературы, а главным образом из различных руководств и справочников по экспериментальной технике и ее отдельным отраслям: механическим ремеслам, стеклодувному делу, фотографическому искусству и т. д. Часто эти справочники представляют собой лишь механическую сводку различных рецептов и практических указаний, без критического их анализа, вследствие чего обыкновенно бывает трудно выбрать из большого числа рецептов и указаний те, которые оказались бы всего более подходящими для данного частного случая; это неизбежно ведет к неудачам, повторным предварительным опытам и сопровождается непроизводительной потерей времени.

Руководство проф. Э. Ангера «Technik des Experiments», помещенное в первом томе обширного коллективного труда «Handbuch der Experimentalphysik», можно считать свободным от упреков в последнем отношении. При очень небольшом объеме монография проф. Ангера содержит очень богатый, вполне современный материал и дает большое количество рецептов и практических указаний, к которым автор всегда старается подойти критически, оценивая степень их пригодности в различных случаях и указывая причины возможных неудач. Эти указания особенно ценны потому, что проф. Ангер очень много работал практически, специально в области точного и тонкого эксперимента и в этих вопросах является крупнейшим авторитетом. Перевод его труда выполнен без переделок, возможно ближе к немецкому оригиналу и только в двух от-



ношениях сделаны некоторые отступления. Во-первых, чрезвычайная сжатость языка автора, часто переходящая в лаконичность, трудно передаваемую на русском языке, требовала в отдельных местах книги некоторых изменений и стилистической обработки. Во-вторых, в немецком оригинале часто указываются адреса немецких фирм, изготовляющих тот или иной продукт, и даже приводится его продажная цена. Эти подробности в русском переводе опущены.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	7
<b>ПЕРВАЯ ГЛАВА. Материалы, имеющие значение в практике физических лабораторий . . . . .</b>	<b>9</b>
1. Вольфрам . . . . .	—
2. Молибден . . . . .	11
3. Никелевая сталь . . . . .	—
4. Легкие металлы . . . . .	12
5. Ртуть . . . . .	—
6. Легкоплавкие сплавы . . . . .	15
7. Щелочные металлы . . . . .	—
8. Сорта стеколот . . . . .	19
9. Кварц . . . . .	20
10. Абсолютный спирт . . . . .	21
<b>ВТОРАЯ ГЛАВА. Паяние, сварка, применение замазок . . . . .</b>	<b>22</b>
1. Мягкий припой . . . . .	—
2. Твердый припой . . . . .	25
3. Пайка очень мелких предметов . . . . .	26
4. Сварка . . . . .	27
5. Плавкие замазки: смолы, размягчающиеся при нагревании . . . . .	28
6. Клеющие вещества . . . . .	31
7. Неплавкие замазки . . . . .	32
<b>ТРЕТЬЯ ГЛАВА. Обработка стекла . . . . .</b>	<b>34</b>
1. Стеклодувные работы . . . . .	—
2. Шлифовка, резка и травление стекла . . . . .	41
<b>ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА. Серебрение стекла, способы получения тонких металлических оболочек . . . . .</b>	<b>44</b>
1. Химические методы серебрения, золочения, омеднения стекла, кварца, кристаллов . . . . .	—
2. Метод вжигания для покрытия стекла платиной, золотом, серебром и придием . . . . .	55
3. Катодное распыление . . . . .	56
4. Возгонка . . . . .	58
<b>ПЯТАЯ ГЛАВА. Вакуумтехника . . . . .</b>	<b>59</b>
1. Вакуумная проводка . . . . .	—
2. Изготовление накаливаемых катодов . . . . .	64
3. Откачка . . . . .	67
4. Нахождение течи . . . . .	70
5. Наполнение разрядов трубок . . . . .	71
6. Отпайка откачанных трубок . . . . .	76

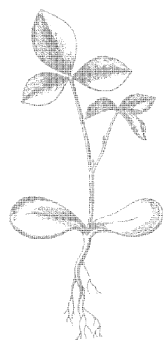
<b>ШЕСТАЯ ГЛАВА. Тонкие пленки, тонкие проволоки и кварцевые нити</b>	<b>77</b>
1. Металлические пленки	—
2. Применение фольги. Листочки электрометра	79
3. Пленки из органических веществ	82
4. Тонкие проволоки	83
5. Кварцевые нити	85
<b>СЕДЬМАЯ ГЛАВА. Изоляторы и высокоомные сопротивления</b>	<b>89</b>
1. Изоляторы	—
2. Сопротивление в $10^6$ — $10^{12}$	92
<b>ВОСЬМАЯ ГЛАВА. Термоэлементы</b>	<b>97</b>
1. Термоэлементы для измерения температуры	98
2. Термоэлементы для измерения лучистой энергии	101
3. Термоэлементы для высокой частоты	105
4. Другие методы электрического измерения температур	107
<b>ДЕВЯТАЯ ГЛАВА. Фотографирование</b>	<b>105</b>
1. Пластины	109
2. Сенситизация пластинок	112
3. Съемка	117
4. Негативный процесс	119
5. Пигментные диапозитивы	—
6. Удаление слоя	127
7. Рисовка по фотоснимку	—
<b>ДЕСЯТАЯ ГЛАВА. Лабораторные электрические печи</b>	<b>128</b>
1. Материалы для печей	—
2. Некоторые типы лабораторных печей	130
<b>ОДИННАДЦАТАЯ ГЛАВА. Коллоидальные растворы</b>	<b>133</b>
<b>ДВЕНАДЦАТАЯ ГЛАВА. Гальваническое осаждение металла</b>	<b>138</b>
<b>ТРИНАДЦАТАЯ ГЛАВА. Различные приемы</b>	<b>141</b>
Список литературы	144
Указатель	150

## ВВЕДЕНИЕ

Физик-экспериментатор нередко бывает вынужден выполнять работы, входящие в область ремесленника: механика, стеклодува, столяра, фотографа. Он берется за эти работы иногда для того, чтобы избежать задержки в своих исследованиях, вызываемой исполнением заказа, иногда для того, чтобы самому в процессе изготовления найти лучшую конструкцию или же наконец надеясь превзойти искусство мастера. Для этого ему необходимо приобрести некоторый навык в обработке дерева, металла, картона и стекла, в фотографической технике и т. д.

Превосходный небольшой учебник, посвященный этим ремеслам, представляет собой книжка А. Венельта «Ремесленный практикум физика». В дальнейшем предполагается у читателя некоторое знакомство с этим предметом, подробное изложение которого выходит из рамок предлагаемой книги.

Однако для современных экспериментальных работ зачастую оказывается недостаточным искусство мастера и приходится прибегать к особым приемам, которые частью накопились в институтах благодаря их долголетней практике, частью содержатся в виде многочисленных замечаний в новейшей литературе. Эти приемы с возможной полнотой излагаются ниже.



Scan AAW

## ПЕРВАЯ ГЛАВА

### МАТЕРИАЛЫ, ИМЕЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЕ В ПРАКТИКЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

#### 1. Вольфрам

Вольфрам приобрел большое значение в лабораторной технике после того, как Кулидж [1] выработал метод получения этого, чрезвычайно трудно поддающегося обработке металла, как в виде массивных слитков, так и в виде тонких нитей\*. Новейшие материалы по исследованию вольфрама исчерпывающе изложены в появившейся недавно монографии Альтертума [2], из которой главным образом и заимствованы ниже следующие данные.

Удельный вес чистого вольфрама равняется 19,35, его твердость изменяется от 4,5 до 8 (твердость кварца = 7). Ввиду этого вольфрам, как правило, не поддается обработке при помощи напильника или шилы, а обрабатывается исключительно посредством шлифовки. Благодаря значительной твердости и устойчивости против химических воздействий вольфрам употребляется для изготовления нормальных разновесок. Его сжимаемость (при 20°) равняется  $0,28 \cdot 10^{-6}$  на мегабар (медь —  $0,76 \cdot 10^{-6}$ , следовательно сжимаемость вольфрама в 2,7 раза больше). Модуль упругости равен 40 000 кг/мм<sup>2</sup>; больший модуль упругости имеет только иридий (52 900). Вольфрам может применяться в качестве немагнитного материала при изго-

---

\* Благодаря любезному сообщению д-ра В. Рона (фирма Гереус) автор располагает следующими данными: вольфрамовая кислота, просеянная через частое сито, восстанавливается в струе водорода при 900°, образуя металлический вольфрам в виде светлосерого порошка; последний вновь отсеивается через частое сито и прессуется в стальных закаленных формах под давлением около 1 500 кг/см<sup>2</sup> в виде палочек или пластинок, которые затем спекаются в струе водорода при температуре 1 200—1 400°, причем они становятся менее хрупкими. Эти заготовки затем в течение одного часа держатся при 1 950—2 000° в атмосфере возможно чистого водорода, вновь спекаются, после чего их можно ковать и вальцовать при 1 600°.

товлении часовых волосков. Модуль кручения составляет  $17\,100 \text{ кг/мм}^2$ . Оба модуля лишь незначительно изменяются при повышении температуры до  $800^\circ$ . Прочность на разрыв равна  $400 \text{ кг/мм}^2$ . Следовательно, проволока диаметром в  $10 \text{ м}$  разрывается только при нагрузке около  $30 \text{ г}$ .

В настоящее время разработан метод, позволяющий посредством местного разогревания так ориентировать частички вольфрамовой нити, что получается проволочка длиной в несколько дециметров, состоящая из одного целого кристалла. Такие проволоки свободны от упругого последствия и строго подчиняются закону Гука. При диаметре нити, превышающем несколько сотых миллиметра, этот способ оказывается уже непригодным и приходится добавлять от 1 до 2% окиси тория. При помощи протягивания получают вольфрамовую проволоку диаметром до  $5 \text{ м}$  [4]. По Замтеру и Шртеру [5] можно диаметр проволоки уменьшить с  $15 \text{ м}$  и до  $7 \text{ м}$  посредством травления в течение  $\frac{3}{4}$  минуты в расплавленной смеси азотистокислого и азотнокислого натрия при  $340^\circ$ .

Важнейшие применения вольфрама находит в качестве тугоплавкого материала, обладающего наивысшей точкой плавления по сравнению со всеми другими металлами. По лучшим измерениям температура плавления вольфрама равняется  $3\,668^\circ \text{ абс. шк.}$  ( $3\,395^\circ \text{ C}$ )  $\pm 20^\circ$ . Таблица давления паров при температурах от  $2\,000$  до  $5\,110^\circ$  (по данным Лангмюра) приведена в указанной выше книге Альтертума. Коэффициент термического расширения при комнатной температуре равен  $4,3\text{—}4,6 \cdot 10^{-6}$ . В пределах от  $300^\circ$  до  $2\,700^\circ \text{ абс. шк.}$  длина  $L$  вольфрамового стержня определяется формулой:

$$L = L_0[1 + 4,44 \cdot 10^{-6} (T - 300) + 4,5 \cdot 10^{-11} (T - 300)^2].$$

Теплопроводность вольфрама равняется  $9,4 \text{ кал/см} \cdot \text{град}$ , следовательно несколько большая, чем у меди. Вследствие своей твердости, ничтожного давления паров (и низкой цены) вольфрам имеет преимущество перед платиной при изготовлении контактов в прерывателях. Удельная теплота вольфрама равняется  $0,035 \text{ кал/град}$ .

Электрическое сопротивление проволоки в  $1 \text{ м}$  длины сечением в  $1 \text{ мм}^2$  равняется (в зависимости от обработки)  $0,05\text{—}0,06 \text{ }\Omega$ ; температурный коэффициент сопротивления между  $0$  и  $23^\circ$  составляет  $4,8$  тысячных, следовательно выше, чем у платины, на  $30\%$ . При нагревании от комнатной температуры до  $1\,000^\circ$  ( $2\,000^\circ$ ) сопротивление вольфрамовой проволоки возрастает в  $6,0$  ( $12,7$ ) раз.

При комнатной температуре на вольфрам заметно действует лишь фтор. При  $900^{\circ}$  в атмосфере, содержащей кислород, на поверхности вольфрама образуется желтая окись, немедленно испаряющаяся. Молекулы водорода при соприкосновении с накалившимся вольфрамом диссоциируют, распадаясь на атомы. Накаленная в вакууме вольфрамовая проволочка быстро разрушается в присутствии следов водяного пара, причем происходит следующая реакция [6]: сначала водяные пары, взаимодействуя с накалившимся металлом, дают водород ( $H_2$ ) и упомянутую выше летучую окись ( $W_2O_5$ ); затем последняя осаждается на стенках сосуда, молекулы  $H_2$  диссоциируют, и водород восстанавливает окись вольфрама, в результате вновь образуется  $H_2O$ , и процесс начинается сначала.

Электролитическое осаждение вольфрама на железе получено было Маном и Гальворсенем [7], а также ван-Лимштом [8], которые пользовались для этого хлористым литием в качестве электролита и анодом из вольфрама (см. гл. XII). Вольфрам практически не удается покрыть амальгамой или полудой (благодаря чему исключается пайка мягким припоем). Пайка твердым припоем удается при помощи нейзильбера и буры в качестве флюса.

Сплавы вольфрама отличаются от других сплавов значительной твердостью, которую они сохраняют почти до светлого каления.

## 2. Молибден

Молибден имеет те же физические свойства, что и вольфрам, к которому он близок и химически. Молибден несколько мягче вольфрама и допускает обработку молотком. Он медленно окисляется при комнатной температуре и быстро — при нагревании выше  $600^{\circ}$ . Точка плавления молибдена [9] лежит при  $622 \pm 10^{\circ} C$ . Температурный коэффициент расширения равен  $4,9 \cdot 10^{-6}$ . По измерениям Американского бюро стандартов расширение молибдена между  $39$  и  $305^{\circ}$  отвечает формуле

$$L = L_0(1 - 5,01 \cdot 10^{-6} \cdot t - 0,00138 \cdot 10^{-6} \cdot t^2).$$

## 3. Никелевая сталь

Сплавы железо-никель-углерод отличаются некоторыми особыми свойствами, зависящими от состава, которые являются весьма ценными. Особенно знаменита 35,6%-ная никелевая сталь «Инвар», исследованная Гильомом; ее коэффициент температурного расширения составляет всего лишь  $1,2 \cdot 10^{-6}$ . Не-



давно Гильом указал, что при соответствующей механической и термической обработке удается получить сплав с коэффициентом расширения, практически равным нулю.

Добавляя к сплаву «Инвар» 12% Сг, Гильом получил сплав с температурным коэффициентом модуля упругости, равным нулю [10].

Хромоникелевая сталь Крушпа V<sub>2</sub>A обладает столь высокой устойчивостью против химических воздействий, что во многих случаях может заменять платину. Однако она окисляется довольно быстро при нагревании в пламени. Сплав из ферромагнитных металлов железа (27%) и никеля (73%) называется немагнитным.

#### 4. Легкие металлы

Превосходными качествами обладает «электрометалл»,—сплав, содержащий около 90% магния, 10% цинка и некоторое количество алюминия и марганца. Его физические постоянные таковы: удельный вес: 1,83 (1,84); электропроводность: проволока в 1 м длиной и 1 мм<sup>2</sup> сечения имеет сопротивление 0,059 (0,077) ом; температурный коэффициент: 0,38% на градус; теплопроводность: 0,32; прочность на растяжение (для провальцованной полосы): 30(32–39) кг/мм<sup>2</sup>; удельная теплота: 0,24 (0,24); коэффициент термического расширения: 0,000027; точка плавления 635° (630°). Первые числа относятся к сплаву Z, особенно хорошо поддающемуся механической обработке; вторые, заключенные в скобки, к сплаву «AZM», отличающемуся значительной твердостью. Третий сплав, CM, применяется главным образом для изготовления электропроводов.

На воздухе электрометалл покрывается защитной оболочкой окиси. Он очень чувствителен к действию кислот (даже слабых), но может быть защищен при помощи специального лака. Пайке не поддается.

#### 5. Ртуть

Свойства и применения ртути достаточно всем известны. Наиболее вероятное значение удельного веса при 0° по новей-

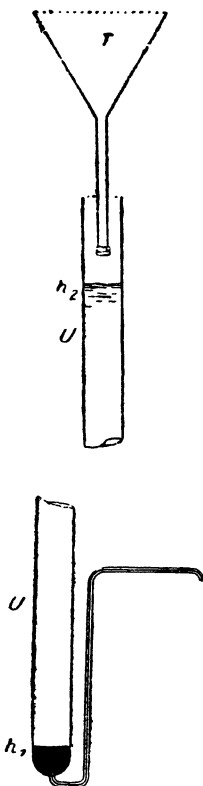


Рис. 1. Очистка ртути.

шим определениям Шеля и Вланкенштейна [11] равно 13,59546. Таблицу давления ртутных паров (его логарифмы) как функцию температуры можно найти, например, в книге Кнудсена [12]. В нижеследующей табличке приводятся некоторые из этих данных, необходимые при вакуумных работах:

Температура . .	+ 20°	+ 10°	0°	— 10°
Давление . . . .	$1,19 \cdot 10^{-3}$	$4,85 \cdot 10^{-4}$	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$6,52 \cdot 10^{-5}$
Температура . .	— 20°	— 80°	— 190°	—
Давление . . . .	$2,12 \cdot 10^{-5}$	$10^{-7*}$	$10^{-27*}$	мм Hg—

Употребляемая в лабораториях ртуть часто содержит следы растворенных металлов. Их можно удалить из ртути, так как они а) отчасти окисляются легче ртути и б) отчасти менее летучи, чем ртуть.

а) Окисление воздухом. Сквозь ртуть продувается воздух при помощи стеклянной трубки, погруженной до дна сосуда. По прошествии нескольких часов металлы, растворенные в ртути, окисляются и при фильтрации остаются на фильтре в виде серого осадка.

Окисление посредством азотной кислоты. Прибор изображен на рис. 1. Горлышко воронки *T* длиной около 20 см, несколько развернутое на конце, затянато куском замши. Трубка *U* (длина 1—1½ м, диаметр 3—4 см) заполняется до уровня  $h_1$  чистой ртутью и 10%-ной азотной кислотой до уровня  $h_2$ . Для очистки ртуть наливают в воронку *T*, откуда она, проникая через поры замши, падает в виде мелкого дождя и проходит через столб азотной кислоты.

б) Более действительная очистка ртути достигается при помощи ее дистилляции в вакууме [13]. Однако сильно загрязненная ртуть должна быть предварительно обработана одним из способов, указанных в пункте «а». Дистилляцию рекомендуется производить в высоком вакууме и при возможно более низкой температуре (например, Гедде сконструировал аппарат, в котором ртуть перегоняется при комнатной температуре и затем конденсируется на стенках, охлаждаемых твердой углекислотой). На рис. 2 изображен аппарат, который испытывался в течение нескольких лет; его можно изготовить самостоятельно в лаборатории. Ртуть разогревается в трубке *R* и ее пары, проходя через широкий соединительный отросток, конденсируются на стенках холодильника *K*. Нагреватель *R* имеет обмотку из тонкой константановой проволоки, которую можно включать

\* Экстраполировано из указанной формулы.

непосредственно в осветительную сеть, и оббивается для термической изоляции асбестовым шнуром. Трубки  $s$  и  $f$  — капилляры с внутренним диаметром около 2 мм. Для приведения

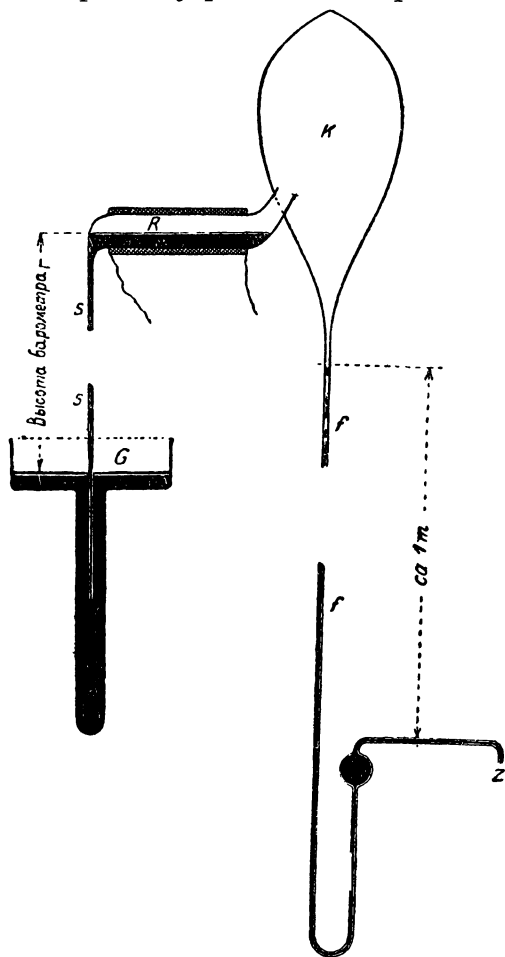


Рис. 2. Аппарат для дистилляции ртути.

аппарата в действие в первый раз ртуть заливают в  $G$  и присоединяют к отверстию  $Z$  вакуумный насос (например, вращающийся насос). При откачке ртуть подымается в  $R$ , перегоняется при включении нагревателя и заполняет капилляр  $f$  и шар, раздутый на трубке  $Z$ , после чего нанос следует удалить. Ртуть, стекающая каплями по стенкам холодильника  $K$ , увлекает (по принципу Шпренгеля) малыми порциями воздух в узкую трубку  $f$  и создает таким образом весьма высокий вакуум. Аппарат стоит готовый, наполненный ртутью и эвакуированный, приводится в действие одним включением тока в нагреватель и работает часами, совершенно не требуя никакого ухода.

По Егеру [14]

ртуть можно очистить также посредством электролиза.

В качестве электролита применяется подкисленный раствор азотнокислой закиси ртути. Анодом служит ртуть, подлежащая очистке, которая наливается в широкий сосуд, катодом — кусок листовой платины, помещенный в ванночке меньших раз-

меров, установленной в том же сосуде. Сила тока: 10 мА на см<sup>2</sup>. Этот способ, повидимому, не так распространен, как очистка посредством дистилляции.

Как известно, ртутные пары очень вредны для здоровья и соли ее являются сильнейшими ядами.

## 6. Легкоплавкие сплавы

Сплав Розе: 2 весовые части висмута, 1 свинца, 1 олова. Точка плавления: 94°. Наиболее низкой точкой плавления в 65,5° обладает сплав, определяемый формулой  $Cd_4 Pb_5 Bi_5 Sn_5$ , состоящей из 4,5 весовых частей кадмия, 10,3 свинца, 10,4 висмута и 6,0 олова [15] (сплав Вуда).

## 7. Щелочные металлы

Наиболее тяжелые щелочные металлы окисляются так энергично, что на воздухе они самопроизвольно воспламеняются. Ввиду этого их изготовление, очистка и употребление требуют специальной техники. Перечисленные в таблице металлы расположены в порядке возрастающей окисляемости, возрастающего удельного веса  $d$  и убывающей точки плавления  $t$ . В последнем столбце указаны длины волн в ед. Å, при которых находится максимум селективного фотоэффекта [16].

	$d$	$t$	$\lambda$
Литий . . . . .	0,53	186	2 800
Натрий . . . . .	0,97	97,5	3 180
Калий . . . . .	0,86	63	4 360
Рубидий . . . . .	1,52	39	4 800
Цезий . . . . .	1,88	27	5 100

Щелочные металлы сохраняются в стеклянной посуде под слоем керосина, литий и натрий — в слитках, калий — в шариках размером с вишню.

а) Литий по твердости примерно соответствует свинцу. Кусок металла до полного окисления сохраняется на воздухе в течение нескольких часов. Поверхность свежего среза лития на воздухе тускнеет сейчас же. Напротив, при температуре плавления (сравнительно высокой) он очень активен: при плавлении, разогреваясь, разрушает стеклянные и кварцевые сосуды, соединяясь с углем, воспламеняется и образует карбид, сплавляясь также с платиной. Однако в железном тигле его можно расплавить и (в вакууме) разогреть докрасна. В высоком вакууме он образует на чистой стеклянной поверхности прекрасное, прозрачное индигово-синее зеркало.

б) Натрий и калий. Простейший способ очистки: кусочки металла быстро промывают в двух порциях бензола или бензина или ксилола, для того чтобы несколько удалить приставший к нему керосин, затем быстро удаляют на фильтровальной бумаге при помощи ножа слой поверхностной окиси и бросают металл в тонкостенную трубку, изображенную на рис. 3, имеющую по крайней мере 20 см длины. Трубка сейчас



Рис. 3. Очистка щелочных металлов.

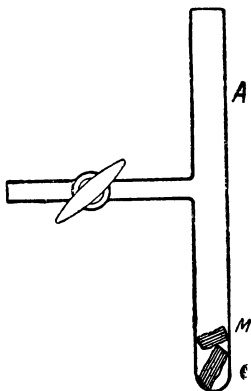


Рис. 4. Очистка щелочных металлов.

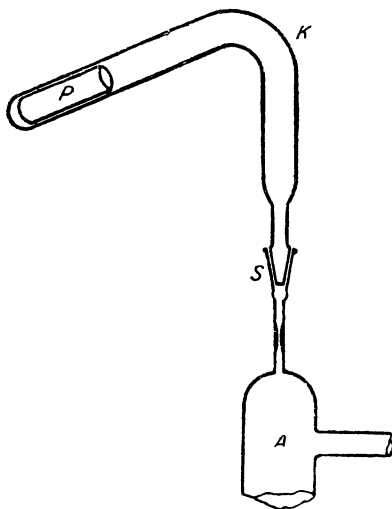


Рис. 5. Получение щелочных металлов из хлористых соединений.

же отплавляется в точке *A* и откачивается. После этого металл осторожно разогревается на коптящем пламени, до тех пор пока он блестящей серебряной струйкой не потечет по трубке *B* в аппаратуру, оставляя за собой толстый слой отделившейся окиси. Тогда трубка отъединяется от аппаратуры посредством отпайки в месте *B*.

Второй способ: металл, обработанный при помощи первого метода, обычно содержит большое количество водорода — натрий в 237, калий в 126 раз более собственного объема. Для того чтобы по возможности освободиться от абсорбированного газа, металл (после удаления наружной корки, как указано выше) помещается в трубку, изображенную на рис. 4, которую также отплавляют в *A* и откачивают. Затем, продолжая непрерывно откачку, прогревают конец *M* трубки и поддерживают в течение

$\frac{1}{2}$  часа его температуру около  $200\text{--}300^\circ$  (лучше всего при помощи небольшой электрической печи). После полного охлаждения трубка отламывается вблизи *M*, и металл вместе с доннышком сбрасывается в трубку, изображенную на рис. 3. Далее поступают так же, как при первом способе.

Третий способ: наиболее действительная очистка щелочных металлов от натрия до цезия достигается при помощи дистилляции в высоком вакууме. Все эти металлы (в стеклянном сосуде) очень легко возгоняются, даже через сравнительно узкие места для отпайки. Можно для надежности поместить друг за другом ряд шаров, разделенных трубками, с готовыми для отпайки местами и перегонять металлы последовательно из шара в шар.

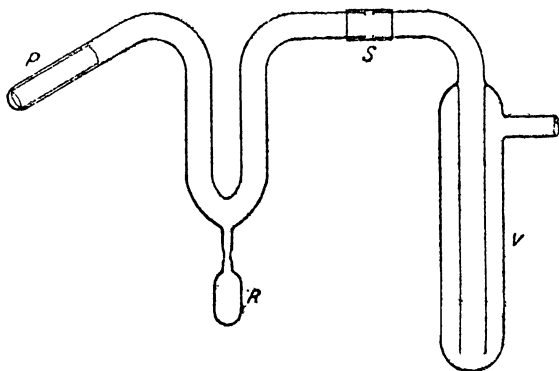


Рис. 6. Получение щелочных металлов из хлористых соединений.

с) Калий, рубидий и цезий лучше всего получать посредством восстановления металла в вакууме из хлористых соединений [17]. Для этого смешивают 1 г металлического кальция, измельченного с 3,7 г хлористого калия, или соответственно с 6,0 г хлористого рубидия или 9,0 г хлористого цезия, заполняют полученной смесью закрытую с одного конца железную трубочку *P* (рис. 5) и помещают ее в трубку из тугоплавкого стекла, конец которой запаивается; затем эта трубка присоединяется к вакуумной установке. После откачки трубочка *P* разогревается до красного каления, при этом хлористое соединение медленно восстанавливается, и щелочной металл, возгоняясь, конденсируется крупными каплями на стенках колена *K*.

С указанными выше количествами, при полном использовании их, можно получить соответственно 1,7 г калия, 1 г руби-

дия и 6,5 г цезия. Когда в колене  $K$  накопится достаточное количество металла, стенки трубки разогревают, и металл стекает через предварительно слегка подогретый шлиф  $S$  в аппаратуру  $A$  (из обыкновенного стекла).

Вместо шлифа можно пользоваться резервуаром  $R$  (рис. 6), который отпаивается по наполнении его щелочным металлом. Отделив  $R$ , вскрывают его запаянный кончик и бросают (открытым концом вниз) в приспособление, изображенное на рис. 3. Для предотвращения воспламенения ампулу  $R$  следует предварительно охладить при помощи твердой углекислоты и вскрытие производить в атмосфере  $\text{CO}_2$ . На рис. 6 изображена также часть вакуумной проводки.  $S$  обозначает место соединения (на замазке), связывающее обыкновенное стекло с тугоплавким;  $V$  — «ловушка» (см. стр. 60).

Жидкий сплав калия-натрия получается, если на 1 часть  $\text{Na}$  содержится от 2 до 10 частей  $\text{K}$ . В таком виде сплав может между прочим применяться для наполнения кварцевых ламп [18]. Для приготовления этого сплава расплавляют сначала в ванночке, под слоем парафинового масла, натрий и затем приводят в соприкосновение с ним 1—2 шарика калия. Полученная жидкость несколько походит на ртуть (но обладает значительно меньшим удельным весом) и до полного окисления может долгое время продержаться на воздухе.

Обычное стекло и кварц, подвергаясь действию горячего щелочного металла, постепенно буреют; свинцовое стекло чернеет и трескается. Иенское стекло 59-III держится лучше, чем обыкновенное.

## 8. Сорты стекол

Основные физические свойства стекла (дисперсия, абсорбция, преломление, отражение и эллиптическая поляризация, электрические и магнитные свойства, плотность, термическое расширение, упругие свойства и т. д.) исчерпывающе рассмотрены в солидном труде Эккерта [19].

Однако физик-практик обычно довольствуется некоторыми сведениями, особенно ценными для его работы, которые указываются стекольным заводом для данного сорта стекла. По этим вопросам в указанной работе Эккерта можно найти сравнительно мало.

а) Стекло пирекс (<sup>о</sup>) [ $80,7 \text{ SiO}_2$ ,  $14,5 \text{ B}_2\text{O}_3$ ,  $3,5 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ,  $4,1 \text{ Na}_2\text{O}$ ] [20] в последние годы у американцев являлось излюбленным сортом стекла для изготовления разрядных трубок, ртутных ламп и т. п. Это стекло отличается сравнительно высокой механической и термической устойчивостью. Стекло пи-

рекс более тугоплавко, чем обычное поделочное стекло, однако размягчается уже при  $800^{\circ}$  и, следовательно, поддается обработке на пламени паяльной лампы при небольшом добавлении кислорода. Его коэффициент расширения составляет всего лишь  $4,10 \cdot 10^{-6}$ . По Вурису [21] пирекс при высоких температурах становится в значительной степени проницаемым для гелия. Например, при температуре в  $500^{\circ}$ ,  $1 \text{ см}^2$  поверхности стекла толщиной в 1 мм, по одну сторону которого находится вакуум, а по другую — гелий, при атмосферном давлении пропускает  $4,27 \text{ мм}^3$  He в час. Стекло пирекс допускает газонепроницаемую впайку вольфрамовой проволоки; впаивались также окошки из кварца. Химически пирекс менее устойчив, чем многие другие сорта стекол.

б) Б о р о с и л и к а т н о е стекло 59<sup>th</sup> фирмы Шотт — Иена близко к стеклу пирекс. Его состав:  $72\text{SiO}_2$ ,  $12\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $5\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $11\text{NaO}$ , его температурный коэффициент расширения равен  $17 \cdot 10^{-6}$ . Оно так же, как пирекс, при  $450^{\circ}$  приобретает некоторую газопроницаемость.

с) С т е к л о р е з и с т а (Resistaglas). Стекло очень сходно со стеклом пирекс. Имея такой же малый температурный коэффициент ( $3,9 \cdot 10^{-6}$ ), оно совершенно нечувствительно к резким изменениям температуры и размягчается, как и пирекс, при  $800^{\circ}$ . Молибденовая проволока впаивается достаточно прочно без помощи соединительного стекла. Устойчивость против химических действий у этого сорта стекла выше, чем у стекла пирекс.

Из целого ряда специальных сортов стекла, изготавливаемых фирмой Шотт — Иена, следует отметить:

д) С т е к л о с у п р е м а к с (Supremaxglas). Особенно тугоплавкий натроборосиликат, подходит, например, для изготовления термометров до  $675^{\circ}$ . Он также допускает впайку тонких вольфрамовых проволочек.

е) С т е к л о с у п р а к с (Supraxglas) обладает теми же достоинствами, что и предыдущее стекло, несколько легче плавится, выдерживает резкие изменения температуры.

ф) С т е к л о ф и о л а к с (Fiolaxglas) обладает наибольшей химической стойкостью. Его растворимость еще значительно ниже, чем у знаменитого «иенского стекла».

г) Известное увиольное стекло в последнее время готовится с еще большей прозрачностью для ультрафиолетовых лучей и с более высокой точкой плавления, что особенно важно для многоамперных ртутных ламп.

Относительно оптических качеств продажных сортов стекла лучше всего ориентироваться по каталогам фирм.



## 9. Кварц

О производстве кварца см. статью Б. Александер-Катца [22] «Прозрачное и непрозрачное кварцевое стекло».

В зависимости от чистоты исходного материала получают непрозрачный белый кварц с шероховатой, с шелковистой или с гладкой поверхностью или вполне прозрачное, почти пустое оптически кварцевое стекло. Оба сорта свободно спаиваются друг с другом. Из непрозрачного кварца можно изготовить сравнительно большие, сложные по конструкции сосуды, которые стоят не очень дорого; к ним затем припаиваются в соответствующих местах трубки из прозрачного кварца и даже плоские круглые окна.

Прозрачный кварц состоит из чистой кремневой кислоты  $\text{SiO}_2$  и поэтому сильно разъедается плавиковой кислотой. Он употребляется в термометрах при измерениях температур до  $1\,100^\circ$ ; под вакуумом трубки выдерживают, не сдавливаясь внешним давлением, температуру до  $1\,200^\circ$ . Наиболее подходящая температура для обработки кварца  $1\,600$ — $1\,700^\circ$ . Применяется обычно водородо-кислородное или ацетилено-кислородное пламя (причем необходимы темные очки); однако тонкие трубки при подаче кислорода можно обрабатывать также на паяльной лампе со светильным газом. При  $1\,800^\circ$  кварц плавится и сильно испаряется. Его температурный коэффициент расширения составляет всего лишь  $1,5 \cdot 10^{-6}$ , чем и объясняется знаменитая термическая устойчивость плавленного кварца. Можно, например, кусок раскаленного кварца (плавленного) бросить в холодную воду, не опасаясь его растрескивания. Напротив того, механическая прочность (хрупкость кварца) приблизительно такова же, как у стекла. Кварцевая трубка так же, как стеклянная, надрезается при помощи «ножа для резки стекла» и так же обламывается посредством сгибания и одновременного растягивания в стороны.

Уже при комнатной температуре, а при высоких температурах еще более, кварц пропускает водород, и в особенности гелий [23]: давление в газовом термометре, заполненном водородом, убывает в течение нескольких дней на  $0,03$  мм, при заполнении гелием — даже на  $0,4$  мм в день. При шестичасовом прогревании до  $1\,100^\circ$  давление кварцево-гелиевого термометра падает с  $212$  до  $160$  мм. Напротив, неон, повидимому, совершенно не диффундирует через кварц.

Кварцевые резервуары для термометров обладают тем преимуществом, что они совершенно свободны от термического последствия.

Ультрафиолетовая прозрачность для чистого плавленого кварца почти столь же велика, как у кварца кристаллического: пластина толщиной в 6 мм не ослабляет заметно линию  $2\ 000\ \text{\AA}$  [27].

Платиновую проволоку не удается впаивать в кварцевую вакуумную аппаратуру. Но вольфрам можно впаивать при помощи особого способа, который превосходит все прежние приемы ввода электродов в кварцевые трубки [25] (изоляционные качества кварца см. гл. VIII, о кварцевых нитях см. гл. VII).

### 10. Абсолютный спирт

Продажный (этиловый) спирт содержит на литр 40—50 см<sup>3</sup> воды. Осушение при помощи металлического натрия, которое на первый взгляд может показаться физику наиболее подходящим, оказывается неприменимым, так как при этом образуется алкогольат натрия. Продажный «абсолютный спирт» также содержит воду от 1 до 1,3%. Он очень гигроскопичен и должен поэтому тщательно защищаться от притока свежего воздуха.

Осушение при помощи едкой извести. Едкая известь (гидрат окиси кальция) поглощает углекислоту из воздуха и постепенно становится непригодной. Поэтому старый материал перед употреблением прокаливается небольшими порциями в шамотовом тигле на паяльной лампе. В колбу наливают 1 л очищаемого спирта и добавляют к нему 50—100 г едкой извести. На колбу сверху помещают так называемый обратный (вертикальный) холодильник. Колба помещается в сосуд, до половины заполненный горячей водой, которая подогревается горелкой Бунзена. Пары спирта, охлаждаясь водой холодильника, стекают обратно в колбу. Спирт заставляют кипеть таким образом по крайней мере в течение часа, после чего обратный холодильник снимается и спирт перегоняется в другую посуду. Таким образом получают 99,5—99,8%-ный спирт, а при повторении описанной процедуры — почти 100%-ный.

Винклер [26] рекомендует осушение при помощи металлического кальция. Для этого пользуются также описанным прибором с обратным холодильником. На литр спирта добавляют 20 г кальциевых стружек (сухих) и нагревают его до возникновения энергичной реакции. Кипение поддерживается в течение нескольких часов. После дистилляции спирта получают таким образом 99,9%-ный продукт. При повторении берут менее грамма кальция и нагревание производят возможно осто-

рожной, так как на этот раз реакция проходит особенно бурно. Дважды перегнанный спирт является в высокой степени безводным. Винклер перед сушкой удаляет обычно содержащийся в алкоголе альдегид при помощи окиси серебра: в 10—20 см<sup>3</sup> воды растворяют 2—3 г азотнокислого серебра и затем подливают 50 см<sup>3</sup> 10%-ного раствора едкого натра. Осадок окиси серебра отфильтровывается, промывается водой, высушивается и растирается со спиртом. После этого окись серебра вводят в литр очищаемого спирта, добавляют 1—2 г едкого натра или едкого кали и выдерживают эту смесь в течение нескольких дней, взбалтывая ее время от времени, до получения отрицательной реакции на альдегид.

Осушение при помощи алкоголята кальция описано С. Н. Рибером [27].

По Риберу все указанные методы приводят к получению абсолютного спирта с удельным весом  $d_{20}^{20} = 0,789334$  (полагая плотность воды при 20° равной 0,998232).

Испытание на безводность: едкий барий (гидрат окиси бария), растворяясь в абсолютном спирте, окрашивается в желтый цвет; раствор парафина не образует мути; безводный белый медный купорос не окрашивается. Безводный медный купорос получают, прогревая кристаллы сернокислой меди в фарфоровой чашечке до тех пор, пока они не будут распадаться в белый сухой порошок.

## ВТОРАЯ ГЛАВА

### ПАЙКИ, СВАРКА, ПРИМЕНЕНИЕ ЗАМАЗОК

#### 1. Мягкий припой

В качестве мягкого припоя обычно пользуются сплавами свинца и олова в различных пропорциях (от олова с небольшим добавлением свинца до свинца с небольшим добавлением олова). Чаще всего применяется эвтектический сплав:



его точка плавления 181°. Для пайки оловянных предметов можно пользоваться сплавом  $3\text{Sn} + 3\text{Pb} + 3\text{Bi}$ , который плавится уже при 140°. Особые случаи пайки см. стр. 24.

Для получения тонких узких полосок припоя, обычно отлитый в штангах, плавится и сливается на поверхность наклонно поставленного плоского напильника,

Место пайки зачищается (наждачной бумагой, лучше заскоблить) и покрывается паяльной жидкостью, флюсом, который служит для защиты от образования окиси. Лучшей паяльной жидкостью является раствор, состоящий из 60 весовых частей воды, 30 хлористого цинка и 15 хлористого аммония. Можно также рекомендовать различные «паяльные пасты».

Все паяльные жидкости благодаря окислению со временем разъедают металл около спая. Поэтому после окончания пайки необходимо соответствующее место тщательно промыть кипящей водой или же по крайней мере спиртом. В этом отношении несколько лучше паяльные пасты; менее же всего указанным недостатком обладают канифоль и парафин. Однако они далеко не так действительны, как другие паяльные средства.

«Тиноль» — паста, состоящая из 90 весовых частей металлического порошка (50% олова и 50% свинца), 8 частей глицерина и 3 частей хлористого аммония. Применяется главным образом для мелких паяк (например наращивание медных проволочек и т. п.).

Пайка выполняется следующим образом: спаиваемые части, зачищенные и смазанные паяльной жидкостью, приводятся в соприкосновение и разогреваются в пламени бунзеновской горелки или паяльной лампы. Затем, продолжая прогревание, в месте спая проводят полоской припоя, пока олово не начнет плавиться и не затечет в шов между соединяемыми деталями. Можно также положить на нагретое место спая небольшой кусочек паяльного олова и затем раставивший металл распределять при помощи жесткой латунной проволоки. Для местного нагревания пользуются обычно паяльником. Он состоит из куска красной меди, укрепленного на железной толстой проволоке, имеющей на конце деревянную ручку. Паяльник разогревается в пламени примерно до 400°. (Можно употреблять и паяльник с электрическим нагреванием.) Рабочий конец паяльника для устранения окиси очищается при помощи куска напатыря. При нагревании напатырь (хлористый аммоний) разлагается на аммиак и хлористый водород, который действует как восстановитель. Затем на паяльник наносят немного припоя и залуживают его, пользуясь вновь куском напатыря.

Далее горячим паяльником, с припоем на нем, действуют наподобие кисти, проводя им вдоль спаиваемого шва. Паяльник никогда не следует раскалять докрасна, так как в противном случае олово сплавляется с медью и образует твердую, трудно удаляемую корку: «паяльник можно сжечь». В последнем

случае паяльник (горячий или остывший) зачищается до блеска при помощи напильника и вновь залуживается.

Для пайки очень мелких предметов рекомендуется иметь специальный небольшой паяльник, имеющий вид карандаша (лучше с электрическим натреванием), с ручкой из стеклянной или фарфоровой трубки. Специальные приспособления для мелких паяк см. стр. 26.

Прочность пайки с мягким припоем, разумеется, очень невелика; наибольшего значения она достигает, если пайка произведена при температуре между 250 и 350°.

### Металлы, плохо поддающиеся пайке

**Алюминий.** Свежезачищенная поверхность алюминия очень быстро покрывается тонким незаметным слоем окиси  $Al_2O_3$ , и указанные выше «паяльные жидкости» не в состоянии ее удалить. Ввиду этого алюминий не поддается пайке обычными приемами. Для этой цели рекомендуется мягкий припой, состоящий из 84 г олова, 9 г цинка, 6 г алюминия и 2 г фосфора. Температура плавления около 240°.

Для выполнения пайки зачищают металл до блеска, разогревают соответствующее место, пока не начнет плавиться кусочек припоя, и затем тщательно втирают жидкий металл до надежного прилипания, например при помощи проволоочной кисточки. Таким образом, паяльные жидкости здесь совершенно не применяются. Прочность такой пайки еще ниже, чем при пайке оловом других металлов; она подвергается электрохимическим действиям, действию воды и влажного воздуха и со временем разрушается. Этим способом алюминий можно спаять как с алюминием, так и с латунью, медью и т. п.; железо приходится предварительно залудить или покрыть электролитически медью.

О более прочных твердых припоях для алюминия см. стр. 26.

**Магний** и электрометалл, содержащий магний, вообще не поддаются пайке мягким припоем.

**Чугун**, который обычно плохо залуживается и паяется, приходится энергично обрабатывать при помощи латунной щетки. Некоторые рекомендуют здесь применение стеарина в качестве паяльного средства.

**Молибден** и **вольфрам** не поддаются пайке мягким припоем. О твердом припое см. стр. 11.

**Платина** и **золото** паяются очень легко, причем, соединяясь с жидким припоем, они очень быстро образуют серый и хрупкий сплав. Поэтому температура пайки ни в коем слу-

чае не должна быть выше и длительность нагревания больше, чем это безусловно необходимо для пайки. Нагревание следует производить не в пламени, а исключительно при помощи небольшого паяльника.

Свинец и олово при пайке легко плавятся. Поэтому здесь рекомендуется пользоваться в качестве припоя сплавом с висмутом, указанным на стр. 22, или же сплавом Вуда (стр. 15); однако в последнем случае прочность спая не велика, так как низкой температуры недостаточно для полного устранения окиси с поверхности этих металлов. Ввиду малой теплопроводности свинца и олова пайку лучше производить на асбестовой пластине, подогреваемой снизу горелкой. Соединение аккумуляторных батарей обычно производится посредством сплавления в пламени горелки с гремучим газом.

Припайвание посеребренных кварцевых нитей см. гл. VI, 5.

## 2. Твердые припой

Твердый или серебряный припой состоит обычно из сплава медь-цинк-серебро и обладает поэтому значительно большей, по сравнению с мягким припоем, механической прочностью и значительно высшей точкой плавления ( $600-900^{\circ}$ ). Его можно приготовить, сплавляя 78,3 ч. латуни, 17,4 ч. цинка и 4,3 ч. серебра, или 36 меди, 52 цинка, 12 серебра, или 50 латуни, 50 серебра. Проще пользоваться готовым припоем, имеющим вид тонких листов, нарезаая его на узкие полосы в 1—2 мм ширины. Для специальных целей (например термоэлементы), где температура плавления твердого припоя слишком низка, можно пользоваться чистым серебром ( $961^{\circ}$ ) или золотом 24-й пробы (около  $1060$ ). Припой для золотых изделий состоит из 54,5 частей золота, 38,7 серебра и 6,8 меди.

В качестве паяльной жидкости применяют негустую кашицу из буры и воды. Она намазывается на шов и разогревается, сначала осторожно, пока выпарится не только вода, на которой замешана масса, но и бура, сильно вздуваясь, не отдаст кристаллизационной воды. Затем кладут на спаиваемый шов несколько очень маленьких кусочков припоя и продолжают разогревание, доводя его до яркокрасного каления. Бура плавится, образуя стекловидную массу, прекрасно растворяющую металлическую окись, и очень жидкий блестящий припой затягивается капиллярными силами глубоко между спаиваемыми поверхностями. В случае надобности можно содействовать этому процессу, проводя железной проволокой или полоской припоя по месту спая. По охлаждении бура удаляется

посредством осторожного обстукивания молотком или же обработкой в соляной кислоте.

Алюминий разработанными в последнее время приемами удается паять твердым припоем почти так же надежно и прочно, как латунь или медь. Припой состоит из сплавов, богатых алюминием [таким образом исключается действие атмосферной влаги, имеющее место при пайке мягким припоем (стр. 24)]; паяльная жидкость в большинстве случаев содержит хлористый литий. Пайка с этим припоем производится так же, как с серебром; только в этом случае следует быть осторожным, чтобы не расплавить предмета, так как здесь уже значительно меньше разница в температуре плавления припоя и основного металла. Механическая прочность спая вполне удовлетворительная.

Медь, латунь и другие металлы тем же приемом удастся спаять с алюминием. Железо должно быть на соответствующем месте залужено, покрыто цинком или медью.

Вольфрам, как указано выше (стр. 11), можно спаять с другими металлами при помощи нейзильбера и буры.

### 3. Пайка очень мелких предметов

Полоски тонкой металлической фольги, тонкие проволоочки и т. п. в пламени горелки быстро сгорают. Поэтому для паяния подобных предметов рекомендуются следующие приспособления.

а) По Прицу [1] на место спая концентрируются лучи, посылаемые положительным кратером вольтовой дуги. Температура регулируется при помощи диафрагмы Ирис.

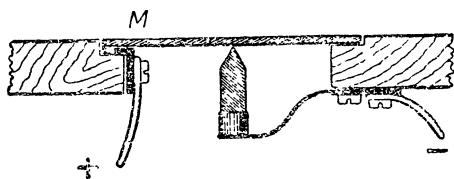


Рис. 7. Приспособление для пайки.

б) По Остину [2] тонкие проволоочки термоэлементов в месте соприкосновения свариваются (без паяльной жидкости) при помощи искры от вторичной катушки индуктора. Для этой цели достаточно

небольшого индуктора, имеющего искровой промежуток всего лишь в несколько миллиметров; сварка происходит моментально. Остин указывает, что «контакт получается менее хрупким, если сварка происходит в атмосфере, свободной от кислорода».

с) Ф. Мейер [3] предложил весьма практичную установку, изображенную на рис. 7, где М — угольная микрофонная мембрана, укрепленная в крышке (низкого, прочного) столика,

в середину которой упирается остро заточенный уголь от вольтовой дуги. Если теперь ввести в цепь осветительной сети выключатель и сопротивление (50—100  $\Omega$ ) и пропустить ток от мембраны (+) к углю (—), то с верхней стороны мембраны образуется небольшое раскаленное пятнышко в несколько (2—3) мм диаметром, положение которого не трудно узнать после охлаждения по более светлой окраске. Проволочку располагают на мембране так, чтобы место спая как раз приходилось против светлого пятнышка, наносят немножко припоя и паяльной жидкости, покрывают в случае надобности кусочком кварца или слюды и производят пайку, включая электрический ток. Это приспособление одинаково хорошо подходит для пайки как мягким, так и твердым припоем, необходимо только заботиться, чтобы бура не приставала к мембране.

д) А. И. Пфунд [4] при пайке своих сплавов для термоэлементов пользуется в качестве паяльника полоской стекла. Метод описан ниже, в гл. VIII, 2.

#### 4. Сварка

Под сваркой разумеют соединение двух разогретых до размягчения кусков металла без посторонней связующей среды; для этого раскаленные поверхности приводятся в возможно более тесное соприкосновение посредством прессования или проковки. При дуговой и автогенной сварке, которые здесь не описываются, соприкасающиеся поверхности сплавляются соответственно в пламени вольтовой дуги или ацетиленово-кислородном пламени. Практически сварка применима к сравнительно немногим металлам, особенно просто протекает сварка для железа и платины; невыполнима сварка, например, для латуни, алюминия и цинка.

Для физика особенно большое значение имеет сварка платины. Однако при этом оказывается не легким делом избежать охлаждения между извлечением предмета из пламени и первым ударом, так как обычно приходится сваривать вещи весьма незначительной массы. Маленькая наковальня располагается так, чтобы пламя паяльной лампы тангенциально касалось ее поверхности. Свариваемые части следует, если это возможно, скрепить предварительно каким-либо образом, например в случае проволочек их скручивают, в случае проволочки и листочки продергивают проволочку через два отверстия в листочке. Затем место сварки разогревается добела и производится легкий удар молоточком прямо сквозь пламя. Если предварительное крепление не удается почему-либо сде-



лать, то приходится свариваемые части укреплять неподвижно в требуемом положении непосредственно на наковальне при помощи глины. Если вначале обе части достаточно скрепились, то не трудно аккуратно выполнить сварку при помощи повторного нагревания и обработки молотком.

Подобным же образом свариваются платина с медью, в особенности если для сварки меди употреблять немного буры. Так, например, наращиваются на медную проволоку или шнур отрезки платиновых проволочек, которые служат вводами в пустотные трубки. Проволочки свыше 0,8 мм диаметром лучше соединять, вызывая между свариваемыми концами на мгновение дугу (2—3 А) и притыкая их сейчас же друг к другу. Для этого их можно соединить через соответствующее сопротивление с осветительной сетью.

### **5. Плавкие замазки: смолы, размягчающиеся при нагревании**

Из очень большого числа замазок, известных в технике [5], в лабораторию физика получило доступ лишь очень незначительное число; однако при экспериментальной работе они являются совершенно необходимыми. Ниже перечислены наиболее важные замазки, расположенные приблизительно в порядке возрастающей температуры плавления.

а) Лабораторный воск — замазка, размягчающаяся уже при нагревании в руках, употребляется главным образом для крепления мелких предметов. Ее можно легко приготовить, смешивая 95 частей воска и 5 частей венецианского терпентина; при добавлении некоторого количества машинного масла замазка становится еще более мягкой.

б) Воск-канифоль. Эта очень употребительная замазка занимает особое место, так как при нагревании она становится не пластичной, а жидкой. Ее точка плавления находится около  $55^{\circ}$ , точка затвердевания около  $47^{\circ}$ . Она очень удобна для крепления значительных по размеру деревянных и металлических брусочков, стеклянных, фарфоровых или эбонитовых деталей экспериментальной установки и т. п. Вода и спирт на нее заметно не действуют. Замазка готовится посредством смешения равных частей канифоли и желтого пчелиного воска и наносится в жидком состоянии при помощи кисточки или ложечки, в которой она разогревается почти до кипения. При мелких работах замазка плавится при помощи небольшого паяльника или другого подходящего металличе-

ского предмета (например отвертки) или же лучше всего — при помощи маленького огонька в несколько миллиметров длины, горящего на конце тонко оттянутой стеклянной трубки, снабженной соответственно длинной резиновой трубкой («огонек Ленарда»).

с) Морской клей. Эта замазка, бывшая прежде излюбленной при работах с высоким вакуумом, в последнее время почти совершенно вытеснена другими сортами, приведенными ниже. Она прекрасно пристаёт к стеклу и металлу и держит очень прочно, поэтому очень удобна, например, для соединения трубопроводов высокого давления. Кислоты, щелочи, хлор и т. п. действуют на нее лишь в незначительной степени, но сильно действует спирт. Морской клей представляет собой твердую черную массу, по хрупкости подобную стеклу. Однако при комнатной температуре он несколько более пластичен, чем сургуч; если, например, залить морским клеем закрытый корковой пробкой тубус склянки Вульфа, то при повышенном внутреннем давлении в течение недели на пробке начинают выдвигаться пузыри. При нагревании морской клей пахнет карболкой, при температуре от 30 до 35° он становится эластичным как резина, при 35—45° плавится (очень легко воспламеняется при соприкосновении с пламенем). Морской клей растворяется в бензине, бензоле и скипидаре.

д) Пицейн. Наиболее употребительным сортом является пицейн, изготавливаемый по рецепту Вальтера [6]. Он лучше клеит и более эластичен, чем белый сургуч. При 70—80° становится жидким. Пицейн имеет черную окраску, совершенно не растворяется в воде и лишь в незначительной степени, при долгом воздействии, в спирте. Он хорошо растворяется в бензине, бензоле и скипидаре. Пицейн является хорошим изолятором и чрезвычайно удобен при работах с высоким вакуумом. Пицейн в любой пропорции сплавляется со свободным от воды ланолином, благодаря чему можно по желанию изменить его твердость и точку плавления.

е) Сургуч. Б. Вальтер [7] пишет: «Применение сургуча для временного соединения частей физических аппаратов вошло в поговорку». Особенно можно рекомендовать «белый сургуч». Наиболее важное применение эта замазка находит в технике высокого вакуума. В то время как обыкновенный красный сургуч, как правило, при остывании образует тончайшие трещинки, что препятствует получению хорошего вакуума, правильно выполненная замазка (см. ниже) указанным выше сортом сургуча является абсолютно непроницаемой. Давление паров белого сургуча очень мало. При комнатной температуре

он несколько эластичен (палочка сургуча, подпертая с обоих концов, слегка прогибается), размятчается при  $70^{\circ}$  и при  $100^{\circ}$  становится жидким. Хорошим растворителем является спирт.

ф) Цемент Хотинского — американская смоляная замазка, упоминающаяся во многих иностранных работах. Имеется три сорта этой замазки: мягкий, средний и твердый. Цемент Хотинского встречается с окраской от коричневой до черной и по внешнему виду напоминает морской клей или шеллак. При нагревании он издает сильный карболовый запах, откуда можно заключить, что давление его паров не должно быть особенно низким. Эта замазка очень хорошо пристает к стеклу и металлу, при  $50^{\circ}$  становится мягкой, при  $60—80^{\circ}$  — жидкой.

Употребление замазки. Для получения прочного и, где это необходимо, непроницаемого для газа скрепления нужно разогреть не только замазку, но и обе скрепляемые части. Нагревание производится посредством бунзеновской или ручной пальной горелки (стр. 39) или же при помощи «огонька Ленарда». Затем, вращая брусочек замазки над пламенем горелки и следя за тем, чтобы замазка не начала гореть, расплавляют его конец. Смазав обе поверхности, их прижимают друг к другу и дают охладиться.

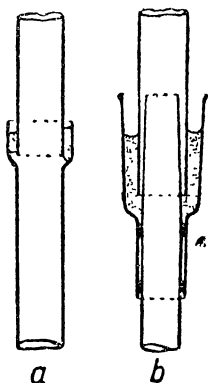


Рис. 8. Соединение частей вакуумной установки.

Удобные формы соединения частей вакуумной установки показаны на рис. 8, а или б. Место соединения заливается замазкой, так чтобы она наполнила широкую часть. Широкий шлиф обогревают на медной пластине, подставив снизу горелку и покрыв асбестом. Предпочесть ли при этом пиццин или белый сургуч, предоставляется личному вкусу.

Температуру жидкого воздуха указанные замазки не выдерживают: они отскакивают с громким треском.

г) Хлористое серебро по Хюльберту [18] также является замазкой, пригодной для вакуумных работ. Температура плавления  $455^{\circ}$ . Расплавленная соль застывает в виде рогообразной массы, хорошо пристающей к стеклу, кварцу, металлу. Хлористое серебро не растворяется в воде, спирте, бензоле и других углеводородах; кислоты на него также не действуют; в «фиксже» — гипосульфите натрия — оно постепенно растворяется. В противоположность хлористому серебру, свежевывапавшему из раствора, на плавленное хлористое

серебро свет действует лишь едва заметно. Хлористое серебро расплавляется предварительно в фарфоровом тигле, затем кусочек уже застывшего вещества кладется вблизи от места скрепления, расплавляется в пламени и распределяется при помощи проволоки. Благодаря высокой температуре плавления этой замазки опасность растрескивания стекла как при нагревании, так и при охлаждении естественно больше, чем при применении пинцена или сургуча. Эта замазка, повидимому, особенно пригодна для вклеивания кварцевых окошек в стеклянные ртутные лампы.

Для специальных целей существуют замазки:

h) Металлическая замазка Роусона [9], представляющая собой сплав 40 частей висмута, 25 свинца, 15 ртути, 10 олова и 10 кадмия. Она легко расплавляется и хорошо пристает к стеклу и металлу, в особенности если стекло покрыть серебром или платиной. Она применяется, например, для вмазки электродов в сероуглеродных трубках, применяемых при исследовании эффекта Керра.

i) Копировальная масса — упругая студенистая масса, употребляющаяся для репродукционных работ. Она плавится при  $90^{\circ}$ , но остается пластичной и по затвердевании, поэтому она удобна для приклеивания в местах, которые должны быть совершенно свободны от напряжений, например она очень удобна для приклейки окон при поляризационных опытах. Она растворяется в воде и не растворяется в спирте, масле, эфире и сероуглероде [10]. Для получения подобной массы растворяется 20 г столярного клея в горячей воде и добавляется 100 см<sup>3</sup> глицерина.

к) Смешение осторожно расплавленного шеллака с 10% коричневого или оливкового масла дает по Оствальду-Лютеру медленно застывающую, очень вязкую замазку.

Употребление эмали в качестве замазки см. стр. 40.

## 6. Клеющие вещества

У физика встречается надобность в следующих средствах для склейки:

а) Раствор чистого каучука, оставляющий по испарении растворителя резиновую пленку. При добавлении с помощью кисточки хлористой серы ( $S_2Cl_2$ , выделяющая едкие пары!) резина вулканизируется и состав становится твердым.

б) Густой раствор целлулоида в ацетоне. Клей применяется главным образом для целлулоида, годится также для склейки фарфора и других материалов. Целлулоидный

слой пристаёт очень прочно, в особенности если поверхности протереть ацетоном.

с) Концентрированный раствор шеллака в абсолютном спирту или ацетоне. Он особенно хорош для закрытия пор при вакуумных работах, для вклейки кварцевых нитей и пр. Применяется также для устранения поверхностей проводимости на стекле, эбоните и других изоляторах. В последних случаях спирт должен быть возможно более сухим.

д) Бакелит, являющийся продуктом конденсации карболовой кислоты и формальдегида, встречается в трех модификациях: *А*, *В* и *С*. Первая модификация *А* представляет собой вязкую коричневую жидкость с карболовым запахом или смолу, подобную канифоли, только с более высокой температурой плавления. При длительном прогревании модификация *А* переходит в *В* и далее в *С*, для некоторых сортов с выделением газа (последнего можно избежать, производя нагревание при повышенном давлении). Модификация *В* при нагревании становится пластичной, как резина, *С*, напротив, совершенно не плавится и при повышении температуры выше 300° начинает обугливаться. Бакелит *С* является особенно хорошим изолятором, с высокой устойчивостью против горячей воды, слабых кислот и щелочей. Жидким бакелитом *А* можно покрыть дерево, металл, бумагу, обмотку проводов и т. п. при помощи нагревания получить поверхностный слой с высокой устойчивостью против повышенной температуры и химических действий.

## 7. Неплавкие замазки

Под этим названием мы понимаем замазки, приготовляющиеся непосредственно перед употреблением путем смешения двух компонент. Вскоре после этого они застывают и в противоположность замазкам, описанным выше, не могут быть по желанию расплавлены нагреванием. Они отличаются также устойчивостью против высоких температур и большей механической прочностью. Для вакуумных работ они меньше подходят, частью потому, что долго отдают водяные пары, частью вследствие своей пористости, которую нужно устранять промазкой шеллаком.

а) Глицерин-глет свинцовый — для металла, стекла, фарфора, дерева. Замазка выдерживает температуру до 270°; вода, кислота и щелочь на нее заметно не действуют. Свинцовый глет в течение нескольких минут прокаливается на железном листе до 270° (для удаления углекислоты) и затем замешивается на густом глицерине (на 4 г окиси 1 см<sup>3</sup>

глицерина). Склеиваемые поверхности предварительно смазываются глицерином. Затвердевание длится около  $\frac{1}{4}$  часа.

б) Жидкое стекло. Густое жидкое стекло дает при смешении с гипсом, мелом, известкой, окисью цинка и тальком твердую замазку, одинаково хорошо пристающую к металлу, стеклу, фарфору и камню. Особенно хорошо переносит высокую температуру замазка жидкое стекло-тальк; она выдерживает долгое время нагревание до  $600-800^{\circ}$ , с другой стороны, она держится также при температуре жидкого воздуха. Толстые слои затвердевают только через несколько часов. Вода действует на жидкое стекло и постепенно его разрушает.

Асбестовый картон, вата и шнур, будучи пропитаны жидким стеклом или жидким стеклом с небольшим количеством талька, сначала становятся очень гибкими, а по застывании жесткими и твердыми. Жидкое стекло — наиболее температурно устойчивый клей для асбеста.

с) Хлор окись цинка. Затвердевание длится не больше минуты. Замазка по твердости превосходит замазки, приведенные выше, например: из нее можно приготовить и даже полировать небольшие предметы. Для получения этой замазки смешивают 60%-ный раствор хлористого цинка с тонко измельченной свободной от углекислых солей окисью цинка. Окись цинка должна храниться без доступа воздуха, так как она постепенно поглощает углекислоту. Техническая окись цинка (цинковые белила) перед употреблением замешивается в густую кашицу с 2%-ной азотной кислотой, высушивается в гессенском тигле, прокаливается докрасна и затем размельчается и сохраняется — самое лучшее — в стеклянной запаянной трубке.

Подобными ценными качествами обладает также употребляющаяся в зубо врачебной технике смесь из окиси цинка и фосфорной кислоты.

д) Высокие температуры (до  $1600^{\circ}$ ) выдерживает смесь каолина с 10% буры, замешанная в густую кашицу с водой или олифой. После застывания замазку прогревают на месте склейки до яркого каления [12].

е) В качестве «желатиновой замазки» можно пользоваться горячим столярным клеем, который прекрасно пристаёт не только к дереву, но также и к эбониту, шершавой поверхности металла и пр. Растворимость застывшего клея в горячей воде можно устранить, добавляя несколько процентов насыщенного раствора двуххромового калия и выставя высохшее место соединения на некоторое время на дневной свет.

Гипс держит лучше, если его развести не на воде, а на жидком растворе клея.

## ТРЕТЬЯ ГЛАВА

## ОБРАБОТКА СТЕКЛА

## 1. Стеклодувные работы

Некоторый навык в стеклодувном искусстве и независимость благодаря этому от работы стеклодува-профессионала сохраняют физику не мало времени и освобождают его от ряда разочарований. Рамки этой работы не позволяют достаточно полно изложить различные приемы и методы обработки стекла. Для более подробного изучения этих вопросов можно, например, указать на соответствующие главы в книгах Арендта [1] и Венельта [2], книжку Эберта [3] и наконец на появившееся недавно «Руководство по стеклодувному делу» Войтачека [4]. Хотя последнее и дает обычную технику стеклодува весьма обстоятельно, с большим количеством иллюстраций, однако в нем отсутствуют, например, современные приемы впаивания меди, никелевой стали, молибдена, обработки кварца и стекла пирекс.

В дальнейшем мы полагаем, что читатель имел случай по крайней мере наблюдать работу стеклодува, и отмечаем поэтому только те пункты, которые по опыту автора обычно ускользают от внимания начинающего.

а) Инструменты стеклодува. Высота стола и стула выбирается так, чтобы при работе на паяльной лампе можно было свободно опереть локти на стол. Стол должен стоять на месте, не сильно освещенном и свободном от сквозного ветра.

Так называемое «водоструйное дутье», при котором воздух, увлекаемый водоструйным насосом, сжимается в склянке Вульфа, хотя и очень удобно, но количества получаемого при этом воздуха обычно достаточно только для небольшого пламени. Если же расходится много воздуха, то склянка заполняется доверху, и вода брызжет сквозь пламя, ввиду чего при работе необходима некоторая осторожность. О ручных горелках см. стр. 39.

Для резки стеклянных трубок употребляется специальный нож из твердо закаленной стали, который приходится время от времени затачивать. Кроме того следует заготовить несколько железных проволок толщиной 3—4 мм, имеющих на обоих концах изгибы в виде полуокружности различного диаметра. Для некоторых целей желательно также иметь несколько ланцетообразных полос, вырезанных из черной жести 0,5—1 мм толщины, сильный пинцет и наконец запас корковых пробок различного размера.

б) Резка стеклянных трубок. В зависимости от диаметра трубок применяются три способа. Во всех случаях на месте резки должна быть предварительно сделана царапина — надрез; для этого сильно прижимают к трубке стекольный нож и медленно вращают ее (не следует «шилить» трубку, двигая нож взад и вперед). Трубки, диаметром не более 8 мм (обычные поделочные трубки), после этого гладко обламываются по надрезу, если их осторожно гнуть, растягивая одновременно в стороны. Когда же это почему-либо невозможно, например, если оба конца трубки закреплены (стеклянная аппаратура) или же обламываемый конец имеет всего лишь несколько сантиметров длины, то вызывают на месте надреза трещину, прикладывая к нему раскаленную стеклянную палочку. Для этого конец палочки оттягивается до 1 мм толщины и 1—3 см длины, на оттянутом конце наплавляется на небольшом резком пламени маленькая, очень горячая, ярко светящаяся капелька и быстро переносится на расположенную в непосредственной близости трубку. Капля прижимается точно к надрезу, причем требуется известная ловкость, для того чтобы донести ее достаточно накаленной. Капля не должна быть больше 2—3 мм, так как в противном случае трещина может пойти не по надрезу. По трещине трубка обламывается очень легко. Этот второй способ особенно пригоден для трубок диаметром 1—2 см. Третий наиболее надежный способ применяется главным образом для трубок диаметром свыше 2 см. Трубка надрезается по всей окружности (что очень желательно, но не обязательно). Затем берут изогнутую железную проволоку с подходящим размером изгиба, разогревают ее в месте изгиба до яркого каления и быстро прижимают к надрезу, равномерно вращая при этом трубку. Накаленная проволока должна касаться стекла по возможности по всей полуокружности. Через некоторое время (секунд 10), когда проволока уже потемнеет, трубка лопается по надрезу. Для более широких трубок обычно применяется, вместо железной проволоки, проволока (тонкая) из никеля, хромоникеля или же платины, накаливаемая электрическим током.

с) Некоторые советы при обработке стекла на паяльной горелке. Всякую трубку больше 6 мм диаметром следует разогревать с известной осторожностью, пока она не привыкнет к пламени паяльной горелки. Особенно легко лопаются предметы более сложные и бывшие уже в обработке. Последние сначала держат некоторое время при непрерывном вращении над концом малого светящегося пламени (без дутья); по прошествии нескольких минут их по-



мешают в большое пламя окутывающее весь предмет, затем переносят в верхнюю часть и только тогда начинают постепенно подавать воздух, продолжая вращение, пока стекло не начнет размягчаться, а пламя не окрасится в желтый цвет. После этого уже можно перейти к нагреванию отдельного места на остром огне. Перед разогреванием следует предварительно убедиться в том, что все отверстия в обрабатываемом предмете за исключением того, которое необходимо для дутья, закрыты. При раздувании предмет вынимается из пламени.

Спайка происходит быстрее и надежнее при сильно размягченном стекле. Не нужно бояться, что трубка при разогревании сильно сузится, так как это сужение не трудно раздуть. При обработке широких трубок в особенности следует пользоваться полной мощностью горелки. Необходимо также следить при работе за тем, чтобы стенки трубки не становились в месте спая тоньше или же толще, чем в прочих местах, вследствие непроизвольных растягиваний или осаживаний. Все образующиеся утолщения необходимо раздуть, несмотря даже на то, что при этом может несколько пострадать красота изделия, так как в противном случае по остывании могут возникнуть опасные напряжения в стекле.

Согнуть тонкую трубку не трудно на горелке со специальной насадкой, дающей широкое сильно светящееся плоское пламя, так называемый «рыбий хвост». Напротив, согнуть широкую трубку так, чтобы повсюду сохранить неизменным размер, является делом не легким, и, пожалуй, начинающему лучше поручить эту работу умелому мастеру. Для получения правильного изгиба на широкой трубке ее приходится хорошо и очень равномерно разогреть на большом протяжении и раздувать во время сгибания.

Газонепроницаемая впайка кусочков платиновой проволоки в стеклянную трубку сравнительно проста: проволочка укрепляется в пламени на конце стеклянной трубки или палочки (держалки), затем разогревают конец палочки из специального стекла для впайки и наворачивают слой этого стекла, толщиной в 5 мм, на проволоку, вращая ее на держалке вокруг оси. Навитую таким образом толстую стеклянную нить сплавляют в цилиндр, пользуясь внешним окислительным концом малого пламени с большим количеством воздуха (в восстановительном пламени поверхность свинцового стекла обычно чернеет, приобретая металлический блеск, но сейчас же опять просветляется в окислительной зоне). После этого на месте, на котором должна быть впаена проволока, продельвают небольшое отверстие с таким расчетом, чтобы в него как раз проходил

заготовленный цилиндр, и впаивают ввод, добавляя в случае надобности некоторое количество стекла для впайки. Несколько лучше сначала закрыть сделанное отверстие большой каплей стекла для впайки, добиваясь возможно лучшей связи его с аппаратурным стеклом, несколько раз сильно разогревая и вновь раздувая обрабатываемое место; затем уже проделывать отверстие в наваренном таким образом стекле и впаивать заготовленный стеклянный цилиндр с платиной.

Способ изготовления алюминиевых электродов для разрядных трубок ясен из рис. 9; на рис. 9, *a* изображен конец медного канатика с припавленной платиновой проволокой (см. стр. 28). На рис. 9, *b* показано прикрепление платиновой проволоки

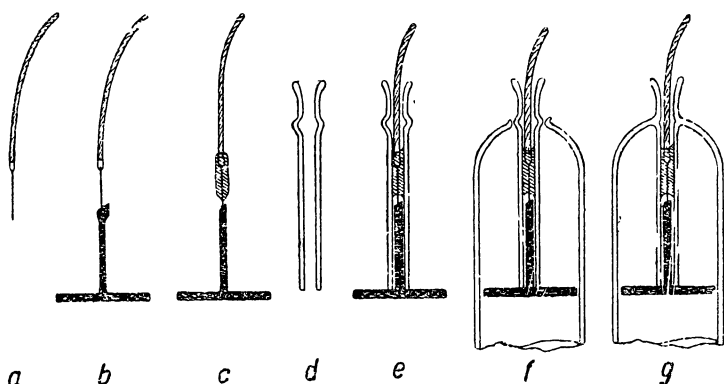


Рис. 9. Впайка электродов.

к алюминиевому электроду, в данном случае диску с штифтом посредине. Крепление производят, разогревая штифт в пламени паяльной лампы почти до точки плавления и вставляя в размягченный алюминий на глубину нескольких миллиметров раскаленную платиновую проволочку. Обычно при этом в месте соединения наплавляется капля алюминия. Ее очищают, после чего проволока и конец канатика окружаются стеклом для впайки (рис. 9, *c*). Затем приготавливают трубочку указанной на рис. 9, *d* формы и таких размеров, чтобы в нее плотно входил наплавленный на проволоке стеклянный цилиндр; продергивают через нее канатик, как показано на рис. 9, *e*, и спаивают вспомогательное стекло со стенками трубки, сильно разогревая соответствующее место. На рис. 9, *f* электрод введен в разрядную трубку; на рис. 9, *g* края отверстия спаяны с держателем электрода. Впайка электрода в трубку на этом заканчивается.

До последнего времени платина считалась единственным материалом, пригодным для впайки в вакуумную аппаратуру. Однако недавно стали изготовлять проволоку из никелевой стали, которая при небольшом навыке может быть выплавлена почти так же легко, как и платина. Однако ее нельзя долго задерживать в пламени, так как она при этом сильно окисляется.

Если обернуть стеклянную трубку полоской тонкой (0,1 мм) медной фольги и обработать затем на пламени паяльной лампы, то стекло, размягчаясь, растворяет образующуюся окись

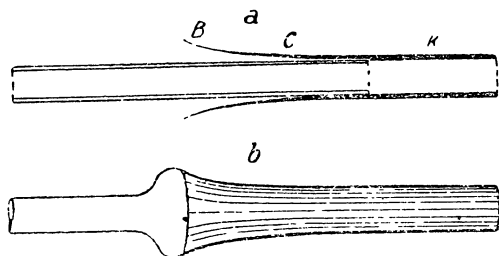


Рис. 10. Соединение медной и стеклянной трубки.

меди и по охлаждении прочно слипается с металлом (хотя и не так хорошо, как платина). Это обстоятельство дает возможность соединять медные трубки со стеклянными. Необходимо, чтобы при спайке медная трубка была внешней,

так как медь при охлаждении сжимается сильнее стекла; кроме того стенки ее в месте соединения должны быть сделаны столь тонкими, чтобы медная трубка при охлаждении не могла раздавить стекла. Хаускипер [5] указывает два метода для спайки меди со стеклом, пригодных для вакуумной аппаратуры:

1. Разрезав стеклянную трубку, зажимают между плоскостями среза листочек медной фольги и вновь спаивают отъединенные части на паяльной лампе. Затем можно трубку обрезать с одной стороны вплотную у места спайки и залпавить оставшееся стеклянное кольцо. После этого в отверстие, просверленное в образовавшемся кольце фольги, центрально вплавляется кусок толстой проволоки, служащий в дальнейшем в качестве электрода.

2. Медная трубка *к* протачивается на станке и на конце ее (как показано на рис. 10, *а*) делается раструб, причем стенки между *В* и *С* делаются возможно тоньше, например при помощи травления азотной кислотой. Введенная в проточенную полость стеклянная трубка сначала спаивается с медью при *С*, затем раздувается и спаивается с *В* и наконец осторожно охлаждается. На рис. 10, *б* показан вид законченной спайки. Таким способом, например, можно соединять трубки до 9 см диаметром для мощных ртутных выпрямителей.

При помощи медной трубки, имеющей раструб на обоих концах, может быть выполнена связь обыкновенного поделочного стекла с тугоплавким.

При производстве рентгеновских трубок все больше приобретает признание непосредственная впайка электродов из медных трубок (обычно при помощи специального стекла). Этот прием можно считать более надежным, чем спаивание молибденовой проволоки при помощи молибденового стекла.

Спайка стекла с металлами и другими материалами см. стр. 40.

**Охлаждение.** После того как работа с расплавленным стеклом закончена — в особенности при сложных и толстостенных предметах — следует охлаждение, которое необходимо производить постепенно в течение долгого времени во избежание опасных напряжений, появляющихся обычно в стекле. Для этого предмет держится сначала в большом коптящем пламени, которое затем постепенно уменьшают, вращая и перемещая взад и вперед обработанную деталь до тех пор, пока место пайки не покроется густым слоем копоти. В дальнейшем до полного охлаждения предмет следует защитить от сквозного ветра, для чего разогревшееся место обычно обертывается толстым слоем бумаги. Если желают идти наиболее надежным путем или если обработанная деталь вызывает особые опасения, охлаждение лучше производить в небольшой электрической печи (см. гл. X). Для этого печь предварительно разогревают градусов до 400—450 и кладут в нее трубку непосредственно после обработки: температуру поддерживают на указанной высоте от 3 до 6 часов и затем постепенно снижают, уменьшая нагревательный ток; полное охлаждение длится 10—30 часов.

**Ручные горелки.** Физикку приходится значительно чаще, чем мастеру-стеклодуву иметь дело с неудобными, длинными трубками, закрепленными на штативе, у которых место пайки приходится обрабатывать при помощи ручной горелки. На рис. 11 показана испытанная модель такой горелки, которая может быть изготовлена в мастерских института. Латунные трубки *L* и *G* длиной около 20 см служат соответственно для подводки воздуха и газа; пламя, выходящее из бокового отверстия в *G*, хорошо заострено, и общее компактное строение горелки является особенно удобным. Край спаиваемых трубок размягчаются, прижимаются друг к другу и пропаяваются от места к месту при сильном нагревании. Оставшиеся отверстия, которые не могут быть закрыты в силу малой подвижности обеих спаиваемых частей, можно без осо-

бых трудностей затянуть при помощи тонкой (приготовленной заранее) стеклянной палочки. Следует заметить, что попытка припаять при помощи ручной горелки под прямым углом тонкую трубку к трубке с диаметром, большим 1 см, вряд ли может закончиться успехом, так как последнюю невозможно при этих условиях достаточно прогреть по всей окружности.

д) Соединение стеклянной трубки со стеклом, металлом, кварцем и т. п. Пайка стекла.

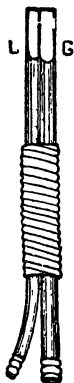


Рис. 11.  
Ручная горелка.

Еще Вундт указал, что стекло может быть спаяно с другими материалами, если в его поверхность предварительно вжечь слой серебра или лучше платины (см. гл. V) и затем уже на этот слой гальванически осадить медь. Ридиярд [6] покрывает платинированное тугоплавкое или обычное стекло, кварц, а также фарфор тонкой свинцовой оболочкой и затем спаивает обработанное таким образом место с металлом. Описанное соединение при температуре в  $150^{\circ}$  удерживает вакуум до 10—4 мм в течение нескольких дней. Наиболее просто соединяется стеклянная трубка с металлической следующим образом: слегка оттянутый конец стеклянной трубки туго обвивается залуженной медной проволокой, которая вплавляется затем в металлическую трубку. Указанная спайка непроницаема для жидкости и отличается большей механической прочностью.

Употребление эмали в качестве замазки. Эмаль, — которая очень хорошо пристает к стеклу и металлу (латуни, меди, но не к алюминию), размягчается при  $350^{\circ}$ , оставаясь в пламени бунзеновской горелки в жидком состоянии, — получают, сплавляя в гессенском титле 5 г промытой отмучиванием кремневой кислоты, 16 г свинцового сурика и 4 г прокаленной буры. Обнаружилось, однако, что плоские окна, замазанные таким образом, трескаются через несколько недель. Впайка медной проволоки в вакуумную аппаратуру при помощи эмали удается с трудом; легче удастся напайка больших тонкостенных медных или стальных чашечек. Мак-Кельви [7] рекомендует эмаль, получаемую посредством сплавления равных весовых частей окиси цинка, буры и измельченного натрового стекла. Для тех же целей может быть использована описанная выше (стр. 30) замазка из хлористого серебра.

Обломанные платиновые вводы тейслеровых трубок, не допускающие более присоединения проводов, чинятся следующим образом: хорошо залуживается конец по-

лоски из ламетки (стр. 85), на обломанную проволочку наносится немного паяльной пасты и к ней прижимается горячим паяльником залуженный конец полоски. Если же сохранившийся кончик настолько мал, что указанный способ оказывается уже непригодным, поступают так: обломанный ввод окружается небольшим валиком гипса, в полученное углубление вносится немного паяльной пасты, затем туда же пускают с горячего паяльника каплю жидкого припоя и погружают в него напаяваемую проволоку, прежде чем припой успеет застыть. Место соединения защищается при помощи замазки (пицеина).

## 2. Шлифовка, резка и травление стекла

а) Шлифовка стекла. Стекло легко поддается обработке на вращающемся шлифовальном камне и на наждачной пластине. Шлифовальный круг применяется, например, для того, чтобы выправить край не совсем прямо отрезанной стеклянной пластины, обточить пластину по кругу или же приготовить из стекла многогранник. Для того чтобы выровнять небольшую плоскую поверхность для вмазки окошечка или для получения матовой стеклянной поверхности, пользуются толстой пластиной 5—10 мм толщины, на которую наносится наждак (средней величины зерна) и вода. К обратной стороне стекла, которое необходимо сделать матовым, приклеивается на замазке деревянный брусочек, служащий в качестве ручки; за ручку берутся возможно ниже и стекло шлифуют, вода им с легким нажимом небольшими крутами по наждачной пластине. Более легкий мат получают, применяя полировальный крокус. Однако изготовить полированную, оптически плоскую поверхность столь примитивным способом не удастся. Шлифованные металлы можно отполировать, обрабатывая их на матовой стеклянной пластине без наждака.

Отверстия в несколько сантиметров диаметром протачиваются в стеклянной пластине следующим образом. На торцевой поверхности латунной или медной трубки соответствующего диаметра (внешнего) зашлифовывается большое количество зазубрин; затем трубку зажимают в станке и просверливают сначала кусочек картона, который затем приклеивается на замазке (воск-канифоль) к стеклянной пластине с целью предотвратить боковые движения сверла. Затем насеченная поверхность сверла смазывается густой кашицей из наждака и воды, пускают в ход станок и, слегка надавливая, протачивают в стекле отверстие. Для того чтобы избежать откалы-

вания стекла с обратной стороны, сверление производят с обеих сторон до середины пластины. Сверло должно все время смачиваться кашицей из наждака. Массивные куски стекла могут быть подобным же образом распилены при помощи циркулярной пилы или же проволоки, охватывающей стекло полукругом, смазываемым наждачной кашицей. Не трудно таким же способом притереть стеклянную пробку или не плотно запирающий кран, только при этом после нескольких оборотов следует, вынимая пробку, перераспределять наждак во избежание образования борозд.

б) Сверление стекла. Отверстия диаметром менее миллиметра можно просверлить без помощи наждака, пользуясь возможно тверже закаленным сверлом или же небольшим остро заточенным напильником. Сверло смачивается скипидаром, лучше раствором камфары в скипидаре. Для облегчения начала сверления на месте отверстия алмазом нацарапывается крестик.

с) Резка стекла алмазом. «Алмаз для резки стекла», который состоит из заточенного особым образом алмаза на рукоятке характерной формы, достаточно всем известен. Если алмаз ведется с легким нажимом и правильным наклоном, то возникает особенный ноющий звук, и полученная поверхностная царапина легко обращается в трещину. При самых незначительных отклонениях алмаз начинает скрести; образующаяся при этом широкая белая царапина не дает трещины, и стекло не обламывается по надрезу. Кроме того алмаз в этом случае сильно портится. Поэтому всякий алмаз рекомендуется предварительно испробовать и в дальнейшем пользоваться исключительно нажимом и наклоном, найденным при испытании. После проведения надреза пластину переворачивают и, постукивая колодкой алмаза над резкой, вызывают образование трещины. Затем сгибая и слегка растягивая, гладко отрывают отрезанную часть. Для нарезки в темной комнате фотопластинок определенного формата рекомендуется изготовить специальный шаблон. К дощечке подходящих размеров привертывают, подложивши прокладки из картона, линейку с таким расчетом, чтобы под нее свободно вдвигалась пластинка. Два забитых на определенных местах гвоздика служат для пластины упором и определяют таким образом необходимый размер.

д) Алмаз для письма по стеклу обычно имеет вид карандаша, на конце которого вмазан маленький угловатый осколок алмаза. Им пользуются для нанесения делений или же каких-либо обозначений и букв на стекле и кварце.

Для получения очень тонких штрихов поверхность стекла (по Кольраушу) смачивают водой и тщательно выверяют наилучшее положение карандаша, зажатого в каретке делительной машины, рассматривая пробный штрих под сильным увеличением микроскопа. Таким образом без особых затруднений удается получить бороздки около 1  $\mu$  ширины.

с) Травление стекла. Фтористый водород, растворяя кремневую кислоту и образуя фтористый кремний, разъедает поверхность стекла и кварца. Обычно для этой цели физик пользуется 50%-ным раствором (в воде) фтористого водорода, «плавиковой кислотой», хранящейся в каучуковом сосуде. Раствор дымит на воздухе и дает сильно разъедающие и весьма ядовитые пары. Части стекла, не подвергающиеся травлению (также обратная сторона пластины) предохраняются посредством нанесения на разогретую пластину защитного слоя — «основы»: воска, парафина, пичеина. Очень хорош следующий рецепт, предложенный Фриком: смешиваются 4 части белого воска, 2 мастики, 1 асфальта и 1 скипидара и в течение  $\frac{1}{2}$  часа поддерживаются в расплавленном состоянии, для того чтобы дать возможность осесть загрязнениям. Затем сливают верхнюю часть расплавленного вещества в холодную воду, придают застывшей массе форму шара размером куриное яйцо и обертывают его шлаком. Для получения на стекле защитного слоя проводят изготовленным комом по разогретой пластине, причем мастика тает с поверхности под шелком. Даже очень тонкого слоя вполне достаточно для защиты стекла. По Коттону [8] можно пользоваться в качестве «основы» слоем серебра на посеребренной пластине. В «основе» процарапывается желаемый рисунок и затем наносится и распределяется при помощи пера или щепочки несколько капель плавиковой кислоты. По прошествии нескольких минут (необходимы пробные опыты) пластина промывается в проточной воде, и при помощи нагревания удаляется защитный слой. В полученные углубления можно втереть черную или красную масляную краску, избыток которой удаляют при помощи жесткой бумаги.

Травление производится также при помощи газообразного фтористого водорода, образующегося при действии концентрированной серной кислоты на измельченный плавиковый шпат. В качестве сосуда берется в этом случае свинцовая ванночка, которую слегка подогревают для ускорения реакции. При использовании газообразной плавиковой кислоты травленая поверхность получается матовой, при употреблении жидкой — остается прозрачной. Однако для тонких линий различие



обычно не велико. Последний описанный способ может быть использован для изготовления весьма тонкозернистых матовых экранов с хорошей пропускаемостью света. Более подробно об этом смотри в книге Ангерера «Технические приемы» ([25] ссылка на литературу к гл. I).

Если желают вырезать кружок из очень тонкого стекла (например покровного стеклышка микроскопа, 0,18 мм), то, прочертив в нанесенном слое окружность, подвергают его долгое время травлению, после чего обрисованный кружок легко выламывается. Изготовление зеркал для гальванометра см. стр. 58.

## ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА

### СЕРЕБРЕНИЕ СТЕКЛА, СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ

#### 1. Химические методы серебрения, золочения, омеднения стекла, кварца, кристаллов

Еще Либих показал, что, восстанавливая серебро из раствора азотнокислого серебра, можно получить плотный блестящий осадок. Однако вообще серебро выпадает в виде черного рыхлого порошка, и только при вполне определенной концентрации, температуре и главным образом при определенном восстановителе удается получить хороший зеркальный слой. Для всех описанных ниже методов основным условием успеха является соблюдение возможно большей чистоты как серебряной поверхности, так и всех употребляемых при этом сосудов.

**Подготовка поверхности.** После удаления остатков старого слоя азотной кислотой и быстрой промывки зеркало переносят в стеклянную ванночку, в которой производится серебрение, и погружают его в крепкий раствор калийной или натронной щелочи, так чтобы над зеркалом находился слой жидкости 5—10 мм высотой; прикрыв ванночку, ее оставляют стоять в течение  $\frac{1}{2}$ —24 час.; затем поверхность пластины тщательно протирается при помощи ватного тампона, вставленного в стеклянную трубку.

Для приготовления щелочи растворяют 3—4 кусочка едкого натра (*Natrium anhydricum depuratum*) или калия в 200—300 см<sup>3</sup> воды. При растворении выделяется большое количество теплоты. Вместо обработки щелочью некоторые авторы рекомендуют простую промывку водой с мылом.

Сливши щелочь (оставляется в запас), тщательно промывают пластину и заливают чистой концентрированной азотной кислотой, в которой пластину держат значительное время, после чего ее вновь протирают при помощи ваты (свежей) или асбестового волокна. Некоторые авторы для лучшей очистки поверхности наносят на первую или вторую вату некоторое количество полировального крокуса. Особенно важно хорошо обезжирить поверхность стекла. Азотная кислота растворяет жир сравнительно плохо и может оказаться загрязненной. Если сомневаются в безупречности имеющейся в распоряжении кислоты, лучше воспользоваться хромовой смесью. Она представляет собой раствор двуххромовокислого калия или хромовой кислоты в концентрированной серной кислоте (примерно 10 г на литр). Полученная бурая жидкость является весьма энергичным очищающим средством. Раствор может применяться повторно до тех пор, пока он не примет зеленой окраски. Жидкость очень сильно разогревается при смешении с водой, поэтому следует соблюдать известную осторожность при вливании хромовой смеси в сырую посуду.

После обработки кислотой зеркало ополаскивается несколько раз обычной, а затем дистиллированной водой и в дальнейшем до серебрения хранится под слоем дистиллированной воды\*.

Подобным же образом очищаются все сосуды, употребляемые для составления растворов; не обязательно только протирание ватой.

а) — Получение прочного непрозрачного слоя.

Рецепт Брэшира. Весьма прочный слой. Этот метод применяется почти исключительно для серебрения больших отражающих зеркал, у которых слой серебра подвергается в дальнейшем полировке. Для серебрения зеркал гальванометра способ не является практичным: если нет под руками приготовленного заранее восстановителя, о применении его не может быть и речи. Для получения восстановителя Брэшира более высокого качества последний должен выдерживаться по крайней мере в течение месяца, а, в случае если это возможно, и более года. В этом случае он приобретает приятный ароматический запах и становится неограниченно стойким.

---

\* Слой серебра пристает лучше, если поверхность зеркала перед промывкой в дистиллированной воде окунуть в крепкий раствор двуххлористого олова  $\text{SnCl}_2$ .

## Восстановитель R:

Дистиллированной воды . . . . .	500 см <sup>3</sup>
Чистого сахара (кандийский кристаллический) . . .	45 г
Концентрированной азотной кислоты . . . . .	2 см <sup>3</sup>
96 %-ного спирта . . . . .	87 см <sup>3</sup>

Смешение производится в указанной последовательности. Раствор для серебрения S. Этот раствор каждый раз готовится заново; в крайнем случае им можно еще пользоваться на следующий день. Приведенные количества рассчитаны на зеркало в 200 см<sup>2</sup> поверхности. Заготавливаются: три вымытые и высушенные колбочки Эрленмейера — 1) на 150, 2) на 20 и 3) на 15 кубиков, 4) одна бюретка на 20 см<sup>3</sup> и 5) одна мензурка на 50 см<sup>3</sup>. В 1-ю отвешивают  $4 \pm 0,1$  г азотнокислого серебра и добавляют 40 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, во 2-ю  $2 \pm 0,1$  г едкого кали или натра, которые должны быть очищены спиртом и вполне свободны от углекислых соединений, и добавляют 20 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Бюретка заполняется продажным аммиаком. От раствора 1 отливается приблизительно  $\frac{1}{3}$  в колбочку 3. К оставшимся  $\frac{2}{3}$  осторожно, при энергичном встряхивании, прибавляется по капле аммиак из бюретки до тех пор, пока не растворится образующийся вначале осадок гидрата окиси серебра шоколадного цвета. Для этого требуется приблизительно 6 см<sup>3</sup> аммиака. Затем, также при энергичном встряхивании колбы, подливается щелочь 2. При этом образуется густой осадок, черный при едком кали, темнокоричневый при едком натре. Сейчас же опять добавляют аммиака до тех пор, пока не исчезнет осадок, затем некоторое количество запасного раствора азотнокислого серебра из 3, пока осадок не образуется вновь; тогда опять добавляют несколько капель аммиака и т. д., пока не будет истрачен запасный раствор серебра. Для этого потребуется примерно 8,5 см<sup>3</sup> аммиака и, следовательно, всего около 14,5 см<sup>3</sup>. Последним добавляется серебро. Существенно, чтобы раствор в результате остался несколько мутным и имел коричневато-желтый оттенок. Затем полученный состав фильтруется (через рыхлую ватную пробку, вставленную в горлышко воронки) и сейчас же пускается в употребление. При долгом стоянии может образоваться сильно взрывчатое азотисто-водородное серебро.

Серебрение выполняется следующим образом: в ванночке смешивают 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 26 см<sup>3</sup> рас-

твора  $R^*$  и погружают в нее зеркало, очищенное предварительно указанным выше способом. Затем проверяют температуру смеси, которая должна равняться  $17^\circ$ , самое большее  $19^\circ$ , и вливают раствор  $S$ , покачивая одновременно кювету. Почти тотчас же жидкость получает окраску разжиженных чернил; по прошествии некоторого времени, около  $\frac{1}{2}$  минуты, стенки кюветы покрываются блестящим слоем серебра, жидкость принимает окраску цвета глины, и в ней образуется серый осадок, которому не дают оседать, покачивая все время кювету \*\*. Через несколько минут реакция заканчивается.

Неудача обычно обуславливается неправильной, слишком высокой или низкой, температурой или же изменившимся действием восстановителя. Слой при этом получается очень тонким и легко отдирается. Поэтому при серебрении больших зеркал следует сделать несколько предварительных опытов, истратив на это несколько кубиков раствора  $S$  и увеличивая или уменьшая содержание  $R$  в пределах до  $\pm 25\%$  предписанной величины. Если желают получить особенно прочный слой, то можно произвести серебрение дважды, разделив раствор пополам.

Когда в жидкости образуются плотные серо-желтые хлопья, ее сливают, споласкивают зеркало несколько раз дистиллированной водой, вынимают из ванночки и ставят на ребро для просушки. При всех манипуляциях зеркало берется только за ребра чистыми нежирными пальцами. Если отражение при работе с зеркалом будет производиться со стороны стекла, то слой для защиты может быть непосредственно покрыт каким-либо лаком; обратная (стеклянная) сторона отмывается от отложившегося на ней осадка при помощи бумаги, смоченной в разбавленной азотной кислоте. Несколько сложнее обработка полученного слоя в случае, если зеркало предназначается для отражения со стороны слоя: в этом случае приходится при помощи шлифовки удалить образующуюся на слое муть молочного цвета — «иней». Для этого поверхность сначала протирается при осторожном надавливании чистой замшей для уплотнения слоя и затем долгое время полируется, до полного исчезновения «иней», при помощи замши с нанесенным на нее полировальным

---

\* Очень большое зеркало можно окружить (заливая парафином) барьером из парафинированной бумаги; таким образом, зеркало само будет служить как бы дном сосуда.

\*\* При больших зеркалах можно слой осторожно протирать кусочком ваты.

крокусом. Зачастую покупной крокус бывает для этой цели недостаточно тонкого помола. Между серебрением и полировкой лучше пропустить несколько дней.

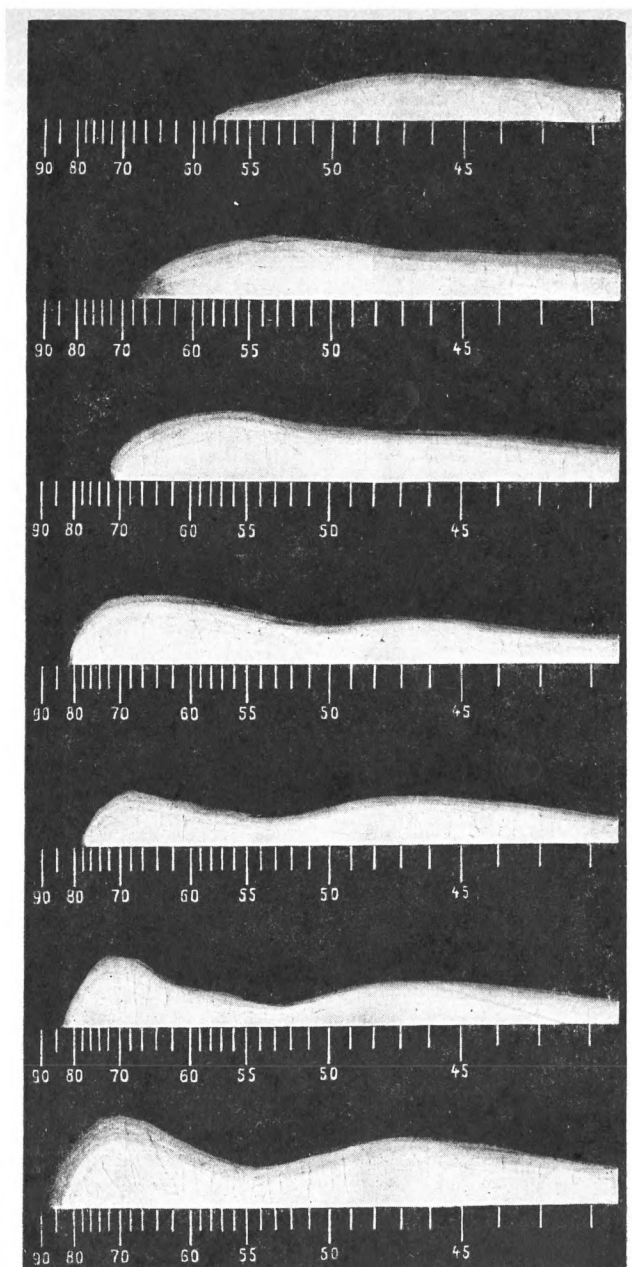
**Сохранение слоя.** Зеркальная поверхность, отражательная способность которой (по английским источникам) должна составлять 98%, постепенно мутнеет благодаря образованию сернистого серебра. Процесс значительно замедляется, если зеркало, когда им не пользуются, загораживать экраном из фильтровальной бумаги, пропитанной свинцовым сахаром, или же слой покрыть цапоновым лаком (Zaponlack), причем, разумеется, несколько пострадают оптические качества зеркала.

**Рецепт Боттхера.** Прочный слой. Способ Боттхера наиболее пригоден для физической лаборатории, где часто в работе встречается необходимость в серебрении стеклянных полосок и зеркалец для гальванометра и нет возможности затрачивать на эту работу много времени. Оба раствора *S* и *R* могут сохраняться (в темноте) около  $\frac{1}{2}$  года и при серебрении смешиваются в отношении 1 : 1; влияние температуры в этом случае значительно меньше, чем при способе Брэшира, однако слой получается несравненно нежнее и почти не допускает полировки. Более обстоятельно этот способ описан в «Технических приемах» (см. [25] ссылку на литературу к гл. I).

**Подготовка поверхности зеркала.** Производится точно так же, как указано выше (стр. 44).

**Заготовка растворов:** 2 колбы Эрленмейера на 500 см<sup>3</sup>, 1 колба на 100 см<sup>3</sup>, 1 бюретка на 20 см<sup>3</sup> и 3 пробирки. В пробирки отвешивают:  $5 \pm 0,1$  г азотнокислого серебра;  $1 \pm 0,02$  г азотнокислого серебра;  $0,83 \pm 0,01$  г сегнетовой соли (двойная соль калия-натрия виннокаменной кислоты). В двух последних пробирках соль растворяется в небольшом количестве дистиллированной воды.

**Раствор для серебрения *S*.** В полулитровой колбе растворяется 5 г азотнокислого серебра в 200 см<sup>3</sup> воды. Как и при способе Брэшира,  $\frac{1}{8}$  раствора оставляется в маленькой колбе в резерве. К оставшейся части добавляется понемногу аммиак, до тех пор пока не исчезнет образующийся вначале осадок шоколадно-коричневого цвета; затем прибавляют серебро из запасного раствора до появления осадка и т. д., пока не истратится весь запас серебра и жидкость не будет давать слабый опалесценции. Если для этого окажется недостаточным оставленного в запасе раствора, можно развести добавочно еще некоторое количество азотнокислого серебра и, добавляя его каплями, добиться образования легкой мути.



**Чувствительность сенсibilизированных пластинок.**

А н г е р е р. Лабораторная техника.

После этого раствор фильтруется и разбавляется до 500 см<sup>3</sup> дистиллированной водой.

Восстановитель *R*. Во вторую полулитровую колбу наливают 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и доводят ее до кипения. Затем подливают постепенно раствор 1 г азотно-кислого серебра из пробирки. (Не охлаждать при этом заметно жидкость!) Когда вновь установится кипение, доливают раствор сегнетовой соли. Жидкость принимает сначала коричневую, затем серую окраску. По прошествии 1—2 мин. реакция заканчивается, серый осадок отфильтровывается и раствор охлаждается.

При серебрении на зеркало, лежащее в ванночке, предварительно очищенное и еще влажное, наливают раствор *S* и такое же количество раствора *R*; последовательность безразлична, указанное соотношение не обязательно соблюдать точно. Лучше, но также не обязательно, при серебрении покачивать ванночку. В остальном процесс идет так же, как при серебрении по способу Брэшира: жидкость остается в течение нескольких минут прозрачной, в то время как на стенках образуется голубой прозрачный налет серебра. Он постепенно усиливается, жидкость становится мутной, и на ее поверхности появляются небольшие островки выпавшего серебра. Слишком старый, уже помутневший раствор дает обычно плохой слой.

Дальнейшая обработка такая же, как и при способе Брэшира. Слой, который в этом случае не покрывается молочным «инеем», а получает золотистую окраску, может также переносить полировку, хотя и не так хорошо.

Рецепт Коттона. Прочный слой. Часто в качестве восстановителя применяется виноградный сахар или же формалин. В последнем случае обычно пользуются рецептами братьев Люмьер [1] и Ирвинга [2]. Недавно Коттон [3] указал метод, который, пожалуй, несколько более удобен, чем метод Брэшира. По Коттону раствор для серебрения *S* готовится так:  $15 \pm 2$  г азотнокислого серебра растворяют в литровой колбе в дистиллированной воде (свободной от хлора) и добавляют (как выше) аммиак, пока не исчезнет осадок. Для этого аммиака требуется примерно 17 см<sup>3</sup>. (Здесь раствор также должен быть прозрачным.) Затем раствор разбавляется до 1 л, и измеряется его температура  $\theta$ .

Наиболее благоприятное для серебрения количество формалина определяется каждый раз при помощи предварительных опытов: к 15 см<sup>3</sup> раствора добавляют сначала (при помощи

капельницы) 13 капель формалина. Это количество правильно, если по прошествии нескольких секунд раствор получает серо-фиолетовую опалесцирующую окраску и далее, по мере того как на стенках образуется зеркальный слой серебра, окрашивается в сине-чёрный цвет и позднее в стальной. Лучшей температурой бывает та, при которой приготавлился состав S. Берется такое количество S, которое могло бы покрыть зеркало слоем в несколько миллиметров, отдельно отмеривают каплями формалин, затем перемешивают жидкости и выливают смесь сейчас же на зеркало. При осаждении ванночку все время покачивают. Для получения особенно толстого слоя серебрение можно повторить.

Дальнейшая обработка и полировка производятся совершенно так же, как указано выше при описании способа Брэшира.

Химическое золочение по Вернике. В 1868 г. В. Вернике указал метод изготовления золотых зеркальных поверхностей. Так как этот метод в настоящее время основательно забыт, мы приводим здесь соответствующие выдержки [4]:

«Для получения на стекле блестящего, крепко пристающего слоя золота пользуются тремя растворами; растворы сохраняются долгое время и смешиваются при употреблении в определенной пропорции.

1. Раствор хлористого золота в воде — 1 г на 120 см<sup>3</sup>. Хлористое золото растворяется в возможно меньшем количестве царской водки, затем избыточная кислота выпаривается на песочной бане, и раствор разбавляется водой до 120 см<sup>3</sup>. При этом нет необходимости в том, чтобы хлористое золото, содержащее соляную кислоту, разогревалось до образования хлорного соединения, так как содержание очень малых количеств кислоты не имеет особого значения для получения хорошего слоя. Напротив, весьма важно, чтобы раствор не содержал металлов, выпадающих при действии восстановителя, в особенности серебра.

2. Раствор едкого натра — удельный вес 1,06. Необязательно, чтобы щелочь была химически чистой.

3. Восстановитель. Смешивают 50 г английской \* серной кислоты, 40 г спирта и 35 г воды, добавляют 50 г тонко измельченной перекиси марганца и перегоняют на песочной бане при умеренном нагревании. Пары отводятся в сосуд, содержащий 50 г холодной воды. Дистилляция продолжается до тех пор, пока объем воды не удвоится. К полученной

\* Т. е. почти концентрированной.



жидкости, содержащей альдегид и некоторое количество уксусного муравьиного эфира, добавляется 100 см<sup>3</sup> спирта и 10 г тростникового сахара, обработанного азотной кислотой, затем добавляют дистиллированной воды до 500 см<sup>3</sup>. Обработка сахара производится следующим образом: 10 г обычного сахарного песку растворяют в 70 см<sup>3</sup> воды, раствор разбавляется 0,5 г азотной кислоты с удельным весом 1,34 и кипятится в течение четверти часа.

Восстановитель, если его хранить в надежно закупоренной бутылке, может употребляться в течение нескольких месяцев.

Для выполнения золочения плоского или же вогнутого зеркала подбирают подходящий стеклянный сосуд. В нем смешивают одну часть раствора едкого натра с четырехкратным объемом раствора золота и добавляют туда же  $\frac{1}{35}$ , самое большее  $\frac{1}{30}$  часть оставшегося восстановителя. Благодаря выпадению золота жидкость сейчас же окрашивается в зеленый цвет; тогда приводят стеклянную поверхность, на которой желают получить осадок, в соприкосновение с раствором, так чтобы золото могло осаждаться снизу вверх. Быстрота процесса зависит от температуры. При средней комнатной температуре (19° С) золото начинает оседать по прошествии 30 мин.; по истечении 1½ часов образуется слой, имеющий в проходящем свете роскошную зеленую окраску; после 2½—3 часов слой пропускает только темнозеленый свет. При 55—50° С осадок становится заметным уже после 20—15 мин., при 75° С еще скорее; однако дальнейшее повышение температуры является уже нецелесообразным, так как слой при более теплой ванне пристает значительно хуже к стеклу. Внутри указанных границ качество зеркала остается неизменным как в отношении блеска, так и относительно прочности слоя. Однако не исключена возможность того, что воздух, всегда имеющийся в незначительных количествах в жидкости, начнет при нагревании выделяться в виде пузырьков, благодаря чему в слое могут образоваться тончайшие отверстия и щели, которые хотя и не заметны в отраженном, но становятся видимыми в проходящем свете. Поэтому при применении теплой ванны является целесообразным до погружения стекла прогреть щелочной раствор золота почти до кипячения. Полученное тем или иным способом зеркало тщательно ополаскивается водой и ставится для просушки наклонно около стены. Под зеркало подкладывается фильтровальная бумага; сушка производится при комнатной температуре. По высыхании слой полируют.

Подготовка и очистка стеклянной поверхности происходит так же, как при серебрении».

Однако при золочении последняя промывка в отличие от серебрения производится при помощи щелочи, а не кислоты.

Автор получал прочный, темнозеленый на просвет осадок золота, смешивая 10 см<sup>3</sup> 2%-ного раствора желтого хлористого золота в воде, 5 см<sup>3</sup> 5%-ного раствора едкого натра и 1 см<sup>3</sup> восстановителя Брэшира (стр. 45). Раствор сейчас же окрашивается в зеленый цвет, но получение осадка продолжается несколько часов. В этом случае температура сказывается только на длительности отложения, но не влияет на качество осадка. При использовании раствора Брэшира в качестве восстановителя зеркало не допускает полировки.

Медные зеркала по Френчу [5]. Получение медного осадка на стекле представляет значительно больше трудностей, чем серебрение или золочение. Недавно Френч, основываясь на более ранних опытах Фарадея (1857) и Гэтэвэй (1907), разработал для этой цели следующий метод.

Очистка стеклянной поверхности. Зеркало моется сначала в концентрированной азотной кислоте, а затем в водопроводной воде. Далее, его погружают на ½ часа в 1%-ный раствор едкого кали, после чего отмывают в течение ½ часа в воде, сначала обычной, а затем в дистиллированной. После этого поверхность зеркала полируется при помощи тщательно обезжиренной тряпки. Удовлетворительное удаление следов жира может быть достигнуто следующим способом: тряпка держится некоторое время в мыльной кипящей воде; затем продолжают кипячение, часто сменяя воду, до тех пор пока она не будет оставаться совершенно прозрачной. Обезжиренная таким образом тряпка берется в дальнейшем только при помощи чистого металлического пинцета.

Раствор для омеднения. Приготавливают 11,1%-ный раствор едкого кали, затем насыщенный при 16° раствор гидрата окиси меди в аммиаке (удельный вес 0,880) и отфильтровывают их через стеклянную вату. Растворяют 9 г сернокислого гидразина в 150 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и подогревают раствор до 60°. Затем при одновременном взбалтывании прибавляют 90 см<sup>3</sup> медного раствора при 16°. В результате получается жидкость, имеющая чистую желтую окраску. Ею протирают поверхность зеркала. Далее, также при непрерывном встряхивании, подливают 87,5 см<sup>3</sup> калиевой щелочи, нагретой до 60°. При этом жидкость принимает светложелтую окраску и не должна давать никаких осадков. Она сейчас же выливается в медную ванночку, поддерживаю-

щуюся в водяной бане при  $43^{\circ}$ , и туда же погружается зеркало. Ванночку некоторое время покачивают и затем медленно поднимают температуру бани до  $57^{\circ}$ . Раствор становится темнозеленым и остается таким минут 15; затем появляется розовый оттенок, и через 20 мин. образуется медный слой. Для того чтобы его усилить, следует зеркало вынуть из бани, добавить еще 50 кубиков медного раствора при  $16^{\circ}$  и  $10 \text{ см}^3$  калиевой щелочи при  $60^{\circ}$ ; затем температуру ванны опять доводят до  $43^{\circ}$ , погружают зеркало и, вновь подогревая при непрерывном покачивании, поднимают температуру бани до  $50^{\circ}$ . Для дальнейшего усиления слоя опять производится охлаждение до  $43^{\circ}$ , прибавляется  $60 \text{ см}^3$  раствора 1 г сернокислого гидразина в указанном выше растворе, гидроксид меди-аммиак, и ванна вновь разогревается до  $50^{\circ}$ .

Более значительное усиление слоя можно получить при помощи электролиза. Электролит готовится следующим образом: растворяют 1 часть винного камня (кислый виннокислый калий) в 10 частях воды, добавляют углекислой окиси меди до насыщения раствора и прибавляют некоторое количество едкого кали, чтобы получить щелочную реакцию. Сила тока не должна превышать  $0,25 \text{ А/дм}^2$ .

б) Химические способы получения тонких равномерно прозрачных слоев серебра. Прозрачные слои серебра употребляются главным образом в интерферометрах для разделения светового луча на две части. Слой в этом случае должен быть, с одной стороны, весьма равномерным, без намека на какую-либо облачную структуру, и, с другой стороны, должен также хорошо отражать. В этой области химические методы почти совершенно вытеснены катодным распылением, описанным ниже. Однако недавно Тваймэн в своей работе вновь применил химическое серебрение. Лучшие результаты дают следующие методы:

Рецепт Эдера и Штансфильда [6] для получения полупрозрачного слоя: растворяется 1 г азотнокислого серебра в  $20 \text{ см}^3$  дистиллированной воды; добавляется аммиак до полного растворения образующегося вначале осадка. Сверх того добавляется раствор 1,5 г едкого кали в  $40 \text{ см}^3$  воды и вновь аммиак до растворения осадка. После этого раствор фильтруют и разбавляют до  $300 \text{ см}^3$ .

Раствор для восстановления  $R$ : 1,8 г молочного сахара растворяется в  $20 \text{ см}^3$  горячей дистиллированной воды. Для серебрения смешивают 30 частей  $S$  с 2 частями  $R$ . Для получения полупрозрачного слоя требуется 10 мин.; для получения непрозрачного слоя серебрение производится в течение часа.

Рецепт Перо и Фабри для получения полупрозрачного слоя серебра:

Раствор  $S$ : 4 г азотнокислого серебра в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Раствор  $S'$ : 6 г азотнокислого аммония в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Раствор  $R$ : 10 г сахара растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и добавляют 2,3 г виннокаменной кислоты. Дают раствору кипеть в течение 10 мин., затем охлаждают, добавляют 20 см<sup>3</sup> спирта и разводят дистиллированной водой до 200 см<sup>3</sup>.

Раствор  $R'$ : 10 г едкого кали в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Непосредственно перед серебрением смешивают отдельно равные части  $S$  и  $S'$  и также  $R$  и  $R'$  и сливают их вместе в ванночке, предназначенной для серебрения.

Цвеч [7] несколько изменил рецепт, указанный ранее Пфундом [8]:

Раствор  $S$ : 5 г азотнокислого серебра на 500 кубиков дистиллированной воды; туда же добавляется такое количество аммиака, чтобы почти уничтожить осадок (ср. со стр. 48).

Раствор  $R$ : 2,6%-ный раствор формалина в воде заготавливается за день до употребления.

Растворы  $S$  и  $R$  смешиваются в равных количествах. Цвеч показал, что скорость реакции зависит от действия света. При свете ртутной лампы реакция происходит слишком быстро, при свете обычной лампочки слишком медленно. Наиболее благоприятным является дневной рассеянный свет.

При некотором опыте можно также использовать для изготовления полупрозрачных осадков раствор Воттхера (см. стр. 48). Для получения удовлетворительных результатов необходимо пользоваться свежеприготовленным раствором. Зеркало кладется на соответствующую подставку слоем вниз. Ванночку все время покачивают и прерывают реакцию по достижении слоя достаточной толщины. Этот момент можно определить, держа ванночку во время хода реакции над лампочкой накаливания.

Полировка зеркал с полупрозрачным слоем. При всех описанных способах рекомендуется увеличить отражательную способность полученного слоя при помощи последующей полировки. Для этого обычно пользуются пуховкой из мягкого пуха, насаженной на ось небольшого электромотора, или же вращающимся деревянным точеным цилиндром с наклеенным на него в большом количестве пухом. Пух по-

сыпается полировальным крокусом, мотор приводится в действие, и зеркало прижимается к пуху. Полировка занимает продолжительное время.

Зеркала для интерферометра должны иметь на просвет светлую небесно-голубую окраску и быть свободными от какой бы то ни было кристаллической структуры.

При серебрении по методу Тваймэна, ввиду нежности слоя, полировка является необязательной. Тваймэн [9] пользуется двумя растворами для восстановления, из которых один  $R_1$  составляется подобно раствору Брэшира и также выдерживается после приготовления по крайней мере в течение двух недель: смешивается 40 г сахара, 20 см<sup>3</sup> спирта, 1 см<sup>3</sup> азотной кислоты и дополняется 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Раствор  $R_2$ : 40%-ный раствор формалина. Раствор  $S$ : 2 г азотнокислого серебра растворяются в 20 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и добавляется так же, как описано на стр. 46 и 48, аммиак до получения нежного серо-желтого осадка. Затем раствор фильтруется и разводится дистиллированной водой до 10 см<sup>3</sup>. Для получения слоя зеркало погружается в 100 см<sup>3</sup> раствора  $S$ . Предварительная очистка производится путем промывки, сначала в азотной кислоте, а затем (погружается на 5 мин.) в хромовой смеси. Добавляют туда же 5 кубиков смеси  $R_1$  и  $R_2$ . Как только начнет образовываться осадок, жидкость сливается, и серебрение продолжается в растворе  $S$  (без добавления  $R'$ ) до тех пор, пока слой не достигнет желаемой толщины.

## 2. Метод вжигания для покрытия стекла платиной, золотом, серебром и иридием

Сущность метода заключается в том, что при нагревании до известной температуры некоторые растворы благородных металлов разлагаются, образуя на стекле (кварце) металлическое зеркало. При дальнейшем нагревании осадок металла достаточно прочно вжигается в стекло. Соответствующие растворы, приготовление которых связано обычно с большими трудностями, рекомендуется приобретать в готовом виде. Только раствор для платинирования составляется сравнительно просто и требует небольшого количества материала.

Кунд [10] для этой цели указывает следующий рецепт: 1 г «хлористой платины» (хлороплатиновая кислота  $H_2PtCl_6$ ) растворяется в 3 г абс. спирта и добавляется 10 см<sup>3</sup> концентрированного раствора борной кислоты в спирту; затем добавляют 20 см<sup>3</sup> смеси венецианского терпентина и лавандового

масла (в соотношении, при котором получается густой раствор). Полученная жидкость является неограниченно стойкой. Однако она выделяет постоянно незначительные количества хлороводорода, постепенно разъедающего корковую пробку.

Рейнберг [11] получил равномерную зеркальную поверхность, пользуясь раствором хлористого висмута, не применяя лавандового масла. 1 г хлористого висмута растворяется в 20 см<sup>3</sup> спирта, добавляется 1 см<sup>3</sup> соляной кислоты и непосредственно перед употреблением раствор разбавляется спиртом до 120 см<sup>3</sup>. Для получения раствора для платинирования он смешивал:

3 см<sup>3</sup> 6%-ного раствора хлопчатобумажного пороха в чистом метиловом спирте,

3 см<sup>3</sup> 6%-ного раствора «хлористой платины» в алкоголе,  
3 см<sup>3</sup> спирта,

1 см<sup>3</sup> указанного выше раствора хлористого висмута.

Покрываемую поверхность стекла обмывают приготавленным таким образом составом и разогревают, лучше всего, в электрической печи. Жидкость темнеет, выпаривается, и наконец образуется металлический зеркальный слой, который при дальнейшем разогревании (500°) прочно вжигается в стекло \*. Более плотную оболочку можно получить, многократно повторяя описанную процедуру. Отражательная способность такого рода платинового слоя составляет 70% для красного и 56% для синего света. Описанный метод часто применяется при спайке стекла с металлом [13], а также для получения на стекле химически устойчивого проводящего слоя.

### 3. Катодное распыление

Катодное распыление применяется для получения тонких, главным образом полупрозрачных, слоев серебра, золота, палладия, а также силиция и селена.

В этой области указания различных авторов сильно расходятся. В то время как один работает при сравнительно малом напряжении (1 000 V), пользуясь для этого батареей аккумуляторов, другой применяет 10 000—15 000 V, получаемых от индуктора или же трансформатора; в последнем случае одни применяют выпрямление, другие же пользуются непосредственно переменным током. Давление варьируется от 1 до 0,2 мм. Также не может считаться однозначно решенным вопрос о том, получается ли лучший слой в атмосфере чистого

\* Штейнбах находит, что для оптических зеркал достаточно 350° [12].

водорода или же в воздухе, содержащем пары органических веществ; этот вопрос особенно важен при изготовлении зеркал для интерферометра. Как известно, М. Дикман [14] технически усовершенствовал этот метод. В его установке свернутый в виде рулона объект, медленно развертываясь, протягивался перед катодом. Автор этой статьи видел у него тонкую целлулоидную фольгу размером в несколько квадратных сантиметров имевшую на просвет чисто голубую окраску, какой обладают зеркала интерферометра, хотя в данной установке не проявлялось особой заботливости о чистоте. Хороший осадок получается только при голубовато-белом разряде (эта окраска в основном создается за счет спектров Свана) и не получается в случае, когда в силу неизвестных причин появляется красное свечение. Важно заметить, что при плотности тока, превышающей  $5 \text{ mA/cm}^2$ , при которой катод разогревается почти до красного каления, наносятся сравнительно грубые, легко отделяемые частички и, далее, что сильный отрицательный заряд покрываемой пластины может в значительной мере препятствовать осаждению [15].

Для получения хороших результатов рекомендуется: возможно большие размеры распылителя, наполнение чистым водородом, по возможности охлаждение жидким воздухом, расстояние между катодом и поверхностью зеркала в несколько сантиметров, применение выпрямленного переменного тока и плотность тока  $0,5\text{—}1,5 \text{ mA/cm}^2$ . Вакуум должен быть настолько высоким, чтобы темное катодное пространство доходило до стеклянной пластины. Очень хорошо, если имеется специальная ширма, которая экранирует зеркало вначале, откидываясь только по прошествии  $\frac{1}{4}$  часа. На рис. 12 изображена подобная установка. Металлическая

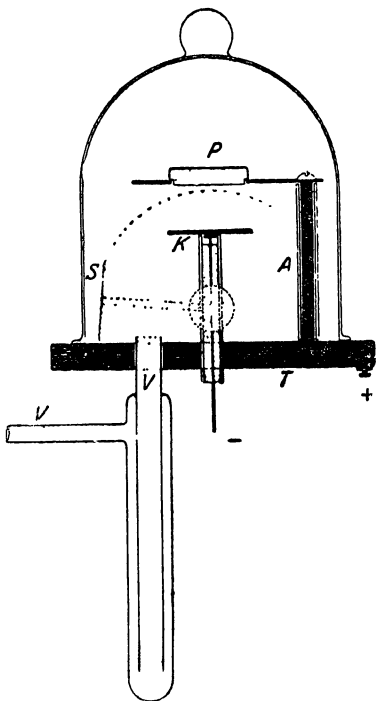


Рис. 12. Аппарат для катодного распыления.

тарелка  $T$  (латунь) служит анодом. На ней укрепляется на соответствующей стойке, изолированной при помощи стеклянной трубки  $A$ , металлическое кольцо, на которое кладется слоем вниз опыляемая пластинка  $P$ . Катод  $K$  представляет собой металлический диск около 50 мм диаметром. Он укрепляется, как показано, при помощи стеклянной трубки и защищается с нижней стороны кружочком слюды.  $S$  — ширма, которая может проходить мимо пластинки, вращаясь около шлифа, вделанного сбоку в колпак. Перед распылителем в вакуумопровод вводится «ловушка» (см. стр. 58). Металл катода должен быть химически чистым. По Бэрнсу [16] для изготовления пластин интерферометра применяется для длин волн: 9 000—5 800 Å — медь, 7 500—3 500 Å — серебро, 3 500 — 2 300 Å — никель, а также алюминий или силиций, которые однако не так легко распыляются. Осадки обладают, как показал Калер [17], при помощи метода Дебай-Шеррера, кристаллической структурой. Регулировка фазы при пластинах Перо и Фабри может изменяться с годами вследствие постепенной кристаллизации металла [16].

#### 4. Возгонка

Металлы, обладающие сравнительно невысокой точкой плавления, как, например, алюминий, магний, цинк, при возгонке в высоком вакууме дают на стекле блестящий зеркальный осадок [18]. Металл раскаляется в небольшом тигле, нагреваемом при помощи тока; зеркало располагается над тиглем слоем вниз.

#### Дополнение

Изготовление зеркал для гальванометра. К оптическим качествам зеркал для гальванометра предъявляются значительно большие требования, чем обычно думают, но все же при величине зеркала в несколько миллиметров является довольно вероятным найти удовлетворительный экземпляр среди нескольких зеркалец, приготовленных из обыкновенных микроскопических покровных стекол, подобно тому как находятся подходящие места для пластин Перо и Фабри на большом куске зеркального стекла.

Кружочки из покровных стекол вырезаются при помощи травления, как описано на стр. 44 и затем покрываются серебром [лучше всего по способу Боттхера (стр. 48), без покачивания ванночки].



Плоскость контролируют, сначала рассматривая изображение солнца, отброшенное на достаточно удаленный экран (например потолок). Те зеркала, которые не искажают полученного изображения, исследуются далее при помощи зрительной трубы и шкалы.

Зеркало действует, как апертурная диафрагма, так как шкала рассматривается в параллельных лучах. Поэтому оно искажает изображение шкалы тем меньше, чем меньше его размеры. С другой стороны, можно показать, что чувствительность инструмента тем больше, чем меньше момент инерции подвижной системы, следовательно также и зеркала. В одной интересной работе Фолькман [19] показал, что чувствительность достигает максимума, если на зеркало приходится пятая часть общего момента инерции. Отступление на 20% от оптимальных размеров диаметра вызывает потерю чувствительности на 10%. Удвоение толщины зеркала, составляющей  $\frac{1}{50}$  диаметра, понижает чувствительность на 13%. Следует обратить особое внимание на достижение возможно меньшего момента инерции оправы. Лучше всего выполнять крепление зеркальца на оси при помощи возможно малого количества лабораторного воска.

## ПЯТАЯ ГЛАВА

### ВАКУУМТЕХНИКА

Требования, предъявляемые промышленности, производящей лампочки накаливания, рентгеновские трубки и радиолампы, вместе с работами физиков, привели за последние два десятилетия к большим достижениям в области техники высокого вакуума ( $10^{-9}$  ат). Укажем здесь на книги Гец «Физика и техника высокого вакуума» [1], Л. Дюнуайе «Техника высокого вакуума» 1924 [2] и Дешмана [3] «Получение и измерение высокого вакуума».

#### 1. Вакуумная проводка

а) Диаметр трубок. При устройстве проводки необходимо помнить, что ее сопротивление откачке при давлениях от  $10^{-4}$  до  $10^{-6}$  мм ртутного столба значительно больше, чем при давлениях порядка  $10^{-2}$  мм, с которыми приходится иметь дело, например, в катодных трубках. В то время как в последнем случае можно применять трубки 6—8 мм диаметром,

при работе с очень высоким вакуумом узкая проводка сведет на-нет работу лучших насосов. В этом случае проводка должна быть возможно более короткой и широкой, ее диаметр должен быть не меньше 20 мм. Даже короткие сужения сильно отзываются на скорости откачки насоса; поэтому необходимо применять большие краны с широкими отверстиями (10 мм, см. также рис. 15). К сожалению, невозможно освободиться от сужений на местах предполагаемых отпаек.

б) Ловушки с жидким воздухом. Весьма желательно не пропускать ртутные пары, давление которых при

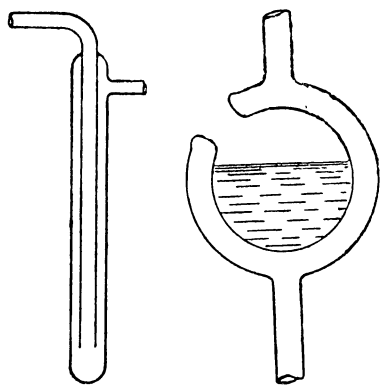


Рис. 13—14. Ловушка с жидким воздухом.

комнатной температуре равняется 0,001 мм (см. стр. 14), в эвакуируемую трубку, так как, во-первых, они загрязняют газ, что мешает, например, спектроскопическим исследованиям; во-вторых, как показал Геде [4], конденсация ртути в сосуде может создать в нем суммарное давление значительно большее, чем в самом насосе. Поэтому принято в большинстве работ с вакуумом включать между насосом и сосудом ловушку, погружаемую в жидкий воздух или по крайней мере в смесь твердой углекислоты со спиртом и захватывающую также воду и органические пары. Ловушка является

или U-образной трубкой или (рис. 13, также рис. 6 и 12) трубкой диаметром в 3—4 см, внутрь которой впаяна другая, диаметром 2 см, доходящая почти до дна первой. Еще меньшее сопротивление откачке представляет тип ловушки рис. 14. С другой стороны, налитый в углубление жидкий воздух держится в нем в течение некоторого времени только при хорошем вакууме, в то время как модель, изображенная на рис. 13, введенная в двухлитровый сосуд Дьюара, наполненный жидким воздухом, может служить, не нуждаясь ни в каком уходе, в течение многих дней.

Необходимо заметить, что свежепрочищенные трубки при охлаждении их только твердой углекислотой не полностью задерживают ртутные пары; очевидно, здесь имеет место замедление конденсации, которое, вероятно, можно устранить серебрением или наполнением металлическими опилками.

Если уже образовался тонкий налет ртути, то охлаждение смесью твердой углекислоты со спиртом становится достаточным; давление ртутных паров при температуре этой смеси ( $-80^{\circ}$ ) равняется  $10^{-7}$  мм. При температуре жидкого воздуха давление их  $10^{-27}$  мм; давление водных паров  $10^{-16}$  мм.

Очень совершенным методом устранения ртутных паров является также включение в вакуумную проводку трубки, покрытой перегнанным в нее натрием или калием. Калий поглощает количество ртути, превышающее его собственный вес в  $1\frac{1}{2}$  раза [5].

с) Шлифы, краны и ртутные запоры. Как указывалось выше, при работе с высоким вакуумом отверстия кранов должны быть возможно более широкими. В моделях, встречающихся в продаже, по большей части они слишком малы. Весьма удачной является форма крана, изображенная на рис. 15, у которой однако (в противоположность кранам обычного типа) пробка постепенно прижимается атмосферным давлением. Смазанный кран, или шлиф, должен казаться прозрачным, как стекло; тонкие непрозрачные полоски ведут к появлению течи. Если сильное прижимание и поворачивание не помогают, лучше всего подшлифовать кран. Для этого протиранием бензолом или спиртом освобождают его от большей части смазки, смачивают жидкой кашицей из тонкозернистого полировального наждака с водой и трут, слегка надавливая (см. стр. 42). У шлифов внутренние края на 3—5 мм оставляют не смазанными для того, чтобы смазка при долгом употреблении не могла попасть в трубку.

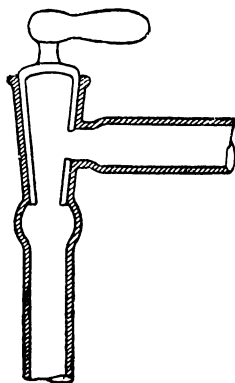


Рис. 15. Вакуумный кран с большим отверстием.

Большие требования предъявляются к смазке для кранов, которая, кроме хорошей смазывающей способности, должна также обладать возможно меньшей упругостью паров. Рецепты смазок для кранов приведены в «Технических приемах» (см. [25] ссылку на литературу к гл. I). Наиболее распространенной является рамзаевская смазка. Она состоит из чистого, не вулканизированного, освобожденного от песка сырого каучука, белого вазелина и парафина; 2 части вазелина и 0,5—1 часть парафина растапливаются в фарфоровой чашке на водяной бане при температуре около  $100^{\circ}$ , затем добавляют 1—2 части мелко изрезанного каучука, греют

несколько часов, до тех пор пока каучук не растворится, и постепенно добавляют еще каучук в кусочках, так чтобы в общем его было 4 части. После продолжительного нагревания получается однородный раствор, тянущийся при комнатной температуре в виде нитей. Вязкость смазки можно по желанию увеличивать добавлением парафина (до 2 частей) или уменьшать добавлением вазелина. Дюнуайе фильтрует растопленную смазку и оставляет ее в течение 24 часов в вакууме при  $40^\circ$  для того чтобы она отдала случайно имеющиеся в ней летучие примеси. По Вудроу [6] упругость паров рамзаевской замазки  $\sim 10^{-4}$  мм; у Дюнуайе есть указание, что при помощи такой обработки легко достичь давлений от  $10^{-5}$  до  $10^{-6}$  мм.

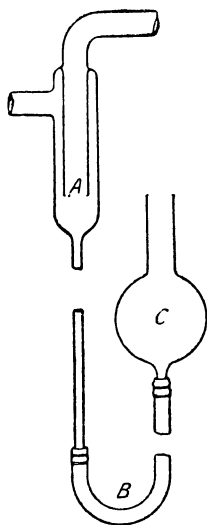


Рис. 16. Ртутный запор.

Тем не менее смазанный кран с его по большей части слишком узким отверстием, его склонностью к образованию течи, его органической смазкой является до некоторой степени неизбежным злом. Многие фирмы предпочитают поэтому (при работе с очень высоким вакуумом!) ртутные запоры формы, изображенной на рис. 16, которые выявляют все преимущества современных конденсационных насосов, но способны запирают лишь разности давлений, не превышающие нескольких сантиметров. Отверстие *A* запирается ртутью, вытекающей из шланга *B* при подъеме сосуда *C*. Поверхность жидкости в *A* выше, чем в *C*, на высоту барометрического столба.

**Запор Прица.** Приц [7] оригинальным способом обошел необходимость включения крана, в частности крана, соединяющего вакуумную проводку с атмосферой. На рис. 17 *T* — приклеенная глиняная пластинка, совершенно закрывающая отверстие стеклянной трубки *A*. Если залить пластинку ртутью, то вентиль в направлении сверху (атмосфера) вниз (вакуум) запирается совершенно плотно. Если же привести в соприкосновение с *T* через ртуть вторую, более узкую трубку *G*, отверстие которой закрыто такой же пластинкой, то газ, заключенный в *G*, будет проникать через поры этих пластинок в вакуум. Этот принцип находит применение, например, в «вентиле Бауэра» для регенерации

рентгеновских трубок. Приц приходит к выводу, что таким способом, при помощи небольшого глиняного шарика, приклеенного к стеклянной трубке, можно постепенно вводить в вакуум небольшие порции газа, в точности равные друг другу; точно также барометр, снабженный запором Прица, можно откачать через запор, если с течением времени вакуум в барометре ухудшился и т. д. Поры в пластинках естественно должны быть как раз такой величины, чтобы вполне задерживать ртуть. Такие запоры обладают однако сопротивлением, слишком большим для работы с высоким вакуумом.

В качестве пористой массы пригоден шамот (Шток) [8] и масса из спекшегося стекла, изготавливаемая для химических фильтров в виде пластинок, вплавленных в стеклянные сосуды \* (см. на рис. 15) [8]. Применение запора Прица в сосуде для хранения гелия описано в «Технических приемах» (см. [25] ссылку на литературу к гл. I).

д) Гибкие соединения. Если это возможно, то вся проводка целиком должна состоять из спаянных друг с другом стеклянных трубок. Спаивание отдельных кусков производится без труда при помощи ручной горелки. Если необходима известная подвижность сосуда по отношению к насосу, то этого можно достичь следующими способами:

«Пружина Кундта» — длинная, тонкая стеклянная трубка (6 мм диаметром) с двумя перпендикулярно друг к другу расположенными U-образными сгибами, длиной каждый в 20—30 см. Стекло пружинит настолько, что один конец пружины можно сдвинуть по отношению к другому на 2—3 см. Ее преимущество — чистая плотная стеклянная поверхность; ее недостаток — большое сопротивление, которое делает «пружину» совершенно непригодной при давлениях ниже 0,001 мм.

«Гибкая томпаковая трубка». Эти трубки, имеющие самые различные диаметры, очень гибки, благодаря винтообразному, глубоко вдавленному желобу, особенно если их прокалить перед употреблением. Их надежность удовле-

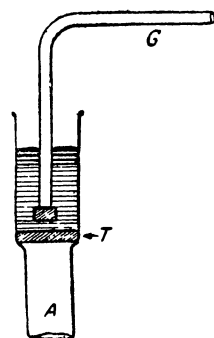


Рис. 17. Запор Прица.

\* В СССР такие пластинки изготавливаются Государственным оптическим институтом в Ленинграде. *Прим. перев.*

творила бы большинству требований, но большая металлическая поверхность в вакууме, которая не может быть прокалена, будет всегда выделять газ. Во всяком случае эти трубки значительно лучше применявшихся раньше тяжелых свинцовых трубок.

«Вакуумная резина». Имеющиеся в продаже под этим названием толстостенные резиновые трубки употреблялись преимущественно для соединения насоса высокого вакуума с форвакуумным. Для более «хороших» вакуумных работ она казалась непригодной. Однако Дюнуайе указывает, что при включении короткого куска вакуумной резины можно получить достаточно хороший вакуум, если этот кусок правильно обработать. Резина, содержащая как можно меньше серы, кипятится несколько часов в растворе соды, а затем в дистиллированной воде и просушивается так, чтобы на нее не попала пыль. Выделившийся газ состоит главным образом из водорода, так что, как говорит Дюнуайе, можно получить прекрасный спектр балмеровских линий, поместив в гейслерову трубку небольшой кусочек резины. По большей части резина через некоторое время становится пористой, что можно предотвратить, смазав ее снаружи касторовым маслом.

е) Замазки. Приготовление замазок описывалось на стр. 28. Дюнуайе правильно замечает, что еще ни разу не было предпринято систематическое изучение пригодности различных замазок для вакуумной техники, упругостей их паров и возможности уменьшить эту упругость длительным нагреванием в вакууме. Низкая точка плавления этих замазок часто является их недостатком. С другой стороны, замазка из хлористого серебра, плавящаяся только при  $455^{\circ}$  (ср. стр. 30), при остывании часто является причиной растрескивания стекла.

Металлические сосуды, которые, как известно, легко дают течь, выгодно покрывать снаружи эмалевым или цапоновым лаком (Zaponlack), при условии, что давление внутри сосудов равно атмосферному; только после того, как нанесенный слой основательно просохнет, их можно откачивать. Бакелит по Дюнуайе менее пригоден для этого.

## 2. Изготовление накаливаемых катодов

Благодаря развитию беспроводной телеграфии появились многочисленные работы, целью которых являлось создание наиболее действенных и долговечных накаливаемых катодов. Кроме того физик часто предъявляет требования, чтобы па-

дение потенциала вдоль нити накала не искажало распределения по скоростям испускаемых электронов и чтобы газ, наполняющий сосуд, не действовал на металл нити.

а) Вольфрам. По Форсайту и Вортингу [10] электронная эмиссия вольфрама равна при температурах

2 000	2 400	2 800 абс. градус.
0,00089	0,102	3,21 А/см <sup>2</sup> ;

таким образом при очень высоких температурах она больше, чем у всех остальных веществ. О его чувствительности к водяному пару говорилось на стр. 5. Чувствительность вольфрама по отношению к очень сухому кислороду, хлористому водороду и парам йода до некоторой степени постоянна. Чаще всего вольфрамовая проволока закручивается вокруг тонкого цилиндра (стальной иглы) в виде маленькой спирали; в «Технических приемах» (см. [25] ссылку на литературу к гл. I) описан метод изготовления плоских спиралей по Зигбану [11] Введенная Дёшманом [12] «термоионная рабочая функция» (т. е. работа вылета, рассчитанная на электрон при температуре абсолютного нуля) для вольфрама равна 4,5 V.

б) Торированный вольфрам. Торий при абсолютной температуре 1 500° испускает почти в 100 000 раз больше электронов, чем вольфрам при той же температуре. Однако вместо ториевых нитей применяются вольфрамовые, покрытые молекулярным слоем тория. Имеющиеся в продаже «нити торированного вольфрама» состоят из вольфрама с примесью нескольких процентов окиси тория, которая при белом калении восстанавливается и в виде металла диффундирует на поверхность нити. Для активации нити она нагревается в течение ~ 5 сек. до ~ 2 700° абс., затем более длительное время до 2 000° абс. Рабочая температура 1 500—1 800 ° абс.; при 2 000° абс. начинается разрушение слоя. «Работа вылета» тория равна 2,94 V.

с) Оксидные катоды. Сильная электронная эмиссия накаливаемых окисей щелочно-земельных металлов была, как известно, открыта еще в 1904 г. Венельтом. Налет окислов можно получить, нанося на вполне готовый, вынутый из трубки катод (на его переднюю поверхность) концентрированный раствор азотнокислых солей кальция, бария и стронция и осторожно нагревая электрод (на воздухе) током. Сначала раствор сохнет, затем соли плавятся в своей кристаллизационной воде; она испаряется, улетучиваются пары, содержащие азот, и при слабом накаливании появляется налет оксида. Старый прием получения налета окиси кальция со-

стоит в том, что накалившую поверхность катода приводят на мгновение (!) в соприкосновение с куском белого сургуча. В особенности рекомендуем этот прием в тех случаях, когда требуется по возможности точечный электронный источник, например резко ограниченный пучок катодных лучей. Катод состоит в этом случае по большей части из полоски платиновой фольги в 3—5 мм ширины и 0,01—0,002 мм толщины. Тонкая сургучная нить в несколько миллиметров длиной приклеивается к опичке, и наносится маленькое пятнышко, как указано выше. Носителем оксидного слоя может быть платина, вольфрам, хром-никель, а также и уголь (полоска из микрофонной мембраны).

О новых методах, применяемых Американской телефонной и телеграфной компанией при фабричном изготовлении большого числа трубок с накаливаемым оксидным катодом, сообщает Арнольд [13]. Из этих опытов следует, что слой лучше всего пристает к сплаву платины с ~ 6% иридия (образуется химическое соединение). Термоэлектронная активность убывает в такой последовательности: барий, стронций, кальций. Ввиду того, что окись бария постепенно разлагается, применяется смесь  $BaO$  и  $SrO$ . Тонко измельченные углекислые соли смешиваются с расплавленным парафином; после застывания из смеси формуют палочки. Ими проводят по нагретой проволоке и сейчас же на мгновение накаливают ее до  $\sim 1000^\circ$ , чтобы разрушить органические вещества. За четыре слоями  $SrO$  следуют четыре слоя  $BaO$ , затем четыре  $SrO$ , наконец четыре  $BaO$ . После этого нить калится 2 часа при  $1200^\circ$ . Слой держится очень крепко, имеет толщину 2—3 мк на квадратный метр; продолжительность его жизни до 20 000 час. (Масса электронов, которые он за это время испустит, в 15 раз превышает массу электронов самого оксидного слоя.) «Работа вылета» для  $BaO$  1,7 для  $CaO$  3,6 V.

Катоды необходимо предохранять от сырости и углекислого газа и первое время после образования слоя прокаливать короткое время более сильным током. Следы кислорода в вакуумных трубках сильно снижают эмиссию; водород может возбудить ее.

По опытам Дэвиссона [14] испаряющийся оксид осаждается в небольшом количестве на соседнюю нить; хотя это количество и недостаточно для того, чтобы покрыть поверхность слоем толщиной в одну молекулу, электронная эмиссия второй нити почти такая же, как и первой.

д) Цезиевые слои. Металлический цезий в вакуумной трубке заметно дистиллирует уже при  $30^\circ$ , покрывая поверх-



ность атомарным слоем. Лангмюр [15] нашел, что этот слой испускает электроны в большом количестве уже при температурах в несколько сот градусов, при которых он еще не испаряется. Эмиссию можно увеличить в 3 000 раз, употребив в качестве носителя вольфрамовую проволоку, особым образом обработанную. Ее прокаливают сначала некоторое время при  $2\,700^{\circ}$  абс., впускают кислород под давлением 0,02 мм и прокаливают нить несколько секунд при  $1\,900^{\circ}$  абс. После этого сосуд откачивается, в него перегоняется цезий (ср. стр. 17) и нить прокаливается при  $1\,200$ — $1\,600^{\circ}$ . При температуре сосуда в  $25$ — $30^{\circ}$  и температуре катода  $500$ — $600^{\circ}$  С получается оптимум в  $35$  мА/см<sup>2</sup>. При более высоких температурах слой испаряется. Из всех веществ цезий обладает самой низкой работой вылета в  $1,34$  В.

Когда падение потенциала на нити накала мешает изменению скорости термоэлектронов, то нить заключают в цилиндр из молибденовой, платиновой или никелевой жести. Можно также применить (по Герцу) покрытую оксидом полосу платиновой фольги с двумя вырезами, лежащими друг против друга, которые, суживая путь для тока, вызывают резко ограниченное нагревание.

### 3. Откачка

Несмотря на большую мощность современных насосов, высокий вакуум можно достигнуть только при соблюдении известных предписаний. Точно также наполнение разрядных трубок чистыми газами требует применения техники, выработанной из опыта.

Раньше большую роль играла очистка трубок. Для нее выгодно применять, также как и при серебрении (ср. стр. 44), сначала едкий натр или едкое кали, действующие на алюминиевые электроды (травят их до белизны), затем хромовую смесь (по возможности горячую) или азотную кислоту. Хорошим очищающим средством является также 1—2%-ная плавиковая кислота, действию которой можно подвергать сосуды только в течение нескольких минут, так как она разъедает стекло. Однако согласно новым опытам качество высокого вакуума, достигаемого при помощи прокаливания и т. д., повидимому не улучшается при применении подобной очистки.

а) Охлаждение. Устройство ловушек в вакуумной проводке уже описывалось выше (стр. 60), также как и значительное увеличение их эффективности налетом перегнанной

ртути. При употреблении конденсационных насосов, несмотря на их охлаждение очень холодной водопроводной водой, в разрядную трубку попадают значительные количества паров ртути, которые могут причинить много вреда, амальгамируя алюминиевые электроды. Если оставить разрядную трубку (после окончания опыта) наполненной воздухом, то ртуть окислит алюминий в порошкообразный серый глинозем; ртуть будет продолжать амальгамировать дальнейшие части электрода до тех пор, пока через несколько недель он не превратится в кучку глинозема. Средством против этой «болезни электродов» является сильное прогревание в струе воздуха.

Хотя давление водяного пара при температуре жидкого воздуха, как уже указывалось, равно только  $10^{-16}$  мм, вакуум получается недостаточно высоким, если в ловушке образовались следы льда. Поэтому ошибочно применять охлаждение, пока вакуумная проводка еще находится под атмосферным давлением. Если для охлаждения имеется только смесь твердой углекислоты со спиртом, то водяной пар, поскольку при  $-80^\circ$  упругость его паров равняется еще  $10^{-3}$  мм, необходимо удалить фосфорным ангидридом.

Фосфорный ангидрид (пятиокись фосфора  $P_2O_5$ ) — белый порошок, является сильнейшим из известных осушителей; он должен быть свободен от низших окислов и при расплавлении не должен оставлять красно-коричневых комочков (что часто имеет место!). Его можно очистить, поместив в наклонную фарфоровую чашку и перемешивая в струе кислорода. Для наполнения чашки фосфорным ангидридом готовится бумажная подкладка, затем воронка и палочка для проталкивания через горлышко воронки; эти последние прогреваются, для того чтобы освободить их от покрывающей водяной пленки. Наполнение должно происходить по возможности быстро, поскольку фосфорный ангидрид очень скоро начинает притягивать воду.

$P_2O_5$  сушит еще сильнее, будучи уже слегка влажным. Приведенный в соприкосновение с водой, он очень сильно нагревается. Поэтому при промывании сосуда для осушения необходима осторожность. Для этой цели выгодно применять технический (96%) алкоголь, для того чтобы подводить к пятиокиси фосфора воду в возможно более разбавленном виде.

б) Прогревание. Уже Гитторф знал, что можно получить более высокое разрежение, если сильно нагревать разрядную трубку во время работы насоса. Как стекло, так и металл содержат большие количества окклюдированных газов; металлы — преимущественно окись углерода, стекло —

водяные пары и двуокись углерода. Требования техники вызвали за последнее время многочисленные исследования по этому вопросу [16], которым Дюнуйе посвящает многие страницы своей книги.

Приведем конкретный пример постепенной отдачи водяного пара стеклянной поверхностью при комнатной температуре. Сосуд, емкостью в 9 л, был откачан до  $10^{-4}$  мм. Через 10 час. давление поднялось до  $10^{-1}$  мм, т. е. увеличилось в 1 000 раз. В трубках с большими металлическими частями такая отдача газа происходит в течение месяцев. При спектральных исследованиях этот источник ошибок надо особенно иметь в виду, так как вследствие этого может получиться сильное (в процентном отношении) загрязнение газа, введенного в разрядную трубку. В этом случае, кроме балмеровских линий водорода, появляются зеленые полосы спектра Свана при 5 635, 5 585, 5 541, также как и при 5 165 и 5 129 Å, и притом иногда с таким упорством, что Пиацци Смит (1887) решил, что они вызываются резиновой изоляцией подводящих проводов.

С повышением температуры отдача газа существенно ускоряется; отсюда следует практическое правило о необходимости «прогрева» трубок. Поскольку обычно откачанное стекло выдерживает, не деформируясь, самое большее 400—450° и поскольку эту температуру необходимо поддерживать в течение нескольких часов, лучше всего применять для этой цели электрические печи, которые легко изготовить, обернув железную проволоку вокруг асбестовой трубки. Еще большее количество газов, чем стекло, содержат металлы. Чем дольше их прогревать и чем выше температура при прогревании, тем надежнее можно удалить большую часть окклюдированных газов. Самый верный путь — расплавление металла в вакууме, — как правило (в случае готовых электродов), неприменим. Часто однако представляется возможным прокалить электроды теплом Джоуля, электронной бомбардировкой или токами Фуко. Часто также до заключения в разрядную трубку их прокалывают в течение нескольких часов при светлокрасном калении (алюминий плавится уже при темнокрасном калении) в фарфоровой или кварцевой трубке, соединенной с мощным насосом. Повидимому, большое значение будут иметь изготавливаемые при помощи «вакуум-плавильни» расплавленные в вакууме металлы (алюминий, никель, медь и др.). Воздух, который окклюдировуют эти металлы на складах, значительно легче изгнать, чем газы, поглощенные ими при металлургической обработке.

В том случае, когда требуется сколько-нибудь чистый вакуум, мы рекомендуем следующий процесс работы. Утром включаются насосы, и одновременно электрическая печь, дающая  $\sim 400^\circ$ . Приблизительно через четверть часа ловушка помещается в жидкий воздух. Насосы работают весь день и выключаются вечером, печь же остается включенной. На следующий день откачка производится до вечера; попутно стеклянная вакуумная проводка осторожно прогревается пламенем бунзеновской горелки; вечером выключается печь. После этого большая часть окклюдированного газа будет удалена.

#### 4. Нахождение течи

Нередко за течь принимается сильное выделение газа (например из угля кокосовых орехов). Если прибор имеет несколько кранов или ртутных запоров, то они запираются, для того чтобы установить, в каком месте происходит увеличение давления. В общем случае вероятнее всего, что течет где-нибудь замазка, вслед за тем в порядке убывания вероятности идут: краны и шлифы, места спая, отверстия в стекле. Последние могут появиться, например, при работе с токами Тесла. Для нахождения их Дюнуайе рекомендует следующий прием: один из вторичных полюсов маленького индуктора с искрой 7—8 мм длины, соединяют металлически с газом в вакуумной проводке (присоединяя его к насосу, ртутному манометру или электроду); второй полюс соединяют с кисточкой из тонких проволочек. Этой кисточкой проводят, затемнив комнату, по всей вакуумной проводке, давление газа внутри которой должно равняться 0,1—0,2 мм. Вообще говоря, при этом наблюдается слабо светящийся кистевидный разряд. Если кисточка находится в непосредственной близости от отверстия, то через последнее начинают бить небольшие искры значительной поверхностной яркости. После впуска воздуха (атмосферы) место закрывается капелькой расплавленного стекла. Конечно, этот метод непригоден для канала вдоль вплавленной проволоки, так же как и для течи в металле. Он отказывается также служить в случае шлифов при длине канала большей, чем искровой промежуток индукторов в воздухе.

Во многих случаях при наличии течи насос еще может поддерживать давление, например в гейслеровых трубках; разряд в пробной трубке имеет при этом характерный для воздуха цвет: красно-коричневый положительный столб, васильково-синее свечение на катоде. Если смочить течь водой или спиртом, то цвет разряда мгновенно станет бледносерым. Этот

метод надежен и всегда применим, только иногда слишком продолжителен: проходит  $\sim 1/2$  мин., прежде чем жидкость проникнет внутрь.

Кроме того можно попробовать при помощи велосипедного насоса увеличить давление внутри системы и, так же как при починке пневматической шины, искать течь погружением прибора в воду или смазкой его мыльным раствором.

Безупречно прозрачный на вид кран или шлиф наверное не течет. Если в нем имеются полосы, его необходимо смазать заново или даже подшлифовать (см. стр. 61).

Прекрасным средством устранения течи является смазка всех подозрительных мест крепким спиртовым раствором шеллака или цапоновым лаком. Еще лучше держит нанесенная возможно более горячей замазка из воска и канифоли, которая однако плавится уже при небольшом нагревании. К сожалению, покрытые места выдерживают самое большее (цапоновый лак)  $150^{\circ}$ .

## 5. Наполнение спектральных трубок

Спектральные трубки, предназначенные к отпайке, должны обязательно быть прогреты способом, описанным выше, если желательно избежать опасности изменения спектра газами, выделившимися после кратковременной работы трубки. Очистку можно улучшить, наполняя многократно трубку рабочим газом, пропуская через нее возможно более сильный разряд и затем снова откачивая газ.

Некоторые авторитетные физики рекомендуют употреблять для такой очистки кислород. При отпайвании надо брать давление газа по возможности более высоким, так чтобы трубка еще хорошо светилась, так как известно, что во время работы трубок происходит их самоэвакуация.

Гораздо легче выполнить требование чистоты трубки при «методе промывания» (который был указан, повидимому, впервые В. Вином), когда непрерывно протекающий газ уносит с собой все освобождающиеся загрязнения.

Получение чистых газов описано в известной книге Траверса [17], а также в более новой монографии Мозера [18]. В цитированных ранее (см. [25] ссылку на литературу к гл. I) «Технических приемах» взяты газы, имеющие спектроскопическое значение; из методов выбраны (главным образом по Мозеру) те, при помощи которых можно получить по возможности более чистый газ, хотя бы и в небольших количествах. Мы здесь будем следовать довольно близко этому изложению,

а) Водород. Для спектроскопических целей особенно рекомендуются два физических метода его получения.

Через палладиевую жечь при красном калении диффундируют довольно значительные количества водорода. Берутся небольшие палладиевые трубочки, один конец которых на-

глухо запаян, а другой впаян в стеклянную трубку. Стеклянную трубку припаивают к прибору, после чего достаточно только накаливать при помощи газового пламени или лучше пламени этилового спирта металлическую трубку, и свободный водород, имеющийся в пламени, начнет диффундировать внутрь. Приспособление, известное как «осморегенератор» рентгеновских трубок, абсолютно надежно и доставляет небольшие, но по большей части достаточные количества химически чистого газа.

Кроме того, как известно, палладий при комнатной температуре и атмосферном давлении адсорбирует примерно тысячекратный объем водорода из атмосферы. Для того чтобы использовать это свойство, заряжают полоску палладиевой жести водородом, поместив ее в качестве катода в стеклянный сосуд, наполненный сильно разведенным электролитом (фосфорной кислотой). В течение долгого времени (ночь) про-

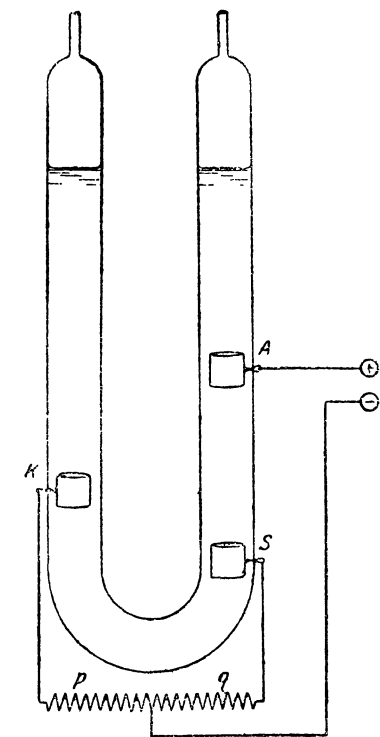


Рис. 18. Аппарат для получения водорода по Редю.

изводится электролиз слабым током, затем жечь на чисто вытирается фильтровальной бумагой и впивается в придаток прибора, который откачивается. При нагревании от 100 до 200° освобождаются значительные количества водорода, также свободного от всяких загрязнений.

Можно заметить, что этот абсолютно сухой водород, как известно, не так интенсивно испускает бальмеровскую серию, как несколько влажный газ. Очень хорошо получаются баль-

меровские линии, если для наполнения брать не водород, а небольшие количества водяного пара.

Большие количества газа дает электролиз 30% едкого натра между никелевыми электродами. Кроме водорода газ содержит также следы кислорода, увлекаемого от анода. От него можно избавиться по Геде [19], включая на пути жидкости между собственно электродами дополнительный электрод  $S$  (см. рис. 18). Поднимающиеся от него пузырьки водорода вымывают из электролита кислород. Отрицательный полюс источника тока присоединен, как изображено, к середине сопротивления  $pq$ , с концами которого соединены оба катода  $K$  и  $S$ . Сопротивления  $p$  и  $q$  должны быть существенно больше, чем сопротивление электролита; при употреблении осветительной проводки целесообразно включать две лампы накаливания. Анод  $A$  присоединен непосредственно к источнику тока. Надежным в работе оказывается также самодельный аппарат, состоящий из двух, расположенных друг под другом склянок Вульфа, соединенных вертикальной трубкой; образующийся в нижней склянке водород вытесняет электролит в верхнюю склянку, пока катод внизу не обнажится и не прорвет этим автоматически ток.

Водород, добываемый действием едкого кали на алюминий, будет чистым только при очень чистых исходных материалах.

Существует также повидимому еще мало применяющийся метод получения водорода, который основан на использовании способности раскаленного кварца пропускать водород (ср. стр. 20).

б) Кислород. Очень чистый кислород получается при электролизе в аппарате, описанном выше (переменив направление тока: кислород, как известно, выделяется на аноде).

Из рецептов, приводимых Мозером, кажется, наилучшие следующие: перекись марганца просеивается, и большие, оставшиеся на решете кристаллы помещаются в закрытую с одного конца стеклянную трубку 10—14 мм диаметром. При нагревании кристаллов от них отщепляется кислород, который оказывается загрязненным лишь в незначительной степени пылью и двуокисью углерода. Первая удаляется пробкой из асбестовой шерсти, вторая — твердым едким кали. После этого кислород становится совершенно чистым.

Если капать (с помощью капельной воронки) смесью 1 л 3%-ной перекиси водорода с 150 см<sup>3</sup> серной кислоты на кристаллический двуххромокислый калий, то образуется кислород, содержащий, кроме водяных паров, следы двуокиси углерода, которую можно удалить методом, описанным выше.

с) Азот. Раньше этот газ мог быть получен свободным от примесей только при помощи сложной очистительной процедуры. Тиде [20] дал однако элегантный способ получения «абсолютно чистого азота». Для этого 1—2 г азиды натрия или калия осторожно нагревают до  $390^{\circ}$  в трубке, закрытой с одного конца. Реакция протекает очень бурно и продолжается после прекращения нагревания. Поэтому лучше всего поместить трубку в песочную баню или применить электрическую печь.

д) Хлор. По Траверсу (l. c.) чистейший хлор, хотя и в небольших количествах, получается нагреванием хлорного золота в вакууме. Очень чистый газ получается также при действии концентрированной чистой соляной кислоты на пиролюзит. Пиролюзит (перекись марганца) кипятится короткое время в азотной кислоте, промывается несколько раз кипятком и просушивается при  $100$ — $120^{\circ}$ . После этого к нему приливают каплями соляную кислоту. Мозер (l. c.) описывает способ получения больших количеств абсолютно сухого и чистого хлора электролизом расплавленного хлористого серебра. 500 г хлористого серебра выдерживаются расплавленными в тигле в течение 5 час., для того чтобы удалить из него всю влагу. Снова охлажденное и раздробленное на мелкие кусочки «роговое серебро» помещают в U-образную трубку иенского стекла, диаметром в 3 см, снабженную сверху входящими внутрь угольными электродами и помещенную в термостат. Трубку эвакуируют и подвергают расплавленную соль электролизу. Насос необходимо предохранить при помощи трубки длиной в 1 м, наполненной углекислым калием. Сила тока 2.8 А при 10 V.

е) Двуокись углерода, совершенно чистая, получается крайне просто. Закрытую с одного конца трубку из тугоплавкого стекла наполняют углекислым магнием и нагревают до красного каления.

ф) Гелий. Современный способ получения больших количеств гелия отделением его от других благородных газов, остающихся при сжижении воздуха, слишком сложен, если речь идет только о временном его употреблении. В таких случаях в качестве исходного материала берутся минералы клеветит, монацит или торанит, в которых окклюдированы значительные количества гелия. Методы выделения и очистки газа можно найти у Мозера (l. c.) и у Рамзая и Рудорфа [21]. Штрак [22] добывал гелий для спектроскопических целей следующим образом: 50 г клеветита превращались в порошок и смешивались с таким же количеством предвари-



тельно расплавленного и превращенного в порошок кислого сернокислого калия. Эта смесь распределялась по трем глиняным желобкам и помещалась в фарфоровую трубку 90 см длины и 3 см внутреннего диаметра. В последнюю часть трубки помещались небольшие количества хромокислого свинца для удержания могущих выделиться сернистых соединений. Трубка нагревалась в печи для сжигания до 250—300°; освобождающийся гелий потоком чистой двуокиси углерода направлялся через промывательную склянку с концентрированной серной кислотой в трубку с накаленной окисью меди и собирался над едким кали в газовой бюретке. 50 г кле-вейта давали в течение 3—4 час. около 200 см<sup>3</sup> газа, содержащего примеси только водорода и кислорода. Гелий освобождался от этих примесей обработкой накаленной окисью меди и металлическим кальцием (см. ниже).

Небольшие количества гелия (несколько кубических сантиметров при атмосферном давлении) можно получить, если отказаться от максимального возможного выхода и предельной чистоты, нагревая несколько граммов упомянутых минералов в вакууме. Поскольку гелий абсорбируется углем кокосовых орехов, охлаждаемым жидким воздухом значительно хуже всех других газов (ср. статью Геде), не трудно освободить его этим способом от примесей, как получившихся при нагревании, так и возникших в разрядной трубке. В качестве циркуляционных насосов для этой цели особенно пригодны современные пароструйные насосы, поддерживающие разность давлений между высоким и низким вакуумом порядка 10—20 мм, поскольку они обладают малым объемом и абсолютно надежным (в отношении течи) форвакуумом. Загрязненный гелий откачивается из разрядной трубки насосом и, пройдя через (соответственно подготовленную предварительно) ловушку, наполненную углем кокосовых орехов и охлаждаемую жидким воздухом, поступает назад в трубку\*.

г) Неон, аргон, криптон и ксенон. Указания на более старую литературу о добывании и свойствах этих благородных газов можно найти в книге Рамзая и Рудорфа [21].

Лабораторные способы получения этих газов, бывшие всегда весьма сложными, вряд ли оправдывают себя, так как они в настоящее время вырабатываются рядом химических фабрик.

---

\* Вместо кокосовых орехов можно с успехом применять скорлупу обыкновенных (каленых) орехов. *Прим. перев.*

## ОСВОБОЖДЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ ОТ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ

а) Метод Содди [23] с кальцием. Размельченный металлический кальций нагревают в кварцевой или фарфоровой трубке до 400—600° и одновременно заставляют протекать через него благородный газ. При атмосферном давлении этим удаляются в течение примерно часа все загрязняющие газы, с которыми реагирует кальций, за исключением водорода. Этот последний удаляется дополнительно охлаждением кальция до 250°. Многие признают этот способ лучшим. Борн [24] рекомендует в качестве другого способа дугу между электродами из кальция, которая после четырехчасового течения (почти без присмотра) совершенно очищает газ (2 А, 220 В, анод 15, катод 10 мм диаметром, давление газа 15 мм Hg).

б) Гемпель [25] употребляет в качестве адсорбирующей смеси 4 весовых части магния, 20 — свежееобожженной извести и 1 металлического натрия; смесь нагревается до темно-красного каления в трубке из тугоплавкого стекла.

с) Гельгоф [26] рекомендует применять для очистки газа тихий разряд в парах калия при 200°.

### 6. Отпайка откачанных трубок

Если откачанная трубка должна быть отделена от насосов, то необходимо предусмотреть «место отпайки», в котором диаметр вакуумной проводки должен быть сужен на 2—3 мм и одновременно толщина стенок увеличена приблизительно до 2 мм. Для откачки это место осторожно нагревают небольшим светящимся пламенем ручной горелки до тех пор, пока при постепенно поднимающейся температуре (подвод воздуха!) давление окружающего воздуха не сдавит его. Если место откачки слишком широко или тонкостенно или если стекло слишком сильно размягчено, то оно вдавливается внутрь очень неправильно, и при охлаждении это место часто лопається. Сдавленное место разогревается несколько сильнее, трубка оттягивается на несколько сантиметров, так что размягченное стекло образует палочку; затем эта палочка переплавляется острым горячим пламенем вблизи трубки. Дальнейшим нагреванием места отпая получают небольшой стеклянный шарик и наконец тщательно охлаждают его светящимся пламенем.

Хотя отпайка и производится быстро и просто, все же при этом необходимо обращать внимание на следующее:

Стекло никогда нельзя обезгазить до такой степени, чтобы при нагревании до еще более высоких температур, как это имеет место при отпайке, из него не стал выделяться газ. Поэтому, если речь идет об отпайке трубки, откачанной до возможно более высокого вакуума, то сплющивание надо растянуть на несколько минут, чтобы дать время постоянно работающему насосу убрать выделившийся газ. Дюнуайе иллюстрирует это конкретным примером: в одной трубке при быстрой спайке давление увеличилось от 0,001 тысячной мм до 0,25 мм, т. е. в 250 раз; при медленной же отпайке — от 0,001 до 0,01 мм, т. е. только в 10 раз. (Стеклодувы часто делают два места отпайки одно за другим; одно для временного стделения трубки от насоса, другое для более аккуратной отпайки приобретшей подвижность трубки. Из вышесказанного видно, что для трубок с высоким вакуумом этот способ вызывает сомнение.) Во-вторых, при конструировании откачиваемой трубки не надо забывать, что необходимо иметь возможность оттянуть ее при отпайке на несколько сантиметров. При очень больших трубках иногда удобнее оттягивать назад насос. В крайнем случае можно припаять перпендикулярно к оси трубки тонкую стеклянную палочку и с ее помощью оттянуть стекло в сторону.

## ШЕСТАЯ ГЛАВА

### ТОНКИЕ ПЛЕНКИ, ТОНКИЕ ПРОВОЛОКИ И КВАРЦЕВЫЕ НИТИ

#### 1. Металлические пленки

Из некоторых ковких металлов можно приготовить весьма тонкие листочки (фольгу), если ковать их между листами пергамента или бодрюша (см. ниже). Этот метод был известен уже древним египтянам и грекам. Из указания Плиния следует, что римское листовое золото было около 0,4 толщиной.

Тонкие листочки (фольга) изготовляются из золота и алюминия, а также из меди и серебра. Толщина медной, серебряной и алюминиевой фольги обычно бывает довольно равномерная, приблизительно до  $0,5 \mu$ ; толщина золотых листочков колеблется между 0,14 и  $0,09 \mu$ . Эти листочки, как показывает испытание на свет, обладают большим числом отверстий. Поэтому они газопроницаемы, и сопротивление на разрыв узких полосок, вырезанных из одного и того же листочка, весьма различно.

Платину, повидимому, нельзя (как золото) проковкой обработать до тонкой фольги, по крайней мере такая фольга не производится фабричным способом.

Еще Фарадей [1] пытался получить различными методами тонкие металлические листочки. Он получал, например, восстанавливая раствор хлорного золота парами фосфора, плавающую на поверхности раствора золотую пленочку, которую можно было снять при помощи стеклянной иластинки. Он также оставлял покупной золотой листочек плавать на воде, в которой растворено немного цианистого калия. Так как золото растворяется в цианистом калии, образуя золото-синеродистый калий, то можно было этим способом уменьшить толщину пленки.

Далее были попытки отложить при помощи электролиза на какой-либо поверхности металлический слой, который приставал бы не плотно, для чего эта поверхность натиралась маслом или графитом. Металлический слой покрывался затем толстым слоем, например, желатина и после застывания последнего снимался. Наконец слой желатина удалялся растворением его в горячей воде.

Различными физиками был выбран следующий способ: химически стойкий металл (платина, золото) осаждается электролитически тонким слоем на листе другого металла, химически мало стойкого (например меди). Если затем окунуть наплатинированный таким образом медный лист в ванну с разбавленной азотной кислотой, то медь растворится и останется пленка из благородного металла. Этим способом Утербридж [2] в 1877 г. получили золотую пленку толщиной в 0,02  $\mu$ , отдельные куски были даже всего 0,002  $\mu$  толщины.

Электролитический слой платины, осажженный на медный лист, странным образом оказывается несвободен от внутренних натяжений, он свертывается в трубочку со спицу толщиной, если лист растворять в кислоте без подготовки. Для предотвращения этого нужно лист перед протравкой нагреть до темнокрасного каления по возможности в короткое время,  $\frac{1}{2}$  сек. Если нагревать дольше, то платина сплавляется с медью. В более ранних опытах автора с этими пленками оказалось, что их температурный коэффициент электрического сопротивления составляет приблизительно  $\frac{1}{2}$  коэффициента для чистой платины; вероятно, нельзя здесь полностью избежать сплавления.

Мюллер [3] в 1925 г. разработал этот метод дальше; он тонкий электролитический осадок покрывал еще раз предохра-

нительным слоем, причем оба предохранительных слоя делал весьма тонкими. Они состояли, например, из слоя электролитически осажденной меди толщиной только 10  $\mu$ . Благодаря этому исключалось то неудобство, что вследствие неравномерного действия растворителя остаток предохранительного слоя коробился и разрывал пленку; кроме того пленка подвергается действию растворителя только в конце операции. Этим методом Мюллер получал мембраноподобные пленки из никеля и золота 6 см диаметром и толщиной до 0,04  $\mu$ , а при диаметре 2 см — до 0,02  $\mu$  и некоторые даже до 0,01  $\mu$ . Серебряные, платиновые и железные пленки без труда получаются до 0,04  $\mu$  толщиной.

Для тончайших золотых пленок, укрепленных на маленьких металлических кольцах, уже опасно дуновение воздуха; никелевые же пленки 0,01  $\mu$  толщиной еще весьма устойчивы и замечательно эластичны: мембраны 6 см диаметром и 0,04  $\mu$  толщиной можно гнуть до стрелки прогиба в 1 мм; при 0,25  $\mu$ , если положить ее на сетку с отверстиями шириной в 0,6 мм, она выдерживает избыточное давление до 25 см ртутного столба. Наиболее тонкие пленки весьма газопроницаемы. Их поверхность при сильном увеличении кажется стеклоподобной, бесструктурной, только местами напоминает кожу, испещренную порами. В пленках толщиной 0,01  $\mu$  заключается только 30 атомных слоев.

Нужно упомянуть применявшиеся, например Люммером и Курльбаумом [4], платиновые пленки, изготовленные по методу Волластона (ср. стр. 83), которые однако согласно Мюллеру уже при толщине 0,5  $\mu$  в значительной мере неравномерны и пористы. Наконец укажем на элегантный метод Крейга [5], который для исследования галльэффекта получал тонкие висмутовые пленки на слюде, погружая листы слюды в расплавленный висмут. Если тщательно регулировать температуру, то получаются «удивительно тонкие и равномерные пленки» (которые уже в поле в 1 гаус дают легко измеримый галльэффект).

## 2. Применение фольги (листочки электрометра)

а) Плотную фольгу, например прокатанную платину и алюминий, а также листовой алюминий кладут между двумя листами чистой (без жирных пятен) тонкой бумаги (тонкая бумага для пишущих машин) и разрезают ножницами бумагу и листочек.

б) Чтобы разрезать более тонкие листочки (листовой алюминий и листовое золото), употребляют туго обтянутые кожей подушки. Подушку натирают углекислым магнием или мелом и накладывают на нее осторожно листочек, избегая всякого дуновения воздуха. Затем нарезают нужные полосы острым, без зазубрин, ножом с плоским прямым лезвием.

с) Края полученных по способу а) и б) листочков при рассмотрении в микроскоп оказываются, как правило, зубчатыми и зазубренными. Кроме того при разрезании весьма нежных листочков этот способ часто бывает неудачен. Наконец разрезать на-глаз узкие полосы равномерной ширины весьма трудно. Более обстоятельный метод был указан Беатти [6]. Он состоит в том, что листочек закладывают, как гистологический препарат, в парафин, натягивают его на платформу делительной машины и режут ножом, вставленным вместо резца в делительную машину. Желательно чтобы парафин легко плавился и был вполне чистым; лучше всего его профильтровать (при непрерывном подогревании сверху племени бунзеновской горелки) через фильтровальную бумагу в пробирку и хранить хорошо закупоренным. Для закладывания листика в парафин берут полоску стеклянной пластинки (фотографическую пластинку), нагревают ее и пробирку, наливают несколько капель парафина на пластинку, разливают его по пластинке дальнейшим нагреванием и снова охлаждают пластинку. Затем отрезают от листочка полосу (5—10 мм шириной), кладут ее на пластинку, приклеивают ее, расплавляя парафиновый слой, и наливают снова немного парафина на поверхность листочка, так чтобы он был совершенно покрыт парафином.

Существенно, чтобы слой парафина был по возможности тонок, чтобы фольга не продавливалась при резке; для этого пластинку нагревают настолько, чтобы парафин сделался жидким, наклоняют ее, придерживая листочки пальцами, и сливают по каплям возможно больше парафина. Затем пластинку оставляют в горизонтальном положении до отвердевания. После этого легко вырезать на делительной машине острым ножом (резцом) узкие равномерные полосы (0,2—4 мм шириной). Рассматривая линию разреза, можно заметить, что он гладкий.

Затем кладут пластинку в фотографическую кювету с кислотом, который быстро растворяет парафин.

Если были нарезаны полосы 0,2—0,3 мм шириной из листочков алюминия, то их захватывают одну за другой за конец хорошим пинцетом, вынимают, окунают во вторую

ванну с чистым ксилолом (в химическом стакане), оставляют их там плавать, пока пинцет не очистится, затем берут их снова и окунают в алкоголь (в другом химическом стакане).

Наконец просушивают полоску на воздухе и кладут в коробку. Более широкие алюминиевые и в особенности золотые листочки при вынимании съеживаются вследствие действия капиллярных сил.

Поэтому в этом случае нужно подкладывать под листочек полоску бумаги и вынимать вместе с ней. В остальном повторять все то же, что описано выше.

Листочки электрометра, которые для отсчетов с микроскопом должны быть шириной 2—3 мм, кладутся на подставку, так чтобы они были точно параллельны ее оси, и приклеиваются к верхнему краю. Клей не должен быть изолятором, поэтому нельзя применять растворы шеллака, пичеина и др. Можно рекомендовать яичный белок, безводный линолин, слюну; но особенно хорошо склеивает и при хорошей просушке является достаточно хорошим проводником — ушная сера.

Хотя при равной ширине золотые листочки (0,12  $\mu$ ) вдвое тяжелее алюминиевых (0,5  $\mu$ ), однако для измерения нужно предпочесть первые: алюминиевые листочки дают нередко так называемый «кри-кри-эффект», т. е. при известных обстоятельствах при равномерном уменьшении электрического заряда алюминиевый листочек скачет на несколько делений окулярной шкалы.

Этот недостаток можно уменьшить или устранить, нагревая листочек до 400—500°.

Струны для гальванометра и электрометра из полосок фольги 0,2—0,3 мм шириной отличаются большим затуханием в воздухе и (в случае алюминия) малой массой [7].

Алюминиевые струны удобно приклеивать сплавом Вуда (ср. стр. 16); нужно только при этом тщательно удалить все следы паяльной жидкости, так как в противном случае место припоя спустя несколько недель делается непроводящим. Подводящий штифт (при применении хлористого цинка) покрывается оловом (залуживается), затем жидкость тщательно смывается.

Предохранители для малых сил тока можно изготовить таким же способом из полосок станиоля 0,1—0,2 мм шириной. Минимальная сила тока, необходимого для расплавления этих предохранителей, доходит до 0,1 А.

Это относительно высокое значение получается потому, что для тонких полос отношение поперечного сечения к охлаждающей поверхности делается весьма неблагоприятным. Мюллер [3] также отмечает поразительно высокую пропускаемость тока тонкими пленками.

### 3. Пленки из органических веществ

а) «Кишечная перепонка» — тонкая буровато-коричневая прозрачная пленка. Она вырабатывается особым образом из слепой кишки быка и служит в золотобитной мастерской в качестве прокладок между отдельными листами металла во время битья.

б) Целлулоидные перепонки 10—03  $\mu$  толщиной можно легко изготовить, наливая цапоновый лак на воду. Они весьма прозрачны, газонепроницаемы и дают великолепно окрашенные интерференционные цвета. Трэнктрог в своей диссертации (Kiel, 1923) описал способ их изготовления. Удаляют кипячением из воды воздух и наливают ее в сосуд 20—30 см диаметром; в воду погружают проволочное кольцо (около 5 см диаметром), которое должно служить в качестве каркаса для пленки; к кольцу припаяна выступающая из воды рукоятка. Затем быстро наливают несколько капель целлулоидного лака в середину поверхности воды.

Лак расплывается, но он не должен нигде касаться стенок сосуда. Слой оставляют на  $\frac{1}{2}$  часа, пока он высохнет, защитив его предварительно от пыли, затем его осторожно вынимают при помощи проволочного кольца и помещают на час в сушильный шкаф.

Цапоновый лак представляет собой раствор целлулоида в смеси амилацетата и ацетона. Раствор целлулоида в чистом ацетоне по Трэнктрогу медленно расплывается на воде и дает слои прочные, но с большим числом пузырей и отверстий. Раствор целлулоида в чистом амилацетате дает более равномерные, но менее прочные слои. Особенно блестящие интерференционные цвета получаются при добавлении к цапоновому лаку 20% эфира.

Применяемость таких пленок в качестве окон для вакуумных трубок характеризуется следующими данными:

Диаметр	Толщина	Давление в мм ртутного столба	
1 мм	6—10 $\mu$	760 мм	Вакуум катодных лучей
3 »	0,3 $\mu$	30 »	Высокий вакуум



#### 4. Тонкие проволоки

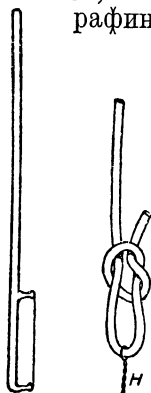
а) «Волосные» проволоки. Так называются проволоки из серебра, меди, золота, платины, никеля, железа, алюминия, латуни, фосфорной бронзы, нейзильбера, стали, платино-иридия, платино-серебра, никелина, марганца, константана, кульмица, крупина и висмута, толщиной от 0,20 мм до 0,015 мм (15  $\mu$ ) (висмут только до 0,06 мм). Проволоки обычно бывают намотаны на катушки. При разматывании нужно быть осторожным, чтобы проволоку не запутать: прикрепляют зацепленный конец восковой замазкой к стеклянной пластинке, разматывают необходимую длину под постоянным натяжением, зацепляют снова проволоку в вырезе катушки, приклеивают ее также у катушки к стеклянной пластинке и разрезают затем между катушкой и вторым приклеенным местом. Грузоподъемность проволоки из фосфорной бронзы 0,2 мм диаметром — 20 г. Припайвание лучше проводить без паяльной жидкости, так как иначе тонкие проволоки постепенно подвергаются химическим воздействиям.

б) Проволоки Тайлора. Металлические проволоки со стеклянной оболочкой до 0,1  $\mu$  толщиной можно изготовить, если протянуть размягченную стеклянную трубку, наполненную расплавленным металлом, через коническое отверстие в нагретой медной болванке (подобно тому, как протягивают проволоку через волочильню). Тайлор [8], предложивший этот метод, получил таким образом проволоки из меди, серебра, золота, свинца, олова, кадмия, таллия, железа, кобальта, кальция, индия, висмута и сурьмы. Стеклянную оболочку можно затем удалить травлением в плавиковой кислоте.

в) Волластоновы нити. Подобный же метод изобретен Волластоном (1813). Этот метод позволяет получать проволоки из золота и платины до 0,5  $\mu$  и алюминиевые проволоки до 2  $\mu$  толщиной. Для этого окружают, например, платиновую проволоку толстым цилиндрическим слоем серебра. Если растянуть такую проволоку до диаметра в 0,2 мм, то диаметр платиновой сердцевины соответственно сильно уменьшится. Затем обрабатывают проволоку азотной кислотой, которая растворяет серебро, не действуя на платину, так что освобождается чистая платиновая сердцевина. Каждый раз протравливают кусок только необходимой длины.

Рецепт для протравки. Приготавливают стеклянную палочку около 20 см длиной, к которой внизу припаяны два коротких (1 см длины) отростка (рис. 19), покрытых парафином. Штатив, в котором закрепляется стеклянная па-

лочка, должен быть таков, чтобы его можно было легко смещать в вертикальном направлении без горизонтального качания. Отрезается кусок волластоновой проволоки длиной, равной расстоянию между надставками, выпрямляется и нагревается на толстой жести над бунзеновской горелкой около 1 мин. до  $400^{\circ}$  (положенный на жель кусочек свинца плавится). Затем проволоку приклеивают, не сгибая ее, парафином к надставкам держателя (рис. 19).



Смешивают в маленькой мензурке 2 части концентрированной азотной кислоты (свободной от хлора) с 1 частью дистиллированной воды и погружают проволоку в кислоту, которая вследствие разбавления водой несколько нагревается.

Наблюдают появление пузырьков и уплотнений, состоящих из серебра и азотнокислого серебра, и очищают проволоку от них повторным ее выниманием. Диаметр проволоки видимо уменьшается, и спустя примерно 5 мин. в ванне с кислотой остается едва различимая платиновая сердцевина. После этого проволока вынимается и погружается несколько раз в дистиллированную воду.

Для того чтобы протравленную проволоку можно было применять, ее нужно еще припаять к двум крючкам (электрометр Долецалека) или штифтам (струнный гальванометр). Эти крючочки и штифтики лучше всего привинчивать к шаблону так, чтобы они своими залуженными концами почти касались горизонтальной резко освещенной проволоки. Проволоку припаивают при помощи маленького паяльника, куски, ведущие к парафинированным концам, обрывают или же кладут держатель (рис. 19) на толстую жель и нагревают подставленной под нее бунзеновской горелкой, пока парафин не расплавится (нужно остерегаться при этом капиллярных натяжений) и не испарится. После этого можно непротравленные концы взять пинцетом и наложить для припоя на крючочки.

Бенедикс [9] находит, что тонкая волластоновая нить (2  $\mu$  и меньше) часто обрывается, если она закреплена на обоих концах, как указано выше. Он рекомендует сделать в непротравленной проволоке узел, как показано на рис. 20, который затягивается после протравки, а на конец прикрепить для тяжести несколько миллиметров скрученной тонкой платиновой проволоки.

После того как сделано это приспособление, проволока нагревается (как указано выше), укрепляется на штативе, и узел погружается в концентрированную, нагретую до 60—80° азотную кислоту. Когда узел затянется, погружают постепенно глубже и поступают в остальном, как указано выше.

Зурман и Ключиус [10] включали протравленную проволоку в качестве анода в цепь короткого замкнутого элемента, катодом которого служила полоска платиновой фольги, а электролитом — раствор двойной соли цианистого калия и цианистого серебра. Снятие серебра происходит постепенно и продолжается один час. При электролитическом удалении серебра в указанном растворе, как отмечают Фризе и Ветцман [11], платиновая сердцевина приобретает значительно больший блеск, чем в случае протравливания азотной кислотой.

д) «Ламетта» — тонкая металлическая полоска около 0,3 мм шириной и 7  $\mu$  толщиной, которая получается при расплющивании медной проволоки. Применяется она главным образом в качестве подвеса в гальванометрах с вращающейся катушкой, так как, при равной грузоподъемности, она имеет значительно меньший момент кручения, чем цилиндрические проволоки.

Различные физики, например Бенедикс и Леймбах [12], получали вальцовкой непротравленной волластоновой проволоки особенно чистые ламетты. Леймбах получил таким образом полосы 25  $\mu$  шириной и 0,28 толщиной, которые можно было применять для болометра; 1 см такой полоски имел сопротивление 138  $\Omega$ .

Как было указано на стр. 10, изготовленные по так называемому «методу Пинча» вольфрамовые проволоки, состоящие из одного кристалла («монокристаллическая проволока»), в противоположность проволокам из других металлов не дают никакого упругого последствия. Поэтому при некоторых измерениях такой проволоке нужно отдать предпочтение. Вольфрамовая монокристаллическая проволока может быть изготовлена минимум до 5  $\mu$ .

## 5. Кварцевые нити

Нити из плавленого кварца, благодаря их высокому сопротивлению на разрыв, малому упругому последствию и возможности получать их предельно малой толщины (от 15 до 0,5  $\mu$ ), становятся для физико-экспериментатора необходимым материалом для тонких подвесов. Укажем некоторые способы их приготовления.

По старому способу Бойса [13] укрепляют один конец кварцевой палочки неподвижно, а другой прикрепляют к стрелке самострела, из которого производят выстрел, когда палочка размягчится в пламени гремучего газа. Килей [14] улучшил в последнее время этот метод тем, что он применил для растягивания натянутую резиновую ленту.

Он же рекомендует тонкую, повешенную вертикально, с грузом на нижнем конце, кварцевую нить окружить нагревающей спиралью и заставить ее быстро вытягиваться в атмосфере водорода. Весьма элегантен метод, указанный Никольсом: кварцевую нить толщиной в несколько сотых миллиметра вносят крайним концом в вертикально установленное маленькое пламя гремучего газа. Тотчас же на несколько метров кверху поднимается весьма тонкая нить, которую собирают на платок из черного бархата.

Как известно, по законам геометрической оптики кварцевую нить толщиной в несколько микрон увидеть нельзя. При подходящем освещении однако получается такая яркая дифракционная картина, что с нитью можно без труда оперировать. Лучше всего ее положить на горизонтальное зеркало, которое должно быть свободно, во-первых, от пыли и, во-вторых, от электрических зарядов. На зеркало наносят две марки, которые указывают правильное расстояние соединенных нитью кусков. Для захватывания нити можно пользоваться пинцетом, если он захватывает точно своими кончиками. Концы пинцета рассматривают под слабо увеличивающим микроскопом и, смотря по обстоятельствам, оттачивают их на оселке. Вовсе не нужно, чтобы концы пинцета были узки и острокопечны. Для натягивания кварцевой нити приготавливают кроме того несколько чистых обезжиренных кусочков проволоки и немного густого раствора шеллака. Кварцевые нити доставляются приклеенными с обоих концов. Обрывают пинцетом нить у одного конца, захватывают ее на другом и кладут на зеркало. Вследствие слабых потоков воздуха тонкие кварцевые нити по большей части поднимаются вверх. Поэтому кладут один или два кусочка проволоки поперек нити и направляют ее таким образом, чтобы она соединила обе марки.

Затем поднимают один ее конец пинцетом, пододвигают под нее аппарат, заправляют весьма тщательно по оси и приклеивают нить шеллаком, который для более быстрого затвердевания можно внести нагретым паяльником. Таким же образом укрепляют и второй конец. Затем удаляют лежащие сверху проволоки, берут подвес рукой и наклоняют осторожно

зеркало до тех пор, пока нить не натянется; наконец когда пластинка будет повернута на  $90^\circ$ , система окажется подвешенной.

Для того чтобы сделать кварцевую нить электропроводящей, можно или (по Долецалеку) погрузить ее в раствор хлористого кальция, который образует гигроскопический слой, малая проводимость которого все же достаточна для статического заряжения иглы электрометра; или же (по Боттхеру, стр. 48) нить серебрят. Ее сопротивление тогда становится относительно мало, но вместе с тем это невыгодно влияет на ее упругие свойства. Для припайвания посеребренной проволоки достаточен (по английским источникам) сплав 50 г висмута, 31,25 олова и 18,75 свинца. Наилучший метод, рекомендуемый Килеем [14], — платинировать нити катодным распылением (ср. стр. 56). Практическое приспособление для этого указано Бестельмейером [15].

Катодом служит платиновая проволока, натянутая параллельно кварцевой нити (подвешенной на подвесном крючочке в трубке). Проводимость нити можно испытывать во время платинирования, заряжая электроскоп с листочками.

Шелковые нити почти совершенно вытеснены кварцевыми и волластоновыми нитями благодаря их более выгодным механическим и упругим свойствам. Точное наставление для разматывания кокона шелковичного червя имеется в книге Кольрауша \* «Курс практической физики» (раздел — технические приемы).

Паутина в редких случаях применяется в качестве подвесной нити, нити электрометра [16] или в качестве материала для креста нитей. Некоторые физики рекомендуют применять паутиновые нити по возможности свежие, т. е. позволить пауку спускаться в лаборатории с возвышения. Он должен при этом на месте спуска наматывать и протягивать паутину наподобие кварцевой нити. Свеженатянутую паутину (в противоположность кварцевой нити) можно значительно вытянуть, прежде чем она оборвется.

Приготовление креста нитей для окуляров. Изготовление креста нитей происходит следующим образом: в качестве материала применяют кокон паука, который можно найти, например, в щелях пустых деревянных строений. Несколько коконов собирают и хранят для последующего употребления (в пробирке).

---

\* Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Phys., готовится русский перевод.

На оправе, на которой укрепляется крест нитей, наносятся на вращающейся скамье четыре пометки, так чтобы линии их соединения были строго перпендикулярны. Далее готовят проволочную вилку, расстояние между зубцами которой составляет примерно  $1\frac{1}{2}$  диаметра оправы.

Сначала вытягивают из кокона 1 см нити, приклеивают ее к одному зубцу вилки и тянут дальше, пока она не зайдет за второй зубец, причем нить очищается между смоченными пальцами. Нить приклеивается затем на втором зубце. После этого кокон отрезают и накладывают вилку на оправу. Натянутую весом вилки нить наносят с помощью лупы на отмеченную марку и в этом положении приклеивают целлулоидным лаком. Толщина нити кокона паука составляет около 5  $\mu$ .

Изготовление магнитной системы гальванометра. Хотя магнитные системы для гальванометров фабричного производства можно получить от соответствующих фирм, но физики постоянно занимались (и с хорошим результатом) их изготовлением и улучшением [17]. Если желают получить систему большой чувствительности, то ее нужно конструировать возможно более легкой [18]. В качестве держателя для магнита выгодно применять тонкостенную стеклянную трубочку около 0,5 мм внешнего диаметра, которая получается растяжением тонкостенной широкой трубки. Для этого подбирают прямолинейный кусок около 10 см длиной, такой чтобы его можно было катать на пластинке зеркального стекла, или выпрямляют трубочку в электрической трубочной печи, поставив ее вертикально с привешенным грузом на нижнем конце.

Для изготовления маленьких магнитиков годятся куски чашовых волосков, которые должны иметь различную толщину и ширину. Они должны быть достаточно сильно «закалены». Для этого вносят выпрямленный кусок балансира на несколько секунд в маленькое пламя бунзеновской горелки, и как только острие накалится, его погружают в холодную воду и отламывают от 3 до 6 мм длиной.

Еще лучше охладить ртуть при помощи охладительной смеси, затем, укрепив возможно сильнее выпрямленный кусок балансира у самой поверхности ртути, нагреть его, пропуская в течение нескольких секунд электрический ток соответствующей силы, и опустить ярко накаленный балансир тотчас же то выключении тока в ртуть.

Если изготовить таким образом 10—20 кусочков, то их можно намагнитить, накладывая каждый в отдельности при помощи латунного пинцета на полюс сильного электромагнита.

Одноименные полюса окрашивают одинаковым цветом, например красным. Наконец наклеивают магнетики один за другим на стеклянную трубочку красными концами в одну сторону, например 5 штук один возле другого, наиболее длинные в середине на передней стороне и 5 штук на задней стороне. Если нужна «астати́ческая система», то наклеивают в точности на том же расстоянии от оси катушки еще  $2 \times 5$  магнетиков, но красными концами в обратную сторону. Процесс приклеивания довольно затруднителен, так как магнетики сильно притягиваются или отталкиваются. Лучше всего подождать с приклеиванием новых магнетиков, пока клей приклеенных раньше не отвердеет, что можно установить всегда легким нажатием. В качестве клея рекомендуется синдетикон. Готовые системы погружаются на короткое время в разбавленный раствор шеллака.

Изготовление наиболее удобных по величине зеркал и их прикрепление см. стр. 59.

## СЕДЬМАЯ ГЛАВА

### ИЗОЛЯТОРЫ И ВЫСОКООМНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ \*

#### 1. Изоляторы

Физика и техника высоких напряжений предъявляют к изоляторам совершенно различные требования: при исследованиях со статическим электричеством требуется чрезвычайно большое омическое сопротивление изолятора; точно также важно, чтобы он накапливал на своей поверхности возможно меньшие количества электричества, которое стекает затем при разряде. При опытах с переменным током, напротив, изолятор, как правило, должен иметь возможно большую пробивную крепость и малые диэлектрические потери. Кроме того в этом случае желательна известная механическая прочность и не слишком высокая цена. Требование предельно высокого омического сопротивления отступает при этом несколько на задний план. Например, парафин, являющийся одним из лучших изоляторов при работе со статическим электричеством, почти совершенно непригоден в переменном поле. Электротехническая промышленность выработала за протекшее деся-

---

\* Переработка соответствующих мест из книжки «Technische Kunstgriffe» того же автора.

тителение целый ряд изолирующих веществ, предназначенных для работы с переменным током. Следует указать, например, весьма употребительный фабрикат «бакелит» (см. стр. 32), «пертинакс» (пробивное напряжение для 11 мм 25 000 В) и «эксцельсиорпапир» (толщиною 0,0025—0,8 мм), «идонит», а также различные трансформаторные масла [1].

В дальнейшем мы приведем некоторые изолирующие материалы, находящие себе применение в физической лаборатории. Сопротивление 1 см<sup>3</sup>, полностью характеризующее изолятор, может весьма сильно отличаться у различных образцов одного и того же материала (например в 1 000 раз — слюда). Для того чтобы дать хоть некоторую характеристику, мы все же приведем приблизительные значения, — в большей части по тщательным измерениям Курти [2]. Изоляторы расположены по возрастающим изоляционным качествам.

а) Парафинированное дерево. Наиболее подходящим является белый бук, но также пригодны и все другие сорта древесины. Парафин должен быть разогрет до температуры несколько большей 100°, так чтобы он начал дымиться. После погружения деревянных брусочков поверхность парафина долгое время (около ½ часа) пенится благодаря выделению в большом количестве воздуха и водяных паров, заключенных в дереве. Брусочки все время следует переворачивать. Только когда почти прекратится выделение газа, приостанавливают нагревание и предоставляют составу медленно охлаждаться. Дерево вынимается, когда парафин уже начнет застывать. Обработанные таким образом брусочки полируют суконой тряпкой, их сопротивление равно примерно 10<sup>10</sup> Ω/см.

б) Стекло. Сопротивление стекла составляет 10<sup>18</sup>—10<sup>14</sup> Ω/см. Наилучшими изоляционными свойствами обладает тугоплавкое стекло, применяемое в трубках для сжигания. Стекло «минос» фирмы Шотт, применяемое преимущественно в качестве диэлектрика для конденсаторов, обладает по указаниям Шотта пробивной крепостью в 50 000 В/мм, диэлектрической постоянной, равной 8,5, и «лишь ничтожной проводимостью».

Большинство сортов стекла склонно к образованию на поверхности гигроскопического, проводящего слоя. Временное устранение этого слоя достигается промывкой горячей и последующим споласкиванием дистиллированной водой; для основательного удаления поверхностной проводимости стекло покрывается раствором шеллака. Шеллак обязательно растворяется в абсолютном спирте.



с) Фарфор имеет значительное преимущество перед всеми изоляторами, приведенными выше: он переносит высокие температуры. Правда, сопротивление фарфора при нагревании весьма сильно понижается. Так, например, при  $20^{\circ}$  оно составляет  $10^{14}$ , при  $200^{\circ}$  —  $10^{11}$  и при  $1000^{\circ}$  всего лишь  $10^6$   $\Omega/\text{см}$ . Роль фарфора в технике как изолятора, разумеется, не нуждается в пояснениях. При электростатических работах обычно фарфор не применяется.

д) Слюда является прекрасным изолятором, однако она, так же как и фарфор, редко применяется при работах со статическим электричеством. Значение удельного сопротивления для слюды колеблется между  $10^{13}$  и  $10^{17}$   $\Omega/\text{см}$ . Вследствие природной слоистости она является незаменимым материалом для конденсаторов. Данные относительно зависимости сопротивления слюды от температуры как будто не были еще нигде опубликованы.

е) Эбонит. Сопротивление при комнатной температуре составляет  $10^{15}$ — $10^{18}$   $\Omega/\text{см}$ . Однако у эбонита, так же как и у стекла, может возникнуть значительная поверхностная проводимость благодаря действию света и сырости; проводящий слой богат сернистой кислотой, легко обнаруживаемой на вкус. Изоляционные качества эбонитового изолятора можно увеличить в несколько раз, промывая его поверхность раствором соды и споласкивая затем дистиллированной водой или же, что значительно лучше, обтачивая его на станке или при помощи напильника. Обычно в эбонитовых стойках протачиваются глубокие желобки для увеличения пути прохождения тока. Такие стойки, покрытые к тому же раствором шеллака (см. п. «b»), могут быть с успехом использованы даже при тонких электростатических исследованиях.

ф) Сургуч имеет сопротивление  $10^{15}$ , канифоль и шеллак  $10^{15}$ , парафин  $10^{17}$   $\Omega/\text{см}$ . Последний раньше часто употреблялся при работах со статическим электричеством. Однако он обладает большим недостатком: парафин впитывает в себя часть заряда и отдает его, как только будет снято с него напряжение. Поверхностная проводимость обычно отсутствует, если только изолятор не захватан руками.

г) Плавленый кварц — отличный изолятор, пригодный также и при высоких температурах. При комнатной температуре его сопротивление равняется  $10^{15}$ , при  $300^{\circ}$   $10^{11}$ , и при  $700^{\circ}$   $3 \cdot 10^7$   $\Omega/\text{см}$ . Пробиивная крепость примерно такая же, как у лучших сортов стекла. Пластинки из кварца для целей изоляции вырезаются параллельно оптической оси; в этом случае ее изоляционные качества выше примерно

в 200 раз ( $10^{18}$   $\Omega/\text{см}$ ), чем у пластинки, вырезанной перпендикулярно (ось параллельна силовым линиям поля).

h) Сера является одним из лучших изоляторов и может быть весьма рекомендована в качестве материала для изолирующих подставок к электрометру, так как она при высоких изоляционных качествах ( $10^{18}$   $\Omega/\text{см}$ ) сравнительно очень дешева и легко поддается обработке. По Гейгеру и Маковеру [3] для получения надежных результатов серу следует плавить при возможно низкой температуре и затем вылить в чистую стеклянную трубку. При затвердевании она сильно сжимается, так что отлитый таким образом стержень по прошествии нескольких часов легко вынимается. При отливке в изолятор можно ввести подводящие ток провода. Изоляционные качества такого изолятора заметно убывают в течение первого часа. При работе его следует защищать от действия сильного света, так как при освещении сопротивление серы сильно уменьшается, так же как у теллура и селена.

i) Я н т а р ь, естественный и полученный посредством прессовки, как будто за последнее время вытеснил все иные средства изоляции для точных электрометров и других весьма тонких приборов.

Янтарию и сере, так же как парафину, присуще свойство впитывать часть заряда, однако в значительно меньшей степени. Более дешевый прессованный янтарь как изолятор не уступает заметно янтарию естественному. К сожалению, надежных измерений изоляционных свойств янтара еще не имеется. Гуртис дает лишь соответствующее значение  $10^{16}$   $\Omega/\text{см}$  для «амброина», продукта очевидно близкого к прессованному янтарию. Янтарь хорошо обрабатывается как на станке, так и при помощи напильника; некоторую опасность здесь представляет только его хрупкость.

## 2. Сопротивление в $10^6 - 10^{12}$ $\Omega$ .

Так же, как для обычных сопротивлений в  $10-100$   $\Omega$ , для высокоомных сопротивлений различают два вида: сопротивления, вводимые в цепь для регулирования силы тока, и точные сопротивления для измерительных целей. Последние должны обладать возможно меньшим температурным коэффициентом и совершенным постоянством во времени. Это требование в высокой степени удовлетворяется для реостатов из манганиновой проволоки. Однако проблема изготовления прецизионных сопротивлений на много мегомов, которые при использовании проволоки оказались бы слишком до-

рогими, не может еще считаться решенной. Что же касается высокоомных сопротивлений первого типа, для которых большое постоянство не так обязательно, то их не трудно изготовить самому различными методами или же отыскать в продаже в готовом виде.

а) Силитовое сопротивление. Силитовые сопротивления выпускаются в виде стерженьков в 1—2 см диаметром и 10—30 см длины с сопротивлением от 0,02 до 10  $\Omega$ . Некоторую опасность представляет «падающая» характеристика силита: при нагревании его сопротивление чрезвычайно быстро снижается. Поэтому, если нагрузка такой силитовой палочки столь велика, что вызывает заметное разогревание, автоматически увеличивается сила проходящего тока, что ведет в свою очередь к дальнейшему уменьшению сопротивления и соответствующему возрастанию тока, в результате силитовое сопротивление разогревается и разрушается. Учитывая это обстоятельство, всегда при замыкании такого сопротивления на источник значительной мощности, следует проследить за ним в течение некоторого времени до установления стационарного распределения температуры. С другой стороны, можно совершенно спокойно замкнуть, например, 2-вольтный аккумулятор силитовым сопротивлением в  $10^6 \Omega$ .

б) Тонкие слои проводящих веществ на изоляторе. Графитовое сопротивление можно приготовить, проведя сильный штрих карандашом на матовом стекле. Черта должна быть не менее 2 мм шириной, защищается графитовый слой шеллаком. Более обстоятельно метод изложен в книжке того же автора «Технические приемы» (см. [25] ссылку на литературу к гл. I). Такие сопротивления изготавливаются без большого труда и затем проверяются при помощи гальванометра. К их недостаткам относится большой температурный коэффициент, делающий графитовое сопротивление совершенно непригодным для измерительных целей.

Сопротивление из туши по Аусту [4] представляет собой слой чертежной туши, нанесенной на бумагу или асбест. Эти сопротивления можно готовить различной величины от  $10^4$  до  $10^{10}$ ; они выдерживают нагрузку до красного каления. Кост [5] получает сопротивление в  $2 \cdot 10^3$  до  $2 \cdot 10^5 \Omega$ , покрывая цилиндр из глины кашицеобразной смесью графитового порошка и туши. Такие сопротивления обладают недостатком, указанным выше; ненадежны также и контакты, подводящие ток. По Косту для тех же целей можно пользоваться непосредственно брусочками из туши. Брусочек размером  $1 \times 1 \times 5$  см имеет сопротивление  $10^6 \Omega$ .

Техническое выполнение сопротивлений этого класса было разработано Скауни и Эвестом [6], а также Лилиенфельдом и Гофманом [7]. Последние под названиями «Мультион II» готовят сопротивления до  $10^3 \Omega$  с температурным коэффициентом всего лишь в 0,2% на градус.

Пожалуй, лучшими сопротивлениями этого рода являются сопротивления, полученные посредством катодного распыления. Однако использование их в качестве прецизионных сопротивлений затрудняется следующим обстоятельством: если рассчитать толщину слоя платины (удельное сопротивление  $1 \cdot 10^{-1}$ ) для сопротивления в  $10^8 \Omega$ , то при ширине полосы в 1 см и длине в 10 см толщина слоя получается много меньше, чем диаметр атома. Трудно представить себе механизм протекания тока в подобном слое, состоящем очевидно из отдельных отделенных друг от друга скоплений атомов. Быть может, именно этой структурой поверхности объясняется то замечательное обстоятельство, что при очень тонких слоях температурный коэффициент сопротивления имеет отрицательное значение и затем при возрастающей толщине, проходя через нуль, постепенно принимает положительное значение, свойственное массивному металлу. Сюда же очевидно относятся результаты работ А. Риде [8], дающие непомерно сильный рост сопротивления при уменьшении толщины нанесенного слоя.

Для распыления металла пользуются аппаратурой, изображенной на рис. 12, стр. 57, или же подобным устройством с катодом из соответствующей проволоки. В качестве основы для слоя служит обычно стекло, лучше плавленый кварц (кварцевые нити) или янтарь. При стекле или кварце контакты осуществляются при помощи вжигания в их поверхность платины или золота (стр. 55), к которым непосредственно припаиваются провода, подводящие ток. В качестве материала для слоя рекомендуется платина ввиду ее химической стойкости, палладий, особенно хорошо распыленный, а также константан и манганин [9]. Замечательно, что последние сплавы распыляются совершенно без изменения, т. е. материал осажденного слоя имеет тот же состав и то же соотношение компонент, что и холодный металл, и поэтому также обладает большим удельным сопротивлением и малым температурным коэффициентом.

с) Полупроводники. Высокоомные сопротивления из полупроводников (дерево, некоторые сорта целлюлоида, окиси металлов и т. п.), повидимому, не применяются, хотя подобная попытка и не исключена a priori.

Фойгт [10] в одной из старых работ, выполненных 20 лет тому назад, при опытах с высоким напряжением в качестве сопротивления на  $10^{10} \Omega$  пользовался кленовыми брусочками в 120 см длины и 7 мм толщины, залитыми смесью парафина и воска. При встретившейся автору попутной проверке этих сопротивлений они дали вполне удовлетворительное постоянство; например, они оставались при испытании на ночь на батарее в 1000 В. Правда, температурный коэффициент такого сопротивления оказался довольно высоким.

д) Жидкие сопротивления. Употребительны следующие жидкости:

	уд. сопр. 1 см <sup>3</sup>
Маннитборная кислота по Магнанини . . . . .	1,00 $\Omega$ .
Иод стый кадмий-амиловый спирт по Гитторфу . . . . .	25 000 $\Omega$ .
Ксилол-спирт по Кэмпбеллу . . . . .	$10^{10} \Omega$ .
Иод в бензине по Роллефсону . . . . .	$1-5 \cdot 10^{11} \Omega$ .

Для всех сопротивлений этого рода не исключена возможность поляризации электродов при прохождении тока. Вряд ли это обстоятельство может препятствовать применению жидкостей в качестве регулирующих сопротивлений при высоком напряжении. С другой стороны, необходима возможно большая осторожность, если пользуются ими для измерительных целей при напряжениях, достаточно малых, включая их, например, параллельно электрометру.

Раствор Магнанини [11] готовят, растворяя в дистиллированной воде 121 г маннита, 41 г борной кислоты и 0,06 г хлорноватостокислого калия; затем раствор разбавляется дистиллированной водой до 1 л. Полученная таким образом жидкость отличается особенно малым температурным коэффициентом: две тысячных на градус. Из значения приведенного выше удельного сопротивления таким образом следует, что заполненный этим раствором капилляр, сечением в 1 мм<sup>2</sup> и длиной в 1 м, дает сопротивление, равное  $1,3 \cdot 10^{12} \Omega$ . Поляризацию электродов можно устранить посредством применения так называемых «неполяризующихся электродов», рекомендуемых Полем и Прингсхеймом [12] для измерительных целей; однако подобное устройство вносит значительную сложность в практическое применение сопротивления.

Сопротивление иодистый кадмий-амиловый спирт по Гитторфу [13] раньше пользовалось всеобщим признанием в качестве сопротивления, вводимого в цепь при исследованиях над разрядами в газах. Обычно для этой цели заготавливают несколько U-образных трубок высотой около  $\frac{1}{2}$  м и нужное сопротивление подбирают грубо, пе-

реключая их параллельно или последовательно, а более точно, — погружая на соответственную высоту электроды. Последние делаются из толстой амальгамированной кадмиевой проволоки или из жидкой кадмиевой амальгамы; жидкость состоит из близкого к концентрированному раствора иодистого кадмия в амиловом спирте.

Сопротивление ксилол-спирт как будто в последнее время применяется главным образом в качестве измерительного сопротивления, хотя и не имеется полной гарантии в совершенном отсутствии поляризации электродов [14]. При электродах из платины, покрытой платиновой чернью, достаточно раздвинутых, не должно наблюдаться заметной поляризации. Кэмпбелл [15] указывает следующий способ изготовления: технический ксилол и абсолютный спирт осушаются в эксикаторе над металлическим кальцием в течение 15 час. \*, затем смешиваются в отношении 9 частей ксилола и 1 части спирта, после чего раствор сейчас же выливается в сосуд, предназначенный для устройства сопротивления. Сосуд заполняется доверху и тщательно замазывается. Поверхностная проводимость прибора, которая может достигнуть величины того же порядка, устраняется одним из известных способов (промазка шеллаком, стр. 32, сушильный шкаф). Температурный коэффициент такого сопротивления все же сравнительно высок: для интервала температур 15—30° сопротивление равно:

$$R_t = R_{20} [1 - 0,14 (t - 20)].$$

Раствор иода в очищенном бензине рекомендуется Роллефсоном [16] в качестве сопротивления при работе с электрометром. Удельное сопротивление 2—10%-ного раствора лежит между 1 и  $5 \cdot 10^{11}$  Ω, температурный коэффициент составляет примерно 1% на градус, следовательно несколько выше, чем у раствора ксилол-спирт. Более определенное представление о качествах этого сопротивления можно будет составить лишь после того, как наберется достаточный материал.

а) Сопротивление Бронсона. Бронсон [17] предложил использовать в качестве высокоомного сопротивления ионизированный газ. Таким сопротивлением пользовались главным образом для измерительных целей при работе с радиоактивными веществами.

\* Опыты Шумана (см. [1] ссылку на литературу к гл. VII) показали, что последние следы влажности исчезают в ксилоле только после недельного соприкосновения с металлическим натрием; как при этом изменяется его сопротивление, еще не было исследовано.

«Сопротивления Бронсона» состоят обычно из металлической камеры, к которой присоединяется один из полюсов, в то время как другой вводится внутрь и изолируется при помощи янтаря. Ионизация воздуха вызывается препаратом какого-либо радиоактивного вещества (например посредством осадка полония, активность которого уменьшается вдвое в течение 136,5 дней, или окиси урана, помещенного в камеру). Как известно, проводимость ионизированного газа не подчиняется закону Ома; однако при достаточно малых напряжениях, с которыми приходится иметь дело при работе с электрометром, отклонения весьма незначительны. Более серьезные затруднения представляет возникающий в камере эффект Вольта, заключающийся в появлении между полюсами камеры разности потенциалов в 1—2 V. Однако это добавочное напряжение удается обычно скомпенсировать.

Техника измерений, связанная с рассмотренной областью, — изоляторы, сопротивления, включение электрометра и пр. — обстоятельно изложена в цитированной ранее книжке Гейгера и Маковера «Методика радиоактивных измерений» (ссылка [3] к данной главе). Схемы для измерения высокоомных сопротивлений рассмотрены в работе Егера и Хинце [18].

## ВОСЬМАЯ ГЛАВА

### ТЕРМОЭЛЕМЕНТЫ

Мы не будем здесь заниматься исследованием величин термоэлектродвижущих сил для различных металлов и сплавов\*, но приведем лишь значения термоэлектродвижущей силы в микровольтах ( $10^{-6}$ ) на градус при комнатной температуре для наиболее употребительных пар металлов.

Платина	—	платина + 10% родия	6,4
Константан	—	V <sub>2</sub> A (высокосортная сталь)	40
Константан	—	медь	41
Константан	—	манганин	41
Константан	—	хромоникель	53
Константан	—	хромин	56
Висмут	—	железо	92
Висмут	—	сурьма	100
95Bi, 5Sn	—	97Bi, 3Sb	120
Теллур	—	никель	330—520
Теллур	—	платина	до 500
Теллур	—	висмут	500—550

\* Литературу по данному вопросу см. в конце книги [1].

Эти числа являются только ориентировочными, так как термоэлектродвижущая сила некоторых пар сильно зависит от различных ничтожных примесей и строения металлов.

### 1. Термоэлементы для измерения температуры

Термоэлементы имеют следующие преимущества перед ртутными и газовыми термометрами: при них возможен отсчет на расстоянии; объем части, чувствительной к температуре, может

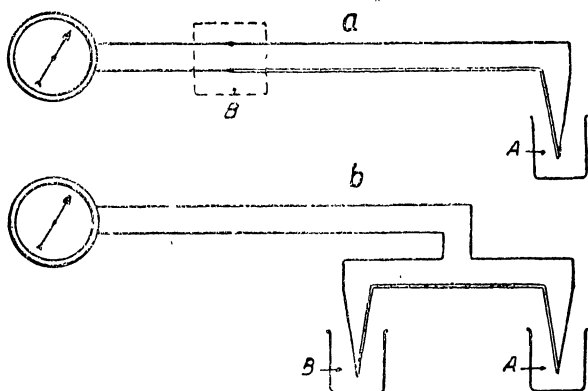


Рис. 21. Включение термоэлементов.

быть сведен к дробной доле миллиметра. Точность измерений благодаря подбору соответствующего гальванометра варьируется в широких пределах; область применения значительно шире, нежели у ртутного термометра.

Техника измерения высоких температур при помощи термоэлементов исчерпывающе описана Геннингом [2]. На рис. 21, *a* показано обычное включение единичного элемента; на рис. 21, *b* — подобное же включение, особенно подходящее для элемента медь-константан. Медь обозначена одинарной чертой (—), константан двойной (==). Спай *A* помещается в пространство, температуру которого требуется определить, спай *B* поддерживается при некоторой постоянной температуре (лед, для грубых измерений комнатная температура). Напряжение на клеммах при *B* измеряется при помощи компенсационного метода, или же измеряется сила тока в цепи при помощи гальванометра.

Второй способ значительно удобнее и поэтому чаще применяется, однако при этом необходимо, чтобы сопротивление



термоэлемента было достаточно постоянно или же чтобы оно было мало по сравнению с общим сопротивлением цепи.

Поэтому пара медь-константа заслуживает предпочтения перед парой константа-железо, несмотря на то, что последняя пара обладает несколько большей термоэлектродвижущей силой, так как медь, несмотря на свой большой температурный коэффициент, благодаря большой проводимости играет лишь незначительную роль в общем сопротивлении, а сопротивление константана, напротив, почти не зависит от температуры.

Практическая схема компенсационного включения дана Ст. Линдеком [3] (рис. 22).  $R$  — постоянное сопротивление в  $0,01 \Omega$ ,  $W$  — движковый реостат примерно на  $2000 \Omega$ . Сопротивления  $R$  и  $W$  соединены последовательно и замкнуты через миллиамперметр на аккумулятор  $E$ . Термоэлемент  $T$  располагается параллельно  $R$ .

При измерениях подбирают сопротивление  $W$  так, чтобы чувствительный гальванометр  $G$  не давал отклонений, и отсчитывают силу тока по  $M$ . При  $R = 0,01 \Omega$ ,  $1 \text{ mA}$  соответствует разности потенциалов на зажимах элемента в  $10 \mu\text{V}$ . Для термоэлементов этого рода употребительны следующие пары.

а) К о н с т а н т а н - м е д ь. Вара применяется главным образом для низких и средних температур, так как обладает сравнительно высокой термоэлектродвижущей силой и, как указано выше, малой зависимостью внутреннего сопротивления от температуры (измерение тока). Ее термоэлектродвижущая сила в области от  $0$  до  $+360^\circ$  с достаточной точностью выражается уравнением третьей степени. Элемент применяется в интервале от  $-250$  до  $+400^\circ$ . Государственное бюро физико-технических измерений в Берлине дает для такого элемента, один из спаев которого поддерживается при  $0^\circ$ , следующие значения термоэлектродвижущей силы в милливольтгах [4].

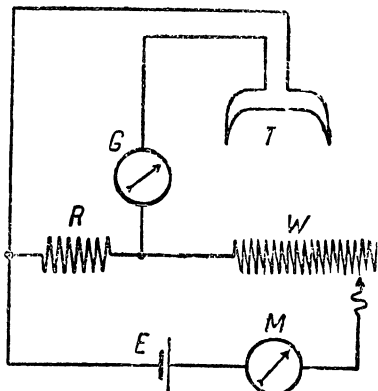


Рис. 22. Компенсационное включение.

$-185^\circ$	$-80^\circ$	$0,0^\circ$	$+100^\circ$	$+200^\circ$	$+300^\circ$	$+400^\circ$	$+500^\circ$
5,0	2,7	0	4,1	8,8	14,1	19,9	26,3

Следует заметить, что константановую проволоку нельзя заменять манганиновой. Манганин в комбинации с медью имеет особенно малую термоэлектродвижущую силу.

б) Константан-хромоникель (85,3 Ni, 125 Cr, остальное обычно Fe). Пара при высших температурах предпочтительнее пары медь-константан, так как обладает примерно в 1,3 раза большей термоэлектродвижущей силой и может применяться до  $900^{\circ}$  [1]. Пайка хорошо удается чистым золотом.

с) Платина — платина-родий (90% Pt, 10% Rh). Пара применима в интервале  $300—1700^{\circ}$ . Показания отдельных элементов воспроизводятся очень точно. Поэтому данная пара весьма подходит в качестве нормального элемента для точных измерений при температуре выше  $500^{\circ}$ . Между  $300$  и  $1600^{\circ}$  ее термоэлектродвижущая сила с большой точностью выражается уравнением третьей степени, коэффициенты которого определяются из наблюдений при точках плавления кадмия, сурьмы, золота и палладия. Если один из сплавов находится при  $0^{\circ}$ , элемент дает следующие термоэлектродвижущие силы в милливольтгах:

$500^{\circ}$	$1000^{\circ}$	$1500^{\circ}$	$1700^{\circ}$
4,17	9,56	15,45	17,81

Относительно мер предосторожности при употреблении элемента (защита от горячих газов, от распыляемого иридия и родия) см. у Геннинга [2].



Рис. 23. Последовательное включение термоэлементов.

Термоэлементы из сплавов элементов платиновой группы и золота», применимые до  $1200^{\circ}$ , обладают в 5 раз более высокой, термоэлектродвижущей силой чем элементы платина — платина-родий, и при равной прочности значительно дешевле. Элементы под названием «элементы из суррогатов платины», из неблагородных ме-

таллов, имеют термоэлектродвижущую силу почти такую же, как термопара платин — платина-родий (так что можно непосредственно пользоваться гальванометром, проградуированным в градусах Цельсия для последней пары). Однако этот элемент пригоден только для температур, не превышающих  $1000^{\circ}$ .

д) Вольфрам-молибден. При этой комбинации, состоящей из наиболее тугоплавких металлов, измеряемую тем-

пературу можно довести до  $2300^{\circ}$ . К сожалению, в этой области термоэлектродвижущая сила является сложной функцией температуры. Она возрастает до максимального значения в  $12,5 \text{ mV}$  при  $540^{\circ}$ , после чего вновь начинает убывать, проходя при  $1500^{\circ}$  через нуль, и в дальнейшем принимает отрицательное значение. Эти данные взяты из сообщения Ц. Г. Финка [5]. Новых опытов с этим элементом, который в атмосфере водорода должен давать абсолютное постоянство, повидимому, еще не появлялось.

Наконец следует напомнить, что можно получить во много раз большую термоэлектродвижущую силу, собирая элементы последовательно друг за другом (рис. 23). Это в особенности рекомендуется, если приходится определять среднюю температуру в некотором пространстве. При высших температурах представляет известные трудности изоляция отдельных спаев. При температуре до  $150^{\circ}$  для этой цели очень подходит бакелит (см. стр. 32). Изготовление такого рода батарей основательно описано в книжке «Технические приемы» (см. [25] ссылку на литературу к гл. I).

## 2. Термоэлементы для измерения лучистой энергии

Термоэлементы, описанные в первой части этой главы, применяются в тех случаях, когда запасы измеряемой тепловой энергии велики по сравнению с количествами, поглощаемыми спаем. Поэтому в подобных случаях спай в короткое время доводится до измеряемой температуры. Напротив, при измерении лучистой энергии, когда энергия эта обычно имеется в самых ничтожных количествах, условия совершенно иные. В этом случае элемент следует конструировать так, чтобы получать возможно большее нагревание при данной обычно весьма незначительной энергии падающей радиации, так как отклонение гальванометра пропорционально разности температур, при которых находятся спай; следовательно так, чтобы достичь возможно высшей чувствительности к излучению. Далее следует стремиться к тому, чтобы в возможно меньшее время достигалось термическое равновесие, и тем самым сократить длительность отсчетов показаний прибора.

Для этих измерений также часто включают несколько элементов последовательно, получая «термостолбик», как это указано на рис. 24. Спаи, обозначенные на чертеже через  $s$ , освещаются измеряемыми излучениями, спайи при  $u$  защищаются от их действия. Освещаемая поверхность в  $s$  обычно увеличивается при помощи припаивания маленьких зачерненных

серебряных кружочков; в *и* концы проволочек припаиваются к массивным медным, изолированным друг от друга брусочкам и таким образом не принимают участия в колебаниях температуры в освещенных местах.

В то время как старые кубические термостолбики по Мелони (1835) обладали еще очень малой чувствительностью к лучистой энергии, термостолбики, сконструированные позднее Пашаном (1863) и Рубенсом (1898), оказались весьма пригодными для

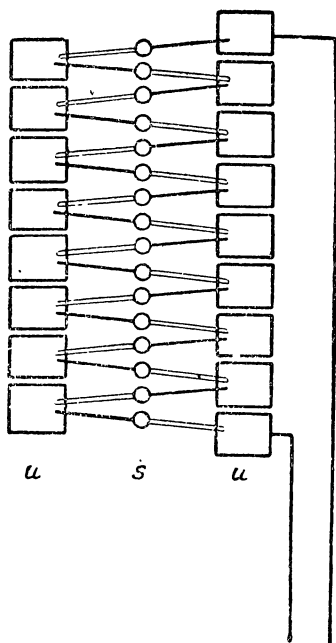


Рис. 24. Термостолбик для измерения излучения.

указанной цели. Параллельно с повышающимися требованиями, предъявляемыми инфракрасной спектроскопией, для которой решающую роль играет чувствительность измерительных инструментов, накапливались значительные материалы относительно получения термостолбиков весьма высокой чувствительности.

Обстоятельное теоретическое и экспериментальное исследование этих вопросов принадлежит Иогансену [6], работу которого очень рекомендуем просмотреть перед изготовлением этих приборов.

Для получения возможно высшей чувствительности следует:

1. Выбирать термопары с наибольшей термоэлектродвижущей силой.

2. Массу спая и проволочек делать возможно меньшей.

3. Сопротивление термостолбика подбирать равным сопротивлению применяемого гальванометра.

4. Тепловые потери через воздух, окружающий спай, должны быть незначительны.

5. Потери на теплопроводность проволочек должны быть одинаковы с потерями на излучение спая.

6. Диаметр обеих проволочек следует выбирать так, чтобы для обеих проволочек отношение потерь на теплопроводность к потерям на электрическое сопротивление было одно и то же.

К пп. 1 и 2. Термоэлектрическая разность потенциалов

для различных пар приведена в таблице на стр. 97; обращение с тонкими проволочками описано на стр. 83; приспособление для пайки, пригодное в данном случае, изображено на рис. 7, стр. 26).

К сожалению, металлы и сплавы, отличающиеся особенно высокой термоэлектродвижущей силой, настолько хрупки, что их не удастся получить в виде достаточно тонкой проволоки. Некоторые конструкторы придают большое значение механической прочности столбика и поступают величиной термоэлектродвижущей силы; другие же, напротив, идут на некоторую хрупкость прибора, или на несколько большее сечение проволоки, с тем чтобы использовать наиболее термоэлектрочувствительные металлы. В последнем случае приходится пользоваться короткими проволочками, часто лишь в несколько миллиметров длиной.

Для получения кусочков тонкой проволоки из хрупких, но сравнительно легкоплавких металлов существует два метода: описанный на стр. 83 способ Тайлора и другой прием, указанный Пфундом [7]). Для этого притасовывается фарфоровая чашечка с ручкой и стеклянная пластинка 5—10 мм толщиной размером  $50 \times 50$  см. 5—10 г металла расплавляются в чашечке и выбрасываются на стекло вдоль поверхности пластинки. Металл сейчас же застывает в виде плоской «лепешки», от которой тянется множество тоненьких нитей. Из них выбирают подходящие кусочки, отрезаются ножиком и отделяются от стекла при помощи пинцета. Пфунд пишет: «Многие нити при этом столь тонки, что вообще обращение с ними является весьма затруднительным. Наиболее подходящими оказываются полоски в 0,15 мм ширины и примерно 0,01 мм толщины. После многих тщетных попыток былработан следующий весьма подходящий метод припайки: два кусочка проволоки в 5 мм длины, полученные из обоих металлов, расплагаются друг за другом на стеклянной пластинке, под которую подложен лист белой бумаги. Затем на стеклянной полоске ( $1 \times 5 \times 40$  мм) расплавляется очень маленький кусочек припоя из третьего металла с более низкой точкой плавления. Расплавленный шарик покрывается неразъедающим паяльным воском, после чего припой стягивается крохотными шариками. Стеклянная пластинка переворачивается, и один из расплавленных шариков подводится к месту соединения обоих кусочков проволочек, чем и достигается их скрепление. Как только металл затвердеет, что можно установить по появлению беловатой окраски, производят лезвием ножа нажим на стеклянную полосу как раз над застывшим

шариком. Таким образом он расплющивается в очень тонкий кружочек, соединяющий нити. Наружная сторона каждого такого кружочка зачерняется».

К п 4. Чувствительность элемента к лучистой энергии можно значительно повысить (в некоторых случаях до 50 раз) [8], помещая термопару в откачанный баллон. Получаемый при этом выигрыш тем больше, чем меньше отдача тепла через проволоку по сравнению с потерями тепла через воздух. Однако откачка обуславливает наличие перед спаем окошка из вещества, прозрачного для измеряемого излучения. Допуская максимальную абсорбцию в 10%, при толщине стенки в 2 мм, получаем следующие границы со стороны длинных волн для указанных материалов:

Стекло . . . . .	1,5	μ
Кварц . . . . .	3	„
Плавиковый шпат . . . . .	9	„
Каменная соль . . . . .	17	„
Сильвин . . . . .	20	„

К сожалению, каменная соль и сильвин — материалы очень нестойкие и легко поддаются действию влажности. Ввиду этого такие окошки необходимо или защищать посредством осушки фосфорным ангидридом или металлическим натрием, когда элемент стоит без употребления, или же покрыть специальным лаком. В качестве такого лака пригоден, например, раствор хлопчатобумажного пороха в амилацетате, который однако обладает полосой поглощения в инфракрасной части.

Для того чтобы отделить эвакуированный баллон от насоса и все же иметь возможность даже по прошествии нескольких месяцев производить опыты при очень высоком вакууме, применяется откачка при помощи угля из кокосового ореха, охлаждаемого при работе жидким воздухом, ибо при соответствующем нагревании уже нельзя надеяться сохранить высокий вакуум при наличии вмазанных окон. В упомянутой выше работе Пфунд пользуется следующим оригинальным приемом для дополнительной откачки. Вертикальная трубка до 15 см длины несет на нижнем конце шар диаметром в 4 см, в который вводится платиновая проволока длиной в 1,5 см. Шар заполняется до половины измельченным коксовым углем, прокаленным на железном листе. В верхней части трубки имеется цилиндрический электрод из алюминия, в котором находится электрод Венельта. Откачку производят до нескольких миллиметров ртутного столба и затем пропускают через трубку разряд, достаточно сильный, чтобы раскалить до-

красна часть засыпанного угля, и одновременно откачивают выделяющийся газ. Когда отдача газа заметно уменьшится, разряд прекращают, максимально откачивают трубку и отпайвают от насоса. При охлаждении жидким воздухом получают высокий вакуум. Если вакуум со временем портится, достаточно пропустить при помощи электрода Венельта сквозь трубку в течение нескольких минут сильный разряд, чтобы вновь восстановить вакуум, соответствующий 2 см параллельного искрового промежутка. Такой откачки обычно достаточно более чем на четыре месяца.

К п. 6. По расчетам Иогансена, находящимся в упомянутой выше работе, максимум чувствительности достигается при диаметре железной проволоки в 0,023 мм, константановой в 0,045 мм и висмутовой в 0,075 мм. Если в первом случае обе проволоки взять одинаковой толщины, чувствительность элемента понизится на 17%.

В приводимой ниже таблице указаны некоторые наиболее удачные конструкции, с тем чтобы дать известное представление о чувствительности этих приборов.

	Материал	Поверхн. мм <sup>2</sup>	Сопротив- ление Ω	Откачано	Отклонение гальвано- метра на метр-свечи	Время установле- ния в сек.
E. S. Johansen, «Ann. Phys.», 33, 517, 1910	Железо- константан	2,5	7,3	да	135	?
	Железо- висмут	6,4	8,9	да	448	?
A. H. Pfund, «Phys. Zs.», 13, 870, 1912	96Bi+5Sn— —97Bi+3Sb	1	5,1	да	1 200	8
H. Witt, «Phys. Zs.», 21, 374, 1920	Bi—Bi+5 до 6% Sn	14×4	74,5	нет	6 800	17
W. Voege, «Phys. Zs.», 22, 119, 1921.	?	50	2—3	?	2 090	?
	?	4	2,8	нет	100	2
	?	3,5	0,95	да	214	31
W. J. H. Moll, «Proc. Phys. Soc.», 35, 955, 1923	Манганин- константан	314	50	?	(10 000)	2
R. Hase, «Zs.f. Phys.», 15, 52, 1923	?	8	7	да	(3 000)	незначит.
A. Hilger, «London Katalog», «F 15»	Висмут- серебро	10×1	?	нет	(750)	2,5

Термоэлемент Газе имеет некоторое сходство с описанным на стр. 107 элементом Остина. Мошь prepares «терможесть» следующим образом: две одинаковой толщину полоски из листового манганина и константана прочно спаиваются вдоль одного из краев и затем вальцуются до толщины в 5  $\mu$ ; причем направление вальцовки параллельно пропайному шву. Из полученного листочка нарезаются узкие полоски перпендикулярно спаю, так что каждая такая полоска состоит наполовину из константановой и наполовину из манганиновой фольги.

Мошь, Газе и Хильгер указывают не отклонения гальванометров, а непосредственно напряжение в микровольтах: 90 соответственно 30 и 7,6  $\mu V$ . Отклонения, заключенные в скобки, относятся к гальванометру с внутренним сопротивлением в 10  $\Omega$  и с делением шкалы  $10^{-9}$  А.

### 3. Термоэлементы для высокой частоты

а) Термокрест по Клеймену является лучшим и наиболее удобным инструментом для измерения слабых переменных токов. Он состоит из двух натянутых накрест волосков из тонкой проволоки, обычно константановой (*a*) и железной или платиновой (*b*). Два конца (*a* и *b*) присоединяются к гальванометру, к двум другим концам подводится измеряемый переменный ток. В месте скрещивания проволоочки спаиваются мягким, лучше твердым, припоем или же свариваются при помощи искры (стр. 26). Лучше (перед пайкой) проволоочки захлестнуть одну около другой, так чтобы они (как *a*, так и *b*) были согнуты под прямым углом. Большей частью такой элемент монтируется в откачанном баллоне наподобие лампочки накаливания.

Обычно гальванометр присоединяется к концам разных проводочек *a* и *b*, а источник тока к двум другим свободным концам, или же переменный ток пускается по какой-нибудь одной однородной проволоке, а гальванометр приключается одним полюсом к нагреваемой, а другим к скрещенной с ней нити, причем второй конец этой последней оставляется свободным.

По Диссельхорсту [9] при градуировке оба способа включения оказываются не лишенными недостатков. Однако при втором способе является возможным получить безупречные результаты, если включить параллельно нагреваемой проволоке во много раз большее сопротивление и найти на нем точку, которая при очень слабых токах не обладает напряжением относительно спаия. Теперь, если гальванометр включить между этой точкой и концом скрещенной проволоочки, он будет при



более сильных измеряемых токах давать чистое термоэлектрическое напряжение. Остаток, приходящийся на омическое падение потенциала, можно исключить при помощи коммутации нагревающего тока.

б) Элемент Остина. Л. А. Остин [10] пользуется комбинацией теллур-платина или теллур-константан. Этот очень употребительный элемент изготавливается согласно его указаниям следующим образом: две жесткие медные проволоки диаметром около 2 мм (*a* и *b*, рис. 25) укрепляются на расстоянии 4 мм в цилиндре из эбонита или какого-либо иного подходящего изолирующего материала. Кончик платиновой проволоки в 0,6—1 мм диаметром разогревается добела на пламени паяльной лампы и приводится в соприкосновение с маленьким кристаллом теллура. Теллур (точка плавления  $452^{\circ}$ ) сейчас же прочно приплавляется к проволоке. Затем платиновая проволочка вниз концом с наплавленным теллуром вносится на мгновение в небольшое пламя, пока теллур вновь не расплавится и не образуется капля *T*.

Когда теллур затвердеет, платиновая проволочка отрезается на несколько миллиметров ниже шарика и припаивается (при помощи мягкого припоя) к концу проволочки *a*. На конце *b*, который должен быть расположен на одной высоте с теллуром, напаяется волосок из платиновой или константановой проволоки около 0,02 мм диаметром и выгибается так, чтобы он по кратчайшему расстоянию касался теллура. Наконец этот волосок приваривается к теллуру в месте касания при помощи искры, как это описано на стр. 26. Остин говорит: «контакт получается менее хрупким, если сварка производится в атмосфере, свободной от кислорода».

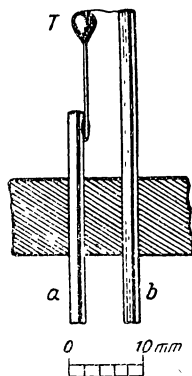


Рис. 25. Термоэлемент по Остину.

#### 4. Другие методы электрического измерения температур

а) Болومتر и термометр сопротивления. Методов определения температуры по изменению сопротивления металла мы здесь касаться не будем. Несмотря на сравнительно малые значения температурного коэффициента сопротивления, от 3 до 7 тысячных на градус\*, чувствительность этих методов благодаря исключительной точности мостика

\* По наблюдениям В. Рейса и А. М. ван-Лимпта над никелем [11].

Уитстона не уступает чувствительности термоэлектрического метода. Для измерения температуры (стр. 98) применяется почти исключительно платиновая проволока, навитая на слюдяной или фарфоровый каркас или же вплавленная в кварц (платиновые термометры), сопротивление которой между  $-40^{\circ}$  и  $+1000^{\circ}$  может быть строго представлено уравнением второй степени. Для измерения лучистой энергии, так же как и при термоэлементах, следует иметь в виду пп. 2, 3, 4 и 5, указанные на стр. 102. Ввиду этого здесь пользуются обычно тончайшими проволочками или узкими полосками тонкой фольги. Смотри, например, цитированную на стр. 85 работу Леймбаха, который изготовлял для своего болометра ленточки в  $25\text{ }\mu$  ширины и  $0,28\text{ }\mu$  толщины. В качестве материала в последнее время стали пользоваться также вольфрамом, температурный коэффициент которого, как было указано, почти на 30% выше, чем у платины.

б) Полупроводники с высоким температурным коэффициентом. Веурих [12] нашел, что сопротивление хромовосвинцовой соли при возрастании температуры от 0 до  $800^{\circ}$  снижается с  $1,7 \cdot 10^9$  до  $5,4 \cdot 10^1$ . Вильямс [13], сплавляя в вольтовой дуге медь и слюду, получает массу с большим удельным сопротивлением, довольно хрупкую, но которую все же можно спрессовать между листочками платиновой фольги в тонкую пленку. Ее сопротивление изменяется (между  $25$  и  $30^{\circ}$ ) на 5% на градус. Однако некоторые опыты, проведенные ван-Зухтхеленом, показали, что ее сопротивление непостоянно.

## ДЕВЯТАЯ ГЛАВА

### ФОТОГРАФИРОВАНИЕ

По общей фотографической технике существует ряд ценных руководств. Здесь можно указать «Компендиум фотографии» Шмидта [1] или прекрасный небольшой сборник рецептов «Фотографическое проявление» (Die photographische Entwicklung), выпущенный фирмой Гауфф.

Однако к технике научной фотографии предъявляются совершенно иные требования, чем к фотографии любительской. Здесь обычно требуется возможно большая контрастность; «спасать» передержанный снимок приходится лишь в редких случаях, так как при избытке света съемку обычно не трудно повторить при меньшей диафрагме, меньшей экспозиции или же на менее чувствительных пластинках.

Напротив того, при научной съемке зачастую приходится иметь дело со столь малыми интенсивностями, при которых обычная техника съемки оказывается уже совершенно бес-  
сильной. В особенности с сенсibiliзацией к красному и ин-  
фракрасному свету приходится встречаться, пожалуй, исклю-  
чительно при физических исследованиях.

### 1. Пластины

а) Основные сорта пластинок для физических работ таковы:  
Чувствительные только к синему и фиолетовому свету.

Пластины средней чувствительности (преимущественно для  
ультрафиолетовой спектроскопии).

Рентгеновские пластины.

Шумановские пластины для крайнего ультрафиолета.

Чувствительные к красному свету.

б) Изготовление шумановских пластинок.  
Исследования Шумана, как известно, показали, что при спек-  
тральных снимках сильная абсорбция в желатине, окружаю-  
щем зерна эмульсии, препятствует продвижению в далекий  
ультрафиолет. Крайняя граница, по которой еще возможно  
работать с обычными пластинами, находится около сильной  
линии алюминия  $1\,852\text{ \AA}$ . Но уже начиная с  $2\,300\text{ \AA}$ , следо-  
вательно еще в области, доступной для работы с кварцевой  
оптикой, начинают заметно мешать абсорбция и флуоресцен-  
ция желатина, повышающие время экспозиции при  $2\,000\text{ \AA}$   
примерно до 200 раз.

Шуману удалось изготовить пластинки, содержащие в слое  
лишь следы желатина. Для этого пластинка заливается водной  
эмульсией, из которой дают осадиться бромистому серебру,  
после чего оставшаяся поверх слоя вода сливается прочь. Та-  
кие пластинки при современных работах с короткими длинами  
волн (от  $2\,000$  до  $130\text{ \AA}$ ) являются совершенно незаменимыми.  
Их не трудно изготовить собственными средствами, поль-  
зуясь подробным рецептом, указанным Шуманом [1]. Он  
подчеркивает при этом, что успех в значительной мере зави-  
сит от применяемого желатина и особенно рекомендует мяг-  
кий английский желатин «Nelson № 1».

Рецепт изготовления шумановских пла-  
стинок. Берется стеклянная пластинка, по краям которой  
снимается узкий кант для того, чтобы эмульсия не стекала.  
Можно, например, воспользоваться старым отмытым негативом,  
сняв у него на вращающемся шлифовальном камне под  $45^\circ$   
узкие грани, шириною около десятой доли миллиметра.

Очень удобно иметь в темной комнате водяную баню с электрическим подогревом. Далее необходимы: пластинка *A* с приспособлением для нивелировки, ширина которой должна быть несколько менее большей стороны пластинки и длина по возможности столь большой, чтобы на нее укладывались друг за другом все заливаемые пластинки с зазором до 1 см; колба Эрленмейера *B* на 100 кубиков с хорошей новой корковой пробкой; плоская круглая фарфоровая ванночка *D*; плоскодонная колбочка на 50 см<sup>3</sup> *C*; химический стакан *E* и колба *F* на 600 см<sup>3</sup>; стеклянная воронка, в горлышко которой вставляется пробка из стеклянной ваты около 1 см высотой, так чтобы через нее вода протекала с незначительной скоростью; роговая лопаточка; кусок холста или марли размером 20 × 20 см и наконец стеклянная палочка для помешивания.

Все сосуды очищаются при помощи щелочи и хромовой смеси, как указано на стр. 44. Затем отвешивается: 4,5 г бромистого калия, 2,25 г желатина, 5,63 г азотнокислого серебра. Бромистый калий и желатин помещаются в колбу *B* и заливаются 30 кубиками дистиллированной воды. Азотнокислое серебро засыпается в колбу *C* и также заливается 30 кубиками дистиллированной воды.

По прошествии 20—30 мин. азотнокислое серебро и бромистый калий растворяются, и желатин набухает. Тогда сосуды *B* и *C* помещаются в водяную баню, находящуюся при 60°. Желатин тает. Когда жидкости прогреваются до температуры бани, камера затемняется, и все дальнейшие операции производятся при красном свете, который однако может быть довольно ярким.

Эмульсию получают, вливая *C* небольшими порциями в энергично встряхиваемую колбу *B*, — ни в коем случае *B* в *C*! Затем колба *B* затыкается пробкой, обертывается платком, чтобы задержать тепло, и сильно встряхивается в течение полуминуты. После этого она помещается на полчаса в водяную баню при 60°, с тем чтобы эмульсия, которая вначале походит на сливки, созрела и осели крупные хлопья бромистого серебра. Одновременно припасается кусок льда, на который можно было бы спокойно установить ванночку *D*. По прошествии получаса эмульсию сливают с осадка в кювету *D*, покрывают ее и ставят на лед. После нескольких минут эмульсия застывает, однако следует продержать ее на льду в течение 2—3 час., чтобы дать потверже желатинизоваться. Затем она крошится на мелкие кусочки и насыпается на середину приготовленной марли; марля собирается за четыре угла, перевязывается ленточкой и поме-

щается на 2—3 часа в горшок с проточной водой. (Автор рекомендует эмульсию готовить во второй половине дня и промывать в течение ночи.) Когда эмульсия достаточно отмыта, наливают в стакан *E* 475 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, доводят ее до кипения и затем охлаждают до 55°. Мешочек с эмульсией вынимается из промывочной воды, аккуратно отжимается и подвешивается в стакане *E*. Эмульсия сейчас же начинает таять. Мешочек несколько раз вынимается из стакана и погружается вновь, пока он совершенно не опустеет. Жидкость размешивается при помощи стеклянной палочки (не допускать образования пузырьков!) и отфильтровывается в колбу *E* через воронку со стеклянной ватой. После этого эмульсия готова и должна быть «немедленно использована».

Одновременно с приготовлением эмульсии очищают азотной кислотой или «хромпиком» стеклянные пластинки, промывают их дистиллированной водой, высушивают, кладут на подставку *A* и нивелируют ее возможно более точно. Между пластинками, как указывалось выше, оставляется промежуток в 1 см; края их должны выступать по обе стороны подложки. Сначала первая пластинка осторожно заливается слоем до 2—3 мм, причем поверхностное натяжение препятствует стеканию эмульсии. На пластинку 9 × 12 см уходит 25 см<sup>3</sup> полива. Все же из предосторожности лучше взять только 20 кубиков, так как при стекании портится также ближайшая пластинка. Эмульсия отмеряется при помощи мензурки. Эдер рекомендует для предотвращения стекания предварительно смазать пластинку жидким стеклом. Однако заливка обычно удается также и без этого вспомогательного средства.

Политые пластинки покрываются большим ящиком для защиты от пыли. Если воздух слишком сух, ящик сильно увлажняется изнутри, для того чтобы воспрепятствовать высыханию желатина. Так дают эмульсии отстояться в течение ½—2 час. Температура при этом не должна быть слишком низкой. Шуман указывает наименьшее значение 18°, Вольф [3] 25°. Если температура темной камеры оказывается ниже, обычно не трудно использовать какое-нибудь приспособление для электрического подогрева.

Когда отстоится осадок, жидкость сливается. Для этого под передний край пластинки поддвигают (прямоугольную) ванночку и, надавливая пальцем снизу, приподымают противоположный край. Затем пластинка берется за оба ребра и ставится для просушки на фильтровальную бумагу слоем к стене. Нужно указать, что от сквозного ветра и легкого нагревания образуются сильные «зоны осушки». Наконец пластинки за-

вертываются по две в черную бумагу, слой к слою, и защищаются от соприкосновения при помощи W-образных полосок картона. Такие пластинки достигают наибольшей чувствительности по прошествии недели и сохраняют ее около года.

От изложенного предписания возможны отступления в следующих пунктах:

1. Особенно тонкозернистые пластинки можно получить, если дать предварительно осадиться более грубым частицам. Для этого перед употреблением дают тонкому слою эмульсии некоторое время постоять в большой фарфоровой кювете, и осаждение оставшихся более мелких зерен производят соответственно дольше. Прием подробно описан в цитированной ранее работе Шумана.

2. Если работа производится в области от 2 300 до 1 850 Å, в которой еще применима кварцевая оптика, то, как нашел автор данной статьи, можно рекомендовать для полива эмульсию двойной концентрации: вместо 475 берется только 240 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Такие пластинки вполне оправдали себя при многочисленных опытах. Высохший слой на них значительно прочнее, чем на собственно шумановских пластинках, его, например, можно осторожно протирать пальцем; с другой стороны, при длине волны в 2 000 Å для достижения равного почернения при них достаточно  $1/_{200}$  экспозиции, потребной при обычных пластинках.

Проявляются и фиксируются шумановские пластинки так же, как и обычные. Однако в этом случае приходится соблюдать известную осторожность при покачивании кюветы, чтобы не смыть нежного слоя. Пластинки фиксируются очень быстро и отмываются в течение нескольких минут.

Довольно сложный, едва ли применимый на практике, способ Абнея для изготовления бромистого серебра, чувствительного до 20 000 Å, можно найти в томе I руководства по спектроскопии Кайзера (Kayser, Handbuch der Spektroskopie).

## 2. Сенсбилизация пластинок

Как известно, можно подобрать множество таких красителей, которые более или менее значительно сдвигают границу чувствительности бромосеребряной эмульсии в сторону длинных волн. По этому вопросу имеется содержательная монография А. Хюбля «Ортохроматическая фотография» [4]. Краска добавляется или непосредственно в эмульсию перед поливом или же готовая пластинка перед употреблением обрабатывается в ванне с соответствующим раствором. Первый способ приме-

няется на фабриках, производящих пластинки, со вторым обычно приходится встречаться на практике физику. Продажные пластинки по большей части нечувствительны к красному свету. Они носят название «ортохроматических», чувствительные же также и к красным лучам называются «панхроматическими». Чувствительность первых простирается примерно до 5 600, последних до 6 800 Å. Те и другие имеют характерный минимум чувствительности около 4 890—5 140 Å. Сенсибилизированные пластинки обладают в общем большей «цветной чувствительностью» и меньшей сохраняемостью по сравнению с пластинками, содержащими краситель, добавленный в эмульсию. Пластинки, подвергаемые сенсибилизации, не должны содержать в слое иодистого серебра.

а) Различные сенсибилизаторы. Действие сенсибилизатора вполне характеризуется при помощи кривой, представляющей зависимость степени почернения от длины волны действующего света. Такие кривые можно найти, например, в работах Эдера [5], Штенгера [6] и Вальтера и Дэвиса [7]. Правда, точной количественной оценки эти работы не могут дать, так как для различных длин волн  $\lambda$  приходятся неодинаковые количества энергии  $\Delta E$  на  $\Delta \lambda$ ; однако они дают хорошее качественное сравнение различных сенсибилизаторов, испытанных с одной и той же установкой.

Физику-практику, который заинтересован исключительно в том, чтобы как можно проще получить возможно более чувствительные пластинки для спектральных снимков, можно указать много сенсибилизаторов, ни один из которых по качеству не превышает других. Лучшим сенсибилизатором в синезеленой части является полученный несколько лет назад пинафлавол (Pinaflavol), для красной уже давно получивший признание пинацианол (Pinasyanol). Действие дицианина А (Dicyanin) наиболее глубоко простирается в длинноволновую часть; хорошим панхроматическим сенсибилизатором является также пинахромвиолет.

Сенсибилизаторы, наиболее важные по мнению автора, представлены в прилагаемой таблице. Для съемки был использован большой 3-призменный спектрограф. На щели укреплялся маленький клин, так что верхняя часть получала  $\frac{1}{500}$  света, падающего на ее основание. Для освещения применялась матовая полуваттная лампа. При таких снимках на полюсу в 1 мм ширины в красной части приходится значительно больше энергии, чем в синей: во-первых, потому, что лампа излучает почти как черное тело, для которого максимум энергии при 2 000° находится в инфракрасной части; во-вторых, пото-

му, что призматический спектр всегда сильнее растянут с фиолетового конца и, в-третьих, потому, что для флинта (0,102), из которого состояла призма, в синем свете становится уже заметной абсорбция. Однако качественно такие снимки, сделанные по возможности в одинаковых условиях, дают достаточно хорошее сравнение. Первый снимок представляет чувствительность пластинки, не обработанной в ванне, которая однако содержит уже некоторое количество сенсibilизатора в эмульсии. Следующие снимки дают кривую чувствительности тех же пластинок после соответствующей обработки в пинафлаволе, пинахроме, пинацианоле, в пинацианольбляу и дицианине А. На пластинках, обработанных в дицианине, как известно, при чрезвычайно больших экспозициях можно еще фотографировать спектральную линию  $1\mu$  ( $10\,000\text{ \AA}$ )\*. Поэтому, чтобы показать длинноволновую границу, пришлось последний снимок экспонировать в 15 раз дольше. Однако из двух последних снимков видно, что убывание чувствительности с красного конца происходит весьма обрывисто.

б) Р е ц е п т. Сначала готовится 0,1-%ный «маточный раствор», для чего, например, растворяется 50 мг краски в 55 см<sup>3</sup> спирта. Стойкость растворов разных сенсibilизаторов весьма различна: пинахром сохраняется почти безгранично, дицианин лишь несколько месяцев. Для приготовления последнего следует пользоваться возможно более абсолютным спиртом (см. стр. 21). Растворы должны быть хорошо защищены от света.

Д о б а в л е н и е а м м и а к а. Обработкой в 1—5%-ном растворе аммиака можно существенно повысить чувствительность пластинки, также не сенсibilизированной, почти до двух раз; однако при этом она приобретает сильную склонность к вуали и сохраняется только в течение нескольких дней. Следует ли прибавлять аммиак к сенсibilизирующей ванне, пока еще очевидно не выяснено; пожалуй, результат сильно зависит от сорта применяемых пластинок. Если желательно получить возможно большую чувствительность, то можно рекомендовать добавление от 1 до 4 кубиков аммиака на 100 см<sup>3</sup> жидкости ванны. В ванну сначала заливается аммиак, а затем спиртовый раствор.

Ф. Хюбль возражает против добавления аммиака и рекомендует вместо него на 100 кубиков жидкости ванны прибавлять 1 см<sup>3</sup> холодного насыщенного раствора буры. Напротив того,

---

\* В. П. Любич и Е. М. Пирен при 20-часовой экспозиции получали еще грубный дублет  $10\,121/10\,165\text{ \AA}$  [8].



аммиак является совершенно необходимым, если спирт, что иногда встречается, дает кислую реакцию.

В нижеследующей таблице приведен состав некоторых сенсibiliзирующих ванн:

Сенсибилизатор	Спирт	Вода	Маточный раствор
Пинафлаволь . . . . .	20 см	80 см	3 см
Пинавердоль . . . . .	20 »	80 »	3 »
Пинахром . . . . .	20 »	80 »	2 »
Пинахромбляу . . . . .	50 »	50 »	2 »
Пинахромвиолет . . . . .	20 »	80 »	2 »
Пинапианоль . . . . .	30 »	70 »	1,5 »
Пинацианольбляу . . . . .	50 »	50 »	1,5 »
Дицианин . . . . .	40 »	60 »	3 »

Для красок пинацианольбляу и дицианин, Валента рекомендует заменить спирт этиловый спиртом метиловым.

Стойкость этих сенсibiliзирующих ванн колеблется между несколькими месяцами (при пинахrome) и немногими минутами (при пинацианольбляу). Поэтому при работе с последним красителем (а также при дицианине А) все заготавливается заранее, и только в последний момент в ванну вливается из маленькой мензурки определенное количество «маточного раствора».

Пластинку следует продержатъ в растворе, непрерывно покачивая, в полной темноте в течение 2—4 мин. Для измерения времени очень удобны так называемые сигнальные часы, которые пускаются в ход нажатием кнопки и по истечении 3 мин. начинают звонить. Действие ванны лучше, если температура ее не ниже 20°, благодаря чему краситель свободнее проникает в желатин.

Пластинка, обработанная в одном спиртовом растворе, заметно не сенсibiliзируется, так как желатин не набухает в спирту. С другой стороны, спирт также не в состоянии уничтожить окраску зерен эмульсии, полученную в водной ванне; он удаляет только свободный краситель из желатина. Эта операция значительно уменьшает абсорбцию света слоем; поэтому (по Хюблю) очень выгодно после сенсibiliзации около минуты промывать пластинку в 90%-ном спирте, непрерывно покачивая ее.

Кениг [9], пользуясь тем, что спиртовые растворы не сенсibiliзируют, предложил следующий способ сенсibiliзации: пластинка погружается в смесь из 100 см<sup>3</sup> обычного спирта и 4 см<sup>3</sup> раствора краски 1 : 1 000. Эта операция может производиться при красном свете, и пластинку достаточно погру-

зить в ванну на непродолжительное время. Затем пластинка высушивается и при надобности сохраняется значительное время (около 18 месяцев). Этот прием, дающий ясно работающие и чувствительные пластинки, применим однако лишь при сенсibilизаторах, мало растворимых в воде, например при пинахроме; менее применим при пинахромбляу и пинахром-виолетт. Относительно дицианина *A* не имеется никаких указаний.

Особый способ Вейсенбергера, при котором сенсibilизирующее вещество обесцвечивается при помощи уксусной кислоты и перестает действовать в ванне, описан в книге Хюбля (ссылка [4] к данной главе). По высыхании вновь выделяется первоначальный краситель и пластинка становится чувствительной.

Сушка сенсibilизированных пластинок должна производиться возможно быстрее. Лучше всего для этой цели воспользоваться ящиком, в который налита вода при 35°, на наклонную переднюю стенку которого укладываются сырые пластинки, и затем привести в действие небольшой вентилятор [10].

В этих условиях сушка заканчивается в течение нескольких минут.

**Панхроматические пластинки.** Смесь двух красителей, как правило, менее действительна. Можно очень просто приготовить пластинки, чувствительные ко всему видимому спектру, обрабатывая пластинки, чувствительные к желтому и зеленому в растворе пинацианоля. Еще лучше оказывается комбинация пинафлаволя с пинацианолем или дицианином; однако при этом нужно пользоваться двумя отдельными ваннами (первая пинафлаволь, затем дицианин). Хорошим панхроматическим сенсibilизатором, как было указано, является пинахром-виолет.

**с) Сенсibilизация к ультрафиолету.** Подобно тому, как достигается чувствительность к красному свету посредством добавления краски, можно на обычной пластинке вызывать почернение при освещении крайним ультрафиолетом, непосредственно действующим лишь на пластинки Шумана, смазывая ее веществом, которое обнаруживает под действием ультрафиолетовых лучей синюю флуоресценцию. Подобие, разумеется, получается лишь внешнее.

Этот род сенсibilизации упоминается во многих работах. Доклю и Жанте [11] рекомендуют раствор эскулина в глицерине или машинное масло, имеющее синюю флуоресценцию. Очень хороша смесь бензина с небольшими количествами парафинового масла.

Другой метод тех же авторов состоит в том, что пластинка помещается на 4 часа для разрушения желатина в ванну с разведенной серной кислотой при  $25^{\circ}$  («шуманизированные пластинки»). Перед проявлением следует пластинку залить коллодием, чтобы не отмыть нежного слоя. Такие пластинки должны быть в 10 раз чувствительнее шумановских; но результат очевидно сильно зависит от применяемого материала (содержание иодистого серебра).

д) Ореолы и противоореольные пластинки. Часть света, прошедшая сквозь слой, отразившись на границе желатина и стекла и еще значительней на границе стекла и воздуха, пронизывает слой вторично уже на новом месте и вызывает образование так называемых «ореолов». Стекло непрозрачно для ультрафиолета, и поэтому при работе с ним на снимках отсутствуют ореолы. Очевидно, аналогично можно избавиться от ореолов и в видимом свете, нанося на обратной стороне пластины поглощающий слой (по показателю преломления близкий к стеклу или желатину) или лучше вводя его между стеклом и эмульсией. Например, на пластинках «Перорто-Браунзигель» под слоем эмульсии находится абсорбирующая прослойка из перекиси марганца ( $MnO_2$ ), которая при фиксировании растворяется в гипосульфите.

Обычно пластины можно переделать в противоореольные, покрывая обратную сторону соответствующим лаком. Можно, например, рекомендовать асфальтовый лак. Вместо окраски можно прижать к стеклянной стороне пластинки лист, политый окрашенной клейкой желатиновой массой. Весьма подходит для этой цели указанная на стр. 31 копировальная масса, которая сильно окрашивается некоторым количеством «растворимого в воде нигрозина».

При съемке спектров испускания ореолы почти совсем не мешают, однако они иногда могут совершенно смыть тонкие абсорбционные линии. При такого рода исследованиях, производящихся с пластинками, обработанными в дицианиновой ванне, указанный прием с копировальной массой может дать значительное улучшение.

### 3. Съемка

а) Изменение времени экспозиции. Фотографические пластинки далеко не так чувствительны к изменению времени экспозиции, как обычно думают начинающие. Например, можно без труда две пластинки, одна из которых экспонировалась в течение половинного, а другая — двойного

времени нормальной экспозиции (стало быть, времена относятся как 1 : 4), проявить так, чтобы не было заметно никакой разницы. Поэтому является совершенно нецелесообразным, если, например, 3-часовая экспозиция оказывается недостаточной, брать следующую экспозицию, равную 4 часам. Если на первом снимке после достаточно долгого проявления появляются лишь сильные линии, время экспозиции следующего снимка (если это только возможно) берется в 10 раз большим. Если имеется достаточно света и ищется наивыгоднейшая экспозиция (например при спектральных снимках), то выдержку изменяют от снимка к снимку в отношении 1 : 4 : 16 : 64 : 256.

Как известно, получается неодинаковое почернение в тех случаях, если, во-первых, при интенсивности  $J = 100$  освещать пластинку в течение времени  $t = 1$  сек. или, во-вторых, при  $J = 1$  брать  $t = 100$ .

Излучение действует тем сильнее, чем оно интенсивнее (закон Шварцшильда). Для того чтобы показать, какие благодаря этому получаются удлинения времени экспозиции, приводим нижеследующую табличку. Указанные значения вычислены для показателя Шварцшильда  $\eta = 0,9$ , что, как правило, справедливо для пластинок.

Интенсивность $\times$ время		Интенсивность $\times$ время	
360	1 сек.	1	вместо 6 9 мин.
3 600	1 »	1	» 1 2 час.
36 000	1 »	1	» 10 25 час.

б) Предварительное засвечивание. Соотношение между интенсивностью падающего на пластину света  $J$  и получаемым благодаря этому почернению  $S$ , как известно, представляется  $S$ -образной кривой, ход которой вблизи нуля представлен на рис. 26. Из кривой видно, что для того, чтобы пластинка начала чернеть, необходим некоторый, правда очень незначительный, порог энергии, помеченный точкой  $a$ .

При очень малых интенсивностях может пройти много часов, прежде чем будет достигнута эта точка, и зачастую уменьшение времени экспозиции может оказаться весьма существенным для проведения эксперимента. В подобных случаях рекомендуется подать на пластинку энергию наипростейшим и наиболее быстрым образом, например освещая ее при помощи лампочки, находящейся на большом расстоянии, или маленького пламени. Правильное количество света определяется при помощи предварительных опытов. Для этого по Вуду [12]

помещают тщательно покрытую черной бумагой пластинку перед отставленным на 2 м слабым источником света и затем (в такт метронома) стягивают бумагу на 1 см после каждых 2 сек. После этого пластинка проявляется возможно сильнее, и на ней отыскивается первая уже заметная полоска. Если, например, на нее приходится 4 сек., то следующую пластинку, уже предназначенную для проведения опыта, освещают в течение 4 сек. Посредством предварительного освещения можно уменьшить время экспозиции вдвое. По Вуду безразлично, производить ли эту операцию до или после опыта; однако этот вопрос, также как и то, имеет ли влияние цветность использованного света, как будто еще окончательно не разрешен.

Для рентгеновских лучей кривая почернения начинается в нулевой точке, порожнее значение равно нулю [13], и в этом случае предварительное засвечивание не имеет смысла.

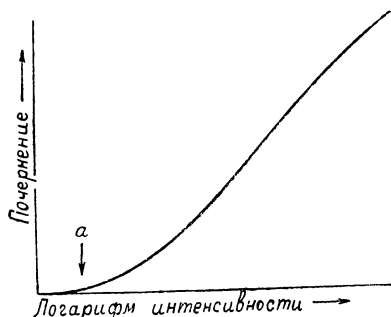


Рис. 26. Кривая почернения.

#### 4. Негативный процесс

а) Проявитель. Все современные проявители при соответствующем употреблении дают хорошие результаты. С другой стороны, ни один из них по своим свойствам не превосходит другие, например, в том, чтобы «выявить» сильно недодержанный снимок.

В дальнейшем приводятся три рецепта, наиболее достойные внимания. Нужно указать, что применяемый здесь «поташ», углекислый калий, должен быть химически чистым, так как технический продукт обычно содержит загрязнения, сильно замедляющие проявление. Далее не лишне обратить внимание на разницу между применяющимся здесь сернистокислым натрием (сульфит натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) и сернокислым натром (сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Особенно сильно зачерненные негативы дает проявитель метол-адурол. Хороший рецепт:

Раствор А: 1000 см<sup>3</sup> дист. воды  
5 г метола  
10 г адурола  
100 г сульфита натрия

Сульфит добавляется  
после растворения  
метола и адурола

Раствор В: 1 000 см<sup>3</sup> дест. воды  
100 « поташа химически чистого

При проявлении берется 1 часть А, одна часть В и 0—2 части воды. Раствор, бывший в употреблении, можно применять еще неоднократно, до тех пор пока он не примет коричневую окраску. Метолово-гидрохиноновый проявитель также очень хорош, но при температуре в 19° он действует очень медленно.

Особенно светлые негативы можно получить с глициновым проявителем:

Раствор А: 1 000 см <sup>3</sup> теплой дест. воды	Растворять в указанном по- рядке
100 « кристаллич. сернисто-кислого натрия	
10 « химически чистого поташа	
20 « глицина	
Раствор В: 1 000 см <sup>3</sup> дест. воды	
100 « химически чистого поташа	

Для работы берется 1 часть А и 1 часть В. Малейшие следы фиксажа вызывают желтые пятна. Температура проявителя должна быть не ниже 19°. Проявление начинается почти тотчас же (через ½ минуты) и заканчивается в течение 5 минут. Добавление нескольких капель бромистого калия сильно его задерживает.

Третьим хорошим проявителем является проявитель родинал; он имеется в жидком виде и для работы разводится с 10—12 частями воды. Почернение почти так же велико, как при глицине; проявление происходит несколько быстрее; зависимость от температуры ничтожная.

б) Проявление. Для проявления нормальных и недодержанных снимков не требуется особенной опытности: первые проявляются до тех пор, пока они при рассматривании не будут казаться несколько более черными, чем это требуется; последние — пока пластинка не начнет вуалироваться, что не вредит (при достаточной контрастности) местам, не подвергавшимся действию света. В последнем случае проявление длится значительно дольше.

На передержанных снимках изображение появляется скорее вялое, с весьма малыми контрастами, сильно вуалированное. При обычном проявлении получаются совершенно негодные негативы. В этом случае проявитель возможно быстрее заменяют сильно концентрированным, свежим составом, содер-

жащим бромистый калий и проявляют, невзирая на то, что пластинка при лабораторном фонаре кажется черной, до тех пор, пока со стеклянной стороны не появятся сильные света. Проявление переэкспонированной пластинки длится дольше, чем нормальной. Очень темные, но маломальски контрастные негативы можно просветлить позднее посредством ослабления (стр. 125).

Весьма удобно применение так называемых десенсибилизаторов. Некоторые органические красители способны сильно понизить чувствительность бромосеребряной эмульсии. Высоко чувствительные пластинки, обработанные в течение 2 мин. в соответствующем растворе, проявляются при желтом свете. Для изготовления раствора 0,2 г темно-зеленой краски растворяется в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и на 100 кубиков проявителя добавляют 1—3 см<sup>3</sup> полученного раствора. В течение первой минуты пластинка проявляется обычным образом, после чего ее безбоязненно можно рассматривать, по крайней мере, при ярком красном освещении. Также хорошо действует феносафранин, который несколько менее приятен благодаря своей сильной окраске.

Если желают пользоваться ярким светом уже в начале проявления, обрабатывают пластинку предварительно в течение 2 мин. в растворе пина-криптона 1 : 5 000 (соответственно пеносафранина 1 : 10 000) и затем уже вносят в проявительную ванну.

По Штенгеру и Штаммрейху [14] «нильская толубая» обладает в 1 000 раз более сильным действием. Большинство десенсибилизаторов снижает чувствительность только в синей и фиолетовой части, совершенно не понижая чувствительности к красному свету. Лучшим в этом отношении является пина-криптольгельб, который однако совершенно не переносит сульфита и поэтому применяется исключительно в виде предварительной ванны. Для обычной фотографической работы автор очень рекомендует пинакриптольжрон.

При десенсибилизации становится нечувствительной только поверхность зерна бромистого серебра. Установлено, что десенсибилизация оказывается недействительной в отношении рентгеновских лучей. Поэтому часто окрашивают рентгеновские пластинки в десенсибилизирующем растворе; такие пластинки сохраняют свою высокую чувствительность в рентгеновском свете и вместе с тем допускают проявление на сравнительно ярком свету.

с) **Ф и к с и р о в а н и е.** Когда проявление закончено, пластинка, по крайней мере в течение 10 сек., основательно про-

мывается в струе воды и затем уже погружается в фиксаж. Фиксажная ванна растворяет невосстановленное бромистое серебро.

Фиксаж, 10—15-%-ный раствор серноватистокислого натрия (гипосульфита), необходимо подкислить, так как иначе он скоро темнеет. Соответствующие рецепты даны у Шмидта. Однако следует предпочесть приобретение готовой «кислой фиксажной соли». Раствор выделяет некоторое количество сернистой кислоты, которая портит находящиеся поблизости приборы. Для уменьшения отдачи газа следует фиксаж держать не в плоской кювете, а в специальном глубоком баке, в который можно было бы установить вертикально большое число пластинок. Фиксаж сохраняется очень долго, если бак покрывать крышкой из парафинированного дерева. «Быстро фиксирующая соль», состоящая из серноватистого аммония, работает в два раза скорее, чем соль натрия.

Пластинка должна находиться в ванне не менее 10 мин. и не более часа; во всяком случае фиксирование следует продолжать вдвое дольше того времени, в течение которого пластинка становится прозрачной, так как сначала образуется трудно растворимая двойная соль, которая затем переходит в сернистое серебро (правда, по новым исследованиям Льюмбера это относится лишь к ваннам, содержащим серебро). В одном литре кислого фиксажа следует обрабатывать не более 70 пластинок размером  $9 \times 12$ .

Особенно важно подчеркнуть, что фиксажный натрий является опаснейшим ядом для готовых негативов. Благодаря присутствию в слое ничтожных следов гипосульфита негатив со временем бледнеет и становится желтым. (Методы, которыми можно обнаружить наличие фиксажной соли в промыточной воде, изложены у Шмидта).

Извлечение из фиксажной ванны растворенного серебра. В старом фиксаже, ставшем негодным благодаря длительному употреблению, содержится 3—4 г серебра на литр раствора. Из различных приемов обратного извлечения металла наилучшим является способ Штеймана [15]. Ванна нагревается до 50—60°. (Более высокая температура не вредит.) Затем на литр раствора добавляется 8 г натрий-гидросульфита и 8 г соды. Сейчас же почти все серебро выпадает из раствора в виде густого черного осадка. При этом фиксажная ванна отчасти восстанавливается.

д) Промывка и сушка. Промывка пластинок должна непрерывно продолжаться, по крайней мере в течение полутора часа, лучше 1—2 час., так как желатин очень медленно от-



дает гипосульфит. Во избежание механических повреждений слоя не следует струю пускать на негатив с большой высоты. После промывки пластинка под струей протирается ватным тампоном или проще рукой для удаления приставших частиц, которые лишь с большим трудом устраняются после просушки. Стеклоянная сторона также протирается, но еще более энергично. Наиболее важные пластинки (например предназначенные для фотометрирования) под конец споласкиваются дистиллированной водой.

Сушка уже готовых негативов также в некоторых случаях может привести к тибели ответственный снимок. Так например — желатиновая эмульсия начинает плавиться уже при 35—40°; поэтому никогда не следует оставлять пластинку в таком месте, куда может проникнуть прямой солнечный свет или где она может испортиться от неожиданно включенного парового отопления! Далее, если пластинка медленно сохнет при жаркой погоде, на слое могут поселиться грибки, которые, разрастаясь, вызывают образование мелких прозрачных круглых пятнышек с темными краями. Наконец, никогда не следует какими-либо сильными мерами ускорять просушку уже до половины высохших снимков, так как последние участки будут темнее, чем ранее медленно высохшие («зоны сушки»).

Можно весьма рекомендовать сушку перед медленно идущим вентилятором. Охлаждение, благодаря испарению, при этом столь значительно, что в иных случаях можно даже негатив положить на радиатор парового отопления; только необходимо время от времени контролировать температуру пластинки, ощупывая ее со стороны стекла. Для этой же цели очень хорош так называемый «фен». Такого рода вспомогательными средствами можно уменьшить время просушки до нескольких минут.

Второй метод состоит в промывке сырого негатива в спирте. Однако в этом случае могут на снимке появиться пятна и полосы, нередко также молочная муть, исчезающая при вторичной промывке в проточной воде. Ввиду этого сушку при помощи спирта нельзя рекомендовать для ответственных снимков. Значительно лучшие результаты можно получить при употреблении метилового спирта.

Третий способ обойти опасность быстрой сушки — укрепление слоя при помощи формалина. После промывки в течение 5 мин. в 2%-ном растворе формалина, слой выдерживает нагревание до 40—50° и хорошо дезинфицируется. После ванны пластинка промывается несколько минут под сильной струей

и может сушиться (при непрерывном движении) непосредственно над пламенем бунзеновской горелки. Следует избегать более сильной концентрации формалина, так как слой может отстать от стекла. Формалиновая ванна применяется только после промывки ввиду того, что формалин разлагает фиксажную соль.

е) Л а к и р о в к а. Важные негативы после полной просушки покрываются лаком (негативный холодный лак). На горизонтально расположенный негатив наливается некоторое количество жидкого лака и затем, осторожно наклоняя пластинку, равномерно распределяется по поверхности. Избыток сливают в запасный сосуд через один из углов; слегка приподымая противоположную сторону.

ф) У с и л е н и е. Фотографу-любителю обычно труднее, чем физику, решить, стоит ли усиливать данный слабый негатив, так как ему приходится при этом считаться с возрастающей контрастностью снимка. Последний же, напротив, может усиливать каждую пластинку, если почернение ему кажется недостаточным. Только в случае, когда снимок предназначен для последующего фотометрирования, следует отказаться от усиления, так как чрезвычайно трудно гарантировать с точностью до нескольких процентов равномерность действия по всей поверхности пластинки. Изменение кривой почернения при усилении исследовано Эдером [16].

Пластинки, предназначенные для усиления, должны фиксироваться и промываться особенно тщательно. Если не имеется в этом полной уверенности, следует негатив еще раз погрузить на 10 мин. в свежий фиксаж и вновь промывать в течение часа в проточной воде. После этого, пожалуй, можно удачу считать обеспеченной на 99%, но все же 1% остается на промах. Особенно надежны два метода: усиление с сулемой и с ураном.

Сулемовый усилитель. Приготавливается следующий стойкий (весьма ядовитый) раствор, который может применяться в течение долгого времени.

- 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды,
- 2 г поваренной соли,
- 5 г сулемы,
- 1 см<sup>3</sup> химически чистой соляной кислоты.

Мокрый или высушенный негатив кладется (на дневном свете) в ванночку с достаточным количеством раствора. Благодаря действию сулемы образуется белое полухлорное серебро

и хлористая ртуть. Когда пластинка начнет белеть с обратной стороны, ее вынимают и промывают в течение  $\frac{1}{2}$  часа в проточной воде. Раствор сливается назад и сохраняется в запасе. После промывки снимок чернится в разведенном аммиаке (50% аммиака, 50% воды) и наконец еще раз промывается в течение  $\frac{1}{2}$  часа.

Когда ванна с сулемой истощится, негативы перестанут чернеть в аммиачном растворе. В этом случае пластинка погружается на  $\frac{1}{2}$  мин. в раствор гипосульфита 1 : 10 и после промывки вновь усиливается в свежем растворе. При усилении следует избегать паров аммиака, так как они действуют на раствор сулемы. Усиление может быть уничтожено при помощи ванны с гипосульфитом.

**Урановый усилитель.** Смешивается в указанной последовательности:

- 50 см<sup>3</sup> 1%-ного раствора азотнокислого урана,
- 10—12 см<sup>3</sup> уксусной кислоты (80%),
- 50 см<sup>3</sup> 1%-ного раствора красной кровяной соли.

Этот раствор хорошо сохраняется в темноте и может применяться повторно. Серебро негатива получает в нем коричневую окраску и начинает поглощать особенно сильно фотографически активные лучи. Промывку можно производить только до тех пор, пока желатин не потеряет зеленоватый оттенок, так как коричневый краситель лишь весьма слабо растворяется в воде (15 мин.); струя не должна падать все время на одно и то же место пластинки. Еще лучше пластинку непосредственно после усиления перенести в сменяемую раза 3—4 ванну, состоящую из 100 см<sup>3</sup> насыщенного раствора квасцов,  $\frac{1}{2}$  см<sup>3</sup> соляной кислоты и 2—3 капель 1%-ного раствора марганцевокислого калия. Промывка длится 10 мин.

Усиление, полученное с ураном, почти тотчас же уничтожается в ванне, содержащей сильно разведенный аммиак; если желают пластинку усилить вторично, ее нужно предварительно некоторое время обработать (на дневном свете) в проявителе. Снимки, усиленные в сулеме и вновь ослабленные в фиксажной ванне, хорошо поддаются усилению в урановом усилителе.

г) **Ослабление.** Физику приходится прибегать к ослаблению главным образом для того, чтобы прояснить слишком плотные негативы или удалить общую вуаль. Изменение кривой почернения при ослаблении рассматривается в упоминавшейся ранее работе Эдера (см. [5] ссылку на литературу к гл. IX).

Фармеровский ослабитель состоит из двух следующих растворов:

А: 1 000 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

100 г серноватистокислого натрия (нейтральная соль).

В: 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды,

20 г красной кровяной соли (железосинеродистый калий).

Непосредственно перед употреблением смешивают 100 см<sup>3</sup> раствора А и 2—5 см<sup>3</sup> раствора В и в полученную зеленую жидкость погружают уже высушенную или поступающую прямо из фиксажной ванны пластинку. Ослабление ведется в стеклянной кювете, расположенной над хорошо освещенным листом белой бумаги; непрерывно покачивая ванночку, внимательно наблюдают за проявлением изображения. Как только будет достигнуто достаточное ослабление, пластинка вынимается и в течение нескольких минут сильно прополаскивается в воде для приостановки реакции и затем уже промывается нормально для удаления фиксажной соли. Если жидкость обесцветится прежде, чем наступит достаточное ослабление, ее выливают и заменяют новым раствором.

При ослаблении серебро растворяется (переходя в цианистое серебро) до тех пор, пока в конце концов пластинка не окажется совершенно прозрачной, причем исчезающие детали рисунка теряются безвозвратно. Однако это растворение происходит достаточно медленно и при известной внимательности не трудно уследить за процессом.

Фармеровский ослабитель несколько увеличивает контрастность; 5%-ный раствор надсернистого аммония действует главным образом на места сильного почернения и понижает контрастность.

Дихроичное серебро. При длительном проявлении или при попадании в проявитель фиксажной соли иногда благодаря образованию коллоидального серебра появляется вуаль, имеющая зеленую окраску в отраженном свете, и красную в проходящем. Она легко удаляется при обработке в кислом растворе тиокарбамида, состоящем из:

100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды,

2 г тиокарбамида,

2 г квасцов,

1 см<sup>3</sup> уксусной кислоты.

h) Наибольшая контрастность. Иногда требуются снимки только с двумя степенями почернения, светлой и темной, например резкая теневая картина или менее резкая

равномерно зачерненная кривая, но не спектр с сильными и былыми линиями. Такие снимки желательно получить в чистых белых и черных тонах. Для этого пластинка усиливается в урановом усилителе, с нее делается диапозитив (возможно тверже проявляется на диапозитивных пластинках), также усиливается в уране, с него изготавливается второй негатив и таким же образом усиливается в урановом усилителе. После подобной перепечатки контрастность снимка чрезвычайно возрастает.

## 5. Пигментные диапозитивы

Изложение приемов изготовления позитивов выходит из рамок нашей книги. Следует остановиться только на вопросе: какой из существующих способов вернее передает распределение света и тени? Без сомнения, пигментное печатание, специально пигментные диапозитивы! Для изучения этого исключительно хорошего метода печати, трудности которого часто переоцениваются, особенно подходит прекрасная книжка Шперля [17]. Затем следует отметить печатание на глянцевой целлулоидовой бумаге, которая обрабатывается в виражно-фиксационном растворе с золотом, и наконец работу на обычной бумаге.

## 6. Удаление слоя

Для получения стеклянных пластинок из старых негативов можно воспользоваться кислым фтористым аммонием, известным под названием «матовой соли», для чего готовится 1%-ный, самое большее 2%-ный раствор соли в холодной дистиллированной воде. Если пластинку поместить в этот раствор, то через несколько секунд слой снимается с нее в виде цельной пленки. После этого она сейчас же энергично промывается, для того чтобы фтористое соединение не действовало на стекло и не сделало бы его поверхность матовой. В 200 см<sup>3</sup> раствора можно обработать самое большее 150 пластин размером 9 × 12. Подобным же образом действует 1—2%-ная плавиковая кислота.

## 7. Рисовка по фотоснимку

Венельт в упоминавшемся уже на стр. 7 «Ремесленном практикуме физика» описывает следующий прием изготовления перспективных чертежей (например чертежей экспериментальной установки). Получают фотографию предмета на

гладкой матовой бромосеребряной бумаге (негатив или позитив). По высыхании отпечатка «несмываемой» тушью обводятся те линии, которые желательно воспроизвести. Если теперь все серебро удалить при помощи фермеровского ослабителя, то останется только чертеж на белой бумаге.

## ДЕСЯТАЯ ГЛАВА

### ЛАБОРАТОРНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕЧИ

#### 1. Материалы для печей

а) Материалы для каркаса. Ниже мы приводим применяемые при изготовлении печей твердые, электрические изолирующие вещества в порядке возрастающей огнеупорности. Дальнейшие указания по этому предмету можно найти у Р. Шварца [1], а также в указанной раньше книге Геннинга (см. [22], ссылку на литературу к гл. I).

«Ди а т о м и т». Сильно пористый (легкий) изоляционный материал, похожий по форме и цвету на обожженный кирпич. «Диатомитовые оболочки» паропроводов годятся, вследствие их весьма малой теплопроводности, дешевизне и легкой обработке, для обкладки печей. Однако при ярко красном калинии масса диатомита спекается, а потому его можно применять лишь для температур, не превышающих  $500^{\circ}$ .

Асбест применим до  $1000^{\circ}$ . Если асбестовый картон увлажнить раствором жидкого стекла, то он приобретает после осушки значительную жесткость. Устойчив по отношению к сильным колебаниям температуры.

Фарфор. Различные сорта выдерживают температуры от  $900^{\circ}$  до  $1300^{\circ}$ . Довольно устойчив к температурным колебаниям. Точка плавления около  $1600^{\circ}$ . Согласно Рике [2] фарфор газонепроницаем до  $1300^{\circ}$ .

Прозрачный и непрозрачный плавленый кварц. Применим до  $1100^{\circ}$ . Плавленый кварц с гладкой поверхностью можно употреблять для вакуумных труб при температурах до  $1200^{\circ}$ . При этой температуре трубки медленно деформируются под действием внешнего давления. Точка плавления около  $1700^{\circ}$ . При продолжительном применении свыше  $1000^{\circ}$  материал растрескивается, становится хрупким и газопроницаемым. Совершенно нечувствителен к резким изменениям температуры.

**Масса Маркардта.** Керамическая масса из каолина и глинозема. Применима до  $1400^{\circ}$ . Точка плавления  $1850^{\circ}$ . Газопроницаема. Довольно устойчива к температурным изменениям.

**Пифагорова масса.** Применима до  $1650-1700^{\circ}$ . Газонепроницаема до  $1200^{\circ}$ . Гораздо устойчивее к температурным изменениям, чем твердый фарфор (но если раскаленную трубку опустить в воду, то она трескается). Точка плавления  $1770^{\circ}$ . Этот мало еще известный продукт, состоящий из плавленого глинозема, заслуживает внимания. Из него можно изготовлять вещи сложной формы. Можно приготовить, например, трубки  $1-2$  м длиной, с внутренним диаметром  $0,4-70$  мм и с внешним диаметром  $1,0-80$  мм, открытые или закрытые на концах; далее можно изготовлять тигли и лодочки.

**Шпинелевая масса** (28% окиси магния, 72% окиси алюминия). Применима до  $1700^{\circ}$ . Точка плавления  $1825^{\circ}$  С (по Шварцу). Газонепроницаемость до  $1800^{\circ}$  С (Геннинг).

**Глинозем** (окись алюминия). Применим до  $1800^{\circ}$ . Точка плавления  $2050^{\circ}$ . Чувствителен к резким температурным изменениям.

**Окись магния.** Применима до  $1800^{\circ}$ . Точка плавления  $2800^{\circ}$ . Чувствительнее глинозема к изменениям температуры. В вакууме магний заметно испаряется уже при  $1700^{\circ}$ . Газопроницаема.

**Двуокись циркония.** Точка плавления согласно новому определению Геннинга [3] ( $2690 \pm 20^{\circ}$ ). Так же как и плавленый кварц, нечувствительна к переменах температуры. Химически очень устойчива, особенно к воздействию сильных оснований. До  $2000^{\circ}$  сравнительно хороший изолятор. В цитированной работе Геннинг определил точку плавления окиси гафния ( $2810 \pm 20^{\circ}$  С). Однако эта окись, пожалуй, для данных целей не может быть применима вследствие ее редкости.

**Азотистый бор (BN).** Точка плавления по Шварцу выше  $3000^{\circ}$  С. При температурах выше  $700^{\circ}$  подвергается действию кислорода и водяного пара. При высоких температурах разлагается металлами с образованием боридов. С углем же реагирует только при  $2000^{\circ}$ . Уменьшение сопротивления с повышением температуры для азотистого бора еще меньше, чем у остальных указанных изоляторов. Удельное сопротивление при  $2000^{\circ}$  составляет  $1900 \Omega/\text{см}$ .

**Уголь** — см. «печи короткого замыкания» (Kurzschluss-ofen») стр. 132.

б) Порошкообразные смеси для печей. До  $1300^{\circ}$  нужно предпочесть инфузориальную землю (Кизельгур) вследствие ее весьма малой теплопроводности. Лежащая при  $1600^{\circ}$  точка размягчения кремневой кислоты не дает возможности применять этот материал для более высоких температур.

До  $1600^{\circ}$  рекомендуется фарфоровая глина или шамотовый песок. До  $1800^{\circ}$  — чистый глинозем (окись алюминия), до  $2600^{\circ}$  — окись магния («жженная магнезия»), которая, правда, обладает сравнительно высокой теплопроводностью. Для еще более высоких температур — азотистый бор, с указанными выше ограничениями. Часто применяется в качестве материала для печей, до весьма высоких температур, уголь — древесный уголь в маленьких кусочках, измельченные обломки углей дуговых ламп, раздробленный уголь. Некоторыми рекомендуется также карборунд (карбид кремния).

с) Металлы для печей с проволочной обмоткой (указаны также в порядке применимой температуры).

Для низких температур  $300\text{—}400^{\circ}$ , какие необходимы, например, для прогрева вакуумных трубок, применима железная проволока, высокий температурный коэффициент которой обеспечивает до некоторой степени автоматическое регулирование температуры.

Для средних температур — около  $900^{\circ}$ , самое большее до  $1100^{\circ}$  — применяются сплавы никеля с хромом (нихром).

До  $1600^{\circ}$  применима платина, которая отличается высокой точкой плавления ( $1764^{\circ}$ ) и химической неактивностью.

Для весьма высоких температур можно применять молибден и вольфрам, которые однако нужно нагревать в вакууме. Молибденовой печью можно «без труда» достичь  $1800^{\circ}$ , а с описанной ниже вольфрамовой печью (при продолжительной работе)  $3200^{\circ}$  абс. (максимально).

Высокие температуры можно получить также с угольной трубчатой печью.

## 2. Некоторые типы лабораторных печей \*

а) Печь с проволочной обмоткой для температур до  $1000^{\circ}$  можно изготовить весьма простым способом, если на фарфоровую трубку (лучше трубку из пифагоровой массы) намотать хро-

\* В СССР электрические лабораторные печи изготавливаются, например, заводами «Электродело» (Ленинград) и «Термоэлектроприбор» (Ленинград).



моникелевую проволоку. Диаметр проволоки должен быть по возможности не меньше 1 мм, расстояние между витками достаточно малое (около  $\frac{1}{2}$  мм).

Готовую обмотку покрывают смесью талька и жидкого стекла и нагревают током, пока замазка не затвердеет. Концы проволоки (около 10 см) скручивают с подводными медными проволоками, после этого трубка устанавливается в цилиндр из диатомитовой оболочки, проволоки выводятся наружу через отверстие, а пространство между цилиндром и трубкой 1—4 см шириной набивается инфузорной землей. Наконечники лобовые поверхности и цилиндрическая оболочка покрываются асбестовым картоном, пропитанным жидким стеклом.

Молибденовую печь описывает Пакулла [4]. Камера высокой температуры имеет 35 мм в диаметре и 150 мм по высоте. Применяется молибденовая проволока диаметром 1 мм, выжженная в чистом глиноземе; вакуум; для 1800°, необходимо 83 В и 17 А.

Ф. Вартенберг, Брой и Рейнике [5] изготовили маленькую вольфрамовую печь, намотав прокаленную в пламени бунзеновской горелки вольфрамовую проволоку диаметром 1,1 мм на стальной сердечник. Они получили таким образом спираль из 10 витков с просветом в 5,5 мм. В нее всовывалась трубочка из окиси циркония.

Для изготовления этой трубочки окись, перемешанная с крахмальным клейстером, обжигалась в пламени гремучего газа. Внешняя оболочка спирали не описана. Печь давала при 120 А и 11 В в атмосфере водорода или азота в течение долгого времени 2500°.

Фезе описал вольфрамовую печь лаборатории О-ва изучения электрического освещения. Она состоит из вольфрамовой трубки 10 см длиной; внутренний диаметр ее 1 см и толщина стенки 1 мм. Трубка эта накаливалась в атмосфере «формовочного газа» («Formiergas») (25% водорода и 75% азота). От применения термоизолирующего вещества здесь отказались. Для защиты от излучения служили два концентрически расположенные молибденовые листа, которые окружались оболочкой, охлаждаемой водой.

Зависимость температуры от подводимой энергии указана в таблице [6], из которой нами здесь будет приведено три величины:

1500° абс.	386 А	1,62 В
2600° »	865 »	5,45 »
3000° »	1080 »	7,4 »
3200°	максимум при долгой работе.	

б) Криптолевые печи. Под «криптолем» понимают раздробленный уголь.

Мелкий уголь насыпается в цилиндрическое пространство, окружающее нагреваемую трубку, между обоими подводщими электродами из угольных пластинок или листов жести. Пакулла описывает в упомянутой выше работе криптолеву печь, которая при включении в 220 В сеть при 17 А давала 1 600—1 700°. Наивысшая температура: 1 800°, электрическая энергия до 14 kW. Эти печи годятся только для вертикального положения нагреваемой трубки.

с) «Печи короткого замыкания». Так называются печи, в которых нагревание развивается джоулевой теплотой в относительно коротких и толстостенных трубках из угля, графита или карборунда. Они требуют поэтому весьма большой силы тока при низких напряжениях, т. е. понижающего трансформатора. Подводка тока производится или через угольные шайбы толщиной 3—4 см и диаметром около 12 см, которые разрезаны на 2—4 сегмента и охватывают концы угольной трубки, или же через охлаждаемые водой медные щеки. Изготовление такой печи не трудно, если ее рассматривать как такое оборудование, которое, оправдав себя на ряде опытов, должно быть реставрировано.

Обычные размеры угольной печи: внутренний диаметр 20—40 мм, толщина стенки 3,5 мм, длина 150—300 мм. По Тамману для температуры 2 000° нужна плотность тока около 2 А/мм<sup>2</sup>.

Известно, что Кинг [7] в своих спектроскопических опытах пользовался такого рода угольной печью, которая могла быть откачана. Для того чтобы это было возможно, печь помещалась на прочном основании — плите, через которую проводились все подводки для тока и водяного охлаждения, так что они были газонепроницаемы; печь сверху накрывалась таким же колпаком с двумя окнами, который привинчивался к плите. Кинг указывает в качестве наивысшей температуры для этой печи 3 200° С.

д) Дуговые печи, повидимому, мало употребительны в лаборатории физика, вероятно потому, что такое же действие можно получить, например, с описанными печами короткого замыкания более простым способом. Модель дуговой печи, сконструированной автором и применявшейся им в спектроскопических исследованиях, была описана раньше [8]. В пределах узко ограниченного пространства можно получить в ней температуру около 2 500° С. Пакулла описывает в вышеупомянутой работе более крупную модель печи того же

типа. Он получал в своей печи в 40—50 мин. при 30—35 А и 80—120 В 1 600°.

Мало употребительны также и индукционные печи, которые основываются на нагревании токами Фуко и которые приобрели большое значение для металлургии [9].

е) Наконец можно было бы упомянуть об указанной Гердьеном [10] катодной печи, в которой тело, подвергаемое плавке нагревается бомбардировкой катодными лучами. Катодные лучи вызываются током высокой частоты, причем катодом служит внутренняя поверхность стеклянной стенки большой колбы (до 50 см в диаметре), внешняя стенка которой связана с источником тока через ванну с подкисленной водой (колба опущена горлышком вниз в сосуд с водой). Анод, относительно небольших размеров, находится в середине стеклянного шара. Гердьен применял энергию от 300 В до 4 кВт, напряжение до 30 000 В и силу тока (в колбе) до 20 А. Наиболее выгодное давление было 0,01 мм ртутного столба. С этим аппаратом удавалось расплавить в 5 сек. кусок вольфрама в 2 см длиной и  $6 \times 6$  мм<sup>2</sup> поперечного сечения.

Постоянные температуры от 180 до 500° достигаются при помощи различного рода температурных ванн и термостатов. Техника этих аппаратов настолько подробно описана в много раз упоминавшейся книге Геннинга, что автору ничего не остается добавить.

## ОДИННАДЦАТАЯ ГЛАВА

### КОЛЛОИДАЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Много рецептов для получения коллоидальных растворов различных веществ находится в книге Сведберга [1]. Здесь указываются только некоторые рецепты, которые по опытам автора также могли бы с успехом применяться физиками, мало знакомыми с химической техникой. Нужно помнить о том, что очень многие жидкости, например кофе, чай, пиво, растворы многих красок и т. д., представляют собой «коллоидальные растворы» и в них обнаруживается под ультрамикроскопом оживленное броуновское движение.

1) Коллоидальный раствор мастики. Мастика растворяется в алкоголе и несколько капель этого прозрачного раствора (до нескольких кубиков) наливается в дистиллированную или обыкновенную воду. Мутный раствор показывает, например, сильный эффект Тендаля.

2) Коллоидальные растворы всех благородных металлов по Бредигу [2] можно получить распылением их вольтовой дугой под водой. Две толстые проволоки из соответствующего металла соединяют через сопротивления с полюсами электрической цепи и регулируют сопротивление так, чтобы при коротком замыкании получался ток 3—8 А; после этого проволоки приводят в соприкосновение под дистиллированной водой и раздвигают, чтобы образовалась дуга. Спустя несколько минут замечается слабое помутнение воды, а спустя еще некоторое время вода делается серо-коричневой. В этих растворах под ультрамикроскопом можно видеть частички весьма различной величины (в случае серебра наблюдаются великолепные краски), они оседают однако уже после нескольких недель.

3) Коллоидальный теллур. Припаявают маленький кристалл теллура (оловянным припоем) на острый конец проводника и вносят его в качестве анода в сосуд с водой. Катодом служит проволока из любого материала. При включении электродов в осветительную сеть теллур выбрасывает маленькие густые клубы коричневого коллоидального теллура, которые при слабом течении жидкости в проекции похожи на дым фабричной трубы. Проводимость дистиллированной воды для опыта часто слишком мала, а обыкновенной воды — слишком велика. Целесообразно поэтому сначала наливать в сосуд дистиллированную воду, а затем добавлять в нее постепенно обыкновенную, до тех пор, пока не будет достигнут наилучший эффект.

4) Красный раствор золота. Восстановление раствора хлорного золота формальдегидом, раствором фосфора, фенилгидразином дает красные коллоидальные растворы только в случае весьма чистых веществ и только при соблюдении точных рецептов; в отличие от этого рецепт, указанный Оствальдом [3], отличается тем, что он, по выражению самого Оствальда, «всегда идет». Растворяют небольшое количество (сколько поместится на кончике ножа) таннина (дубильная кислота) в 50 см<sup>3</sup> воды; далее один грамм хлорного золота (желтого или коричневого) в 100 см<sup>3</sup> воды. Несколько кубиков раствора хлорного золота наливают в маленький химический стакан. Испытанием лакмусовой бумажкой находят, что этот раствор обнаруживает кислую реакцию, т. е. синюю лакмусовую бумажку делает красной. Добавляют затем крепкий раствор двууглекислого калия маленькими порциями до тех пор, пока свежая синяя лакмусовая бумажка не перестанет краснеть. Для получения коллоидального раствора нагре-

вают 100—200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды в колбе, вливают одновременно несколько капель нейтрализованного раствора хлорного золота, взбалтывают и добавляют несколько капель раствора таннина. Когда раствор нагреется, то получается нежная красная окраска коллоидального золота. После этого можно, при частом взбалтывании, каплями добавлять все больше и больше золота и таннина, до тех пор пока цвет не сделается почти темнокрасным. Полученный винно-красный коллоидальный раствор весьма устойчив, но частички слишком малы, чтобы дать под ультрамикроскопом эффектную картину.

Наиболее эффектные объекты для демонстрации броуновского движения (зеленые частички) дает составленный по рецепту Жигмонди раствор золота, который однако требует наиболее чистых химических реактивов, в особенности весьма чистой свежей дистиллированной воды и не слишком старого формальдегида. Для его получения притотовляют следующие растворы:

*A*: 1 г желтого хлорного золота в 167 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

*B*: 1 г чистого карбоната калия в 67 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

*C*: 1 см<sup>3</sup> раствора формальдегида (продажный 35—40%) в 300 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Нагревают до кипения 240 см<sup>3</sup> самой чистой воды в колбе Эрленмейера из иенского стекла, емкостью в 400 см<sup>3</sup>, и прибавляют во время нагревания 5 см<sup>3</sup> раствора *A* и 6—7 см<sup>3</sup> раствора *B*. Непосредственно после начала кипения быстро вливают при сильном взбалтывании по частям 6—10 см<sup>3</sup> раствора *C*.

Спустя несколько секунд происходит реакция, раствор окрашивается в слабофиолетовый или розовый, а затем в великолепный винно-красный цвет.

5) Синий раствор золота (при рассматривании в отраженном свете желто-коричневый) — желтые, весьма яркие частички. Растворяют 0,5 г (желтого или коричневого) хлорного золота в некотором количестве воды, нейтрализуют несколькими каплями раствора соды, как это описано выше, и разбавляют чистой водой до 500 см<sup>3</sup>. Прибавляют сюда при встряхивании 1—2 см<sup>3</sup> 0,05% раствора гидразингидрата. Гидразинтрат дает коллоидальный раствор с весьма большими частичками, которые в отраженном свете имеют блеск золота и быстро оседают.

6) Коллоидальная платина. Легко получается по указанному в п. 4 оствальдовскому рецепту. Только вместо раствора хлорного золота нужно взять раствор хлорной пла-

тины (собственно хлоро-платиновая кислота), который также нейтрализуется карбонатом калия. Различие только в том, что здесь нужно несколько дольше ( $1\frac{1}{4}$  часа) нагревать—почти до кипения, пока раствор не окрасится в слабый коричневый цвет. При продолжительном нагревании и попеременном добавлении платины и танина скоро раствор делается почти черным.

7) Коллоиды с удлиненными частицами [4]. Растворяют 5 г окиси вольфрама в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды; вливают раствор в 2-литровый химический стакан (колбу Бехера) и добавляют столько разбавленной соляной кислоты, чтобы раствор показывал сильную кислую реакцию, и доливают стакан дистиллированной водой. При добавлении кислоты образуется светложелтый студенистый осадок, который сначала заполняет весь стакан, но затем постепенно осаждается.

Сливают чистую жидкость и наполняют стакан снова дистиллированной водой. Повторяют этот прием много раз. При этом осадок все более и более уменьшается в объеме, и образуется постепенно совсем небольшой светложелтый осадок на дне сосуда. Промывают еще несколько раз дистиллированной водой и наблюдают при этом, что размешанный осадок образует своеобразные шелковистые линии потока. Наконец после осаждения выливают большую часть воды и сохраняют полученный «коллоид окиси вольфрама» в маленьких флаконах. Разбавленный коллоид показывает под ультрамикроскопом ярко светящиеся частицы.

8) Образование коллоида в поле зрения кардиоидного ультрамикроскопа (по Зидентанфу). Приготавливают 25%-ный раствор белого фосфора в сероуглероде. Раствор легко воспламеняется на воздухе, а потому с ним нужно обращаться с большой осторожностью. Фосфор в растворе сначала находится в кристаллическом виде, но под действием интенсивного освещения ультраконденсором — образуется коллоидальный красный фосфор. Поле зрения кажется с первого взгляда чистым, темным; но тотчас образуются субмикроны, которые кружатся, как хлопья снега, быстро увеличиваются и налегают затем на стенки. Спустя несколько секунд поле зрения становится ослепительно ярким. Если сместить затем предметный столик, то на следующем месте повторяется та же картина.

9) Различно окрашенное коллоидное серебро. Люппо-Краммер [5] указал элегантный метод получения наиболее простым способом желатиновых пластинок, кото-

рые обладают различными, частью весьма яркими цветами, вследствие наличия различной величины частиц коллоидального серебра.

5 г эмульсионного желатина промывается в течение нескольких часов в часто сменяемой дистиллированной воде. Затем воду сливают и добавляют 250 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Раствор желатина G: 25 г желатина заливаются 250 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и расплавляются нагреванием.

Раствор K:

	A	B	C	D
Отвешивают	1,75 азотно-кислого серебра	1 Gelb Dextr.	1 едкого натра	1 гидрохинона
растворяют в	1,75 дистиллированной воды	10 дистиллированной воды	10 дистиллированной воды	10 спирта

Смешивают B с C, добавляют 23 см<sup>3</sup> воды и наконец, непрерывно встряхивая, 7,5 см<sup>3</sup> A. Получается черный коллоидальный раствор серебра. 10 см<sup>3</sup> этого раствора разбавляют до 300 см<sup>3</sup> (раствор SS).

Раствор G нагревается до 30°, благодаря чему желатин расплавляется. Прибавляется сюда остаток (10 см<sup>3</sup>) A. Делят эту жидкость (GA) на 5 частей, которые наливаются в 5 стаканов.

	I	II	III	IV	V
К ним доба-	50 см <sup>3</sup> GA	50 см <sup>3</sup> GA	50 см <sup>3</sup> GA	50 см <sup>3</sup> GA	50 см <sup>3</sup> GA
вляют:	0 » SS	0,25 » SS	1 » SS	2,5 » SS	5 » SS
	2 » D	2 » D	2 » D	2 » D	2 » D

Опустя 20 мин. реакция заканчивается. Цвета в проходящем свете:

I	II	III	IV	V
Серо-синий	Синий	Красный	Желто-коричневый	Зеленый
Наибольшие частички			Наименьшие частички	

Добавляют к каждой части еще 50 см<sup>3</sup> K, наливают жидкость на стеклянную пластинку и дают сохнуть. Этим достигаются весьма хорошие цвета.

## ДВЕНАДЦАТАЯ ГЛАВА

## ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛА

Большая часть указанных в дальнейшем рецептов взята из весьма обстоятельной статьи Штокмайера «Гальванотехника» в V т. «Энциклопедии технической химии» [1].

Металлический покров хорошо прилипает, как правило, только к тщательно очищенной поверхности металла. Очистку производят либо механически кисточкой из медной или стальной проволоки, либо химически: для этого сталь, латунь, медь и никель окунают в 10%-ный раствор едкого натра, свинец, олово и цинк — в 3%-ный раствор соды.

Для блестящей (полированной) поверхности рекомендуется очистка при помощи венской извести, которая размешивается с водой до жидкой массы.

Венская известь представляет собой обожженный доломит (окись кальция — окись магния).

На воздухе она поглощает воду и углекислый газ, а потому должна сохраняться в закрытых сосудах. Медь и ее сплавы, особенно перед серебрением и залочением, можно очень слабо амальгамировать в ванне с раствором 1 г ртутно-цианистого калия и 2 г цианистого калия в 1 л воды.

**Сурьма:** растворяют 125 г поташа в пятикратном количестве воды, нагревают до кипения и добавляют маленькими порциями 60 г пятисернистой сурьмы при постоянном нагревании до полного растворения. Этот раствор разбавляют до 1 л. Анод: отлитая пластинка сурьмы, сила тока  $0,35 \text{ А/см}^2$ .

**Свинец:** покрытие свинцом трудно удастся. Указания, какие только имеются в литературе (например различные патенты), не дают хорошего рецепта.

**Кадмий:** 50 г двойной соли калия-кадмия (синильной кислоты), 10 г цианистого калия на 1 л воды. Электролиз ведут при  $60\text{--}70^\circ$  током —  $0,5 \text{ А/дм}^2$ .

**Хром:** Либрейх рекомендует раствор 200 г хромовой кислоты в 1 л воды при комнатной температуре. Анод: платина, сила тока  $50 \text{ А/дм}^2$ .

**Железо:** 1 кг хлористого железа на 1 л воды. Электролиз ведут при температуре  $70^\circ$  и токе  $3\text{--}4 \text{ А/дм}^2$ . Таким путем можно в 2 дня получить слой железа в 2 мм толщиной. Катод (или электролит) должен двигаться.

Электролитическое железо весьма ломко вследствие содержащегося в нем водорода. Если взять раствор 600 г хлористого железа и 667 г хлористого кальция в 1 л воды и вести эле-



электролиз при  $110^{\circ}$  током в  $20 \text{ А/дм}^2$ , то получается мягкое электролитическое железо с небольшим содержанием водорода.

**Золото:** 10 г хлористого золота, 20 г цианистого калия на 1 л воды, ток  $0,2\text{—}0,25 \text{ А/дм}^2$ , комнатная температура. Значительно лучший слой получается при нормальной температуре в ванне, содержащей гремучее золото. Но так как это последнее очень взрывчато, а потому опасно, то мы укажем также хорошо работающую ванну без гремучего золота, которая однако при употреблении должна нагреваться до  $70^{\circ}$ .

Растворяют 2 г цианистого калия и 60 г сернокислого натрия в  $750 \text{ см}^3$  воды, далее 2 г (продажного) хлорного золота в  $250 \text{ см}^3$  воды и соединяют затем обе жидкости. Плотность тока  $0,3 \text{ А/дм}^2$  (для золочения стали и железа берут вместо 2 г цианистого калия только 1 г).

**Кобальт:** 60 г двойной сернокислой соли кобальта-аммония, 30 г борной кислоты на 1 л воды, комнатная температура,  $0,4 \text{ А/дм}^2$ .

**Медь:** растворяют 10 г углекислого натрия безводного, 20 г сернокислого натрия безводного, 30 г двойной соли синеродистой кислоты меди — калия и 1 г цианистого калия в  $750 \text{ см}^3$  воды; дальше 20 г кислого сернокислого натрия в  $250 \text{ см}^3$  воды и соединяют оба раствора, ток  $0,3 \text{ А/дм}^2$  при  $20^{\circ}$ .

Весьма хороший слой должен дать также раствор 100 г серноэтиловой меди и 100 г сернокислой меди в 1 л воды. Однако указания о плотности тока и температуре отсутствуют.

**Марганец:** по Дицу [2] можно получить удачный осадок до  $0,5 \text{ мм}$  толщиной (в 30 мин.), содержащий 99,92% марганца по следующему рецепту: растворяют 31,25 г хлористого марганца и 26,56 г хлористого аммония в 100 см воды и ведут электролиз при  $30^{\circ}$  током в  $25 \text{ А/дм}^2$ . В качестве анода берется платина.

**Никель:** 55 г  $\text{NiSO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  кристаллическое, 40 г борной кислоты на 1 л воды. Температура самое меньшее  $18^{\circ}$ ; ток  $0,5 \text{ А/дм}^2$ . Или: 40 г сернокислого никеля, 35 г лимоннокислого никеля, 35 г лимоннокислого натрия, 1 л воды. Или: 50 г сернокислого никеля, 25 г хлористого аммония, 1 л воды. Комнатная температура. Ток  $0,5 \text{ А/дм}^2$ .

**Палладий:** 1 г хлористого палладия, 10 г фосфорнокислого аммония, 50 г фосфорнокислого натрия, 0,5 г бензойной кислоты на 200 см воды. Указания о температуре и плотности тока отсутствуют.

**Платина блестящая:** плотный слой, который по виду напоминает слой никеля, дает следующая ванна: готовят

слабо пересыщенный раствор соды, сливая с осадка насыщенный при  $35^{\circ}$  (приблизительно) раствор. В  $200 \text{ см}^3$  этой жидкости растворяют 6—25 г «хлорной платины» (хлорная платина — хлороводородная кислота) и 7—34 г молочнокислого натрия. Электролиз ведут при  $45^{\circ}$ , током  $0,15\text{—}0,2 \text{ А/дм}^2$ .

Черная платина: рецепт Люммера и Курльбаума. Растворяют 0,4 г свинцового сахара в  $200 \text{ см}^3$  воды и смешивают  $3 \text{ см}^3$  этого раствора с  $52 \text{ см}^3$  воды и 2 г «хлорной платины». Комнатная температура  $30 \text{ мА/см}^2$  в продолжение 10 мин. Таким образом можно покрыть черной платиной только поверхность платины и серебра. Очищение поверхности производится просто тем, что обращают сначала направление тока. Анод не изнашивается, а истощается постепенно раствор.

Серебро: 46 г двойной соли серебро-калия синильной кислоты, 11 г цианистого калия на 1 л воды, температура около  $18^{\circ}$ , плотность тока  $0,3 \text{ А/см}^2$ . Особенно белый покров должна дать следующая ванна: 30—50 г азотнокислого серебра, 30—50 г молочнокислого аммония, 1 л воды,  $0,6\text{—}0,3 \text{ А/см}^2$ ; комнатная температура.

Довольно просто можно получить (правда весьма тонкий) серебряный покров посредством так называемого «серебрения натирированием» смесью, которая состоит в основном из хлористого серебра и сегнетовой соли. Размешивают немного порошка с водой до получения кашицы и растирают ее тряпочкой по поверхности металла.

Ванадий: Купер-Колер [3] дает следующий рецепт для получения толстого блестящего слоя ванадия: 10,9 г ванадиевой кислоты ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) и 12,5 г едкого натра растворяются в 1 л воды, а затем прибавляется 200 г соляной кислоты (концентрированной)  $20\text{—}22 \text{ А/дм}^2$ ;  $82^{\circ}$  (раствор должен содержать не больше 0,714% окиси ванадия).

Вольфрам: слой вольфрама получить довольно трудно. Согласно выработанному в 1925 г. методу [4] сплавляют в фарфоровом тигле 38%  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , 32%  $\text{Li}_2\text{WO}_4$  и 30%  $\text{WO}_3$  и электролизуют током от 20 до 30  $\text{А/см}^2$  при  $1020^{\circ}$ . При  $835^{\circ}$  результаты получаются значительно хуже. Вольфрам оседает хорошо только на медь и никель и плохо на железо, серебро и палладий. В 10—30 мин. получают весьма хорошо держащийся слой толщиной  $0,03\text{—}0,1 \text{ мм}$ , затем нужно катод очистить проволоочной кисточкой, после чего можно снова вести электролиз. Из какого металла сделан анод — не указано.

Цинк: получение цинкового покрова связано с значительными трудностями вследствие электроположительного характера этого металла.

По Классену можно рекомендовать следующую ванну: 100 г сернокислого цинка, 40 г кристаллического сернокислого натрия, 5 г хлористого цинка и 2,5 г борной кислоты растворяются в 500 см<sup>3</sup> воды. Добавляют сюда 3—4 г аммиачного глицирхидина. Плотность тока и температура не указаны. Второй рецепт: 10 г хлорнокислого цинка, 10 см<sup>3</sup> (Pyridin) соляной кислоты до насыщения, разбавление до 1 л 0,2 А/дм<sup>2</sup>.

Олово: оловянный слой также трудно получить. Растворяют 17,5 г «сплавленного хлористого олова», 0,3 г хлористого кадмия, 35 г пирогосфорнокислого натрия в 1 л воды и ведут электролиз током в 0,25 А/дм<sup>2</sup>.

Тонкий слой олова получают с раствором 5 г хлористого олова и 1 г «винного камня» (кислый виннокислый калий) в 100 см<sup>3</sup> воды. Погружают кисточку попеременно в этот раствор и цинковую пыль и намазывают ею поверхность, покрываемую оловом.

## ТРИНАДЦАТАЯ ГЛАВА

### РАЗЛИЧНЫЕ ПРИЕМЫ

1) Приготовление экранов. Чтобы сделать заметным место падения катодных, каналовых, рентгеновских или ультрафиолетовых лучей, употребляются флуоресцирующие вещества, которые наклеиваются ровным слоем на экран. Особенно сильную флуоресценцию дают следующие вещества:

Виллемит — силикат цинка ( $Zn_2SiO_4$ ), обычно имеется в кусочках, поэтому его толкут в ступке. Он годится для катодных, каналовых и рентгеновских лучей, а также (по Лаймену [1]) и для жестких ультрафиолетовых лучей. Флуоресцирует синим цветом, продолжительность остаточного свечения незаметна.

Цинковая обманка (сернистый цинк). Свечение вызывается присутствием некоторого количества (0,01%) таллия и иттербия [2]. Пригоден преимущественно для катодных, ультрафиолетовых, а также и для рентгеновских лучей. Яркое зеленое свечение, продолжительное остаточное свечение.

Вольфрамокислый кальций предпочтительно применять для катодных и рентгеновских лучей. Синяя флуоресценция, без остаточного свечения.

Катодные лучи и ультрафиолетовый свет возбуждают свечение, пожалуй, большинства тел. Особенно ярко флуоресцируют, например, Ленардовский фосфор (продолжительное

остаточное свечение); при ультрафиолетовом облучении флуоресцируют хризен, антрацен, аскулин, флуорен, а также флуоресцин (без остаточного свечения).

Рекомендовавшийся раньше Ленардом для катодных лучей пентадецил паратолилкетон, также и платиносинеродистый барий для рентгеновских лучей, пожалуй, оставлен уже позади. Тиде [3] рекомендует для катодных лучей в качестве наиболее светящегося вещества азотистый бор, однако с различными препаратами автор потерпел неудачу.

Экран можно приготовить различными способами: проще всего смешать вещество с клеем (например целлулоидный лак или жидкое стекло) и смазать экран этой пастой. Но это имеет однако то неудобство, что кристаллики закладываются в склеивающем веществе, так что лучи должны проникать сквозь тонкий слой этого вещества. Можно посыпать вещество на смазанный клеем экран. Кристаллики приклеиваются тогда только к его наружной стороне. Для насыпания можно применить очень частое проволочное сито или кусок парусины и держать его на 20—30 см над экраном. Так как избыток не приклеивается, и его можно снять, то экран можно обсыпать толстым слоем и равномерно. Третий элегантный метод указал Эверет [4]. Взбалтывают вещество в алкоголе и позволяют более крупным частицам осесть. Жидкость со взвешенными частицами сливают затем в сосуд, в котором лежит экран. Когда взвешенные частицы осадут, алкоголь сливают сифоном вплоть до малого остатка, которому позволяют испариться. Этот экран отличается мелкими зернами и не так легко повреждается, как это можно было бы ожидать.

В специальных случаях особенно рекомендуется:

Для канальных лучей: экран Эверста с виллемитом;

для катодных лучей: то же самое; виллемит или сернистый цинк, насыпая на экран, покрытый жидким стеклом;

для ультрафиолетовых лучей 4 000—2 000 Å. Стеклопластинка с желатиновым слоем, окунутая в раствор флюоресцина (светлый, бесструктурный, весьма прозрачен).

Штеубинг [5] применял матовый экран, который флуоресцирует до весьма коротких длин волн в ультрафиолетовой части, а также и в рентгеновской области и готовится следующим образом: обрабатывают фиксажем свежую (не засвеченную) фотопластинку и наносят на нее порошок двойной соли уран-аммония фтористоводородной кислоты, затем, пока пластинка остается еще влажной, порошок растирается пальцем, так что получается матовый мелкозернистый слой.

Для очень коротковолнового ультрафиолета (вакуумспектрограф): экран Эверета с виллемитом; матовый экран Штеубинга.

## 2) Жидкости с большим удельным весом

Иодистый этил . . . . .	1,94	г/см
Двойная соль натрия ртути бромистый-кислоты . . . . .	2,8	»
Бромафоры . . . . .	2,904	»
Четыре бромистый ацетилен . . . . .	2,97—3,0	»
Двойная соль бария-ртути бромистый кислоты . . . . .	3,05	»
Двойная соль калия-ртути иодистой кислоты . . . . .	3,17	»
Боровольфрамоокислый кадмий . . . . .	3,28	»
Иодистый метилен . . . . .	3,32	»
Двойная соль бария-ртути иодистой кислоты . . . . .	3,56	»

Двойная соль таллия-серебра азотной кислоты 4,5 г/см (точка плавления 75°).

3) Магнитные поля силой до 1,5 млн. гаусс получал для весьма коротких промежутков времени Вальш [6], разряжая большие конденсаторы, заряженные до больших напряжений, через катушку с сравнительно малым числом витков.

4) Минимальные изменения емкости конденсатора можно с большой точностью измерить, расстраивая колебательный контур. Этот метод уже применяется с успехом в развитии техники электронных трубок для измерения весьма малых изменений длин и углов.

5) Суиегиро [7] простым способом получил вспышку света большой интенсивности взрывом наполненного ртутью капилляра. Размеры капилляра: длина 5—10 мм, толщина 0,1 мм, толщина стенки несколько сотых долей миллиметра. Параллельно включалась емкость 0,85 МФ. Напряжение достаточно только нескольких вольт.

6) Электрет. Название «электрет» было дано Хэвисайдом объему заряженного диэлектрика. Эгухи [3], подвергая расплавленную смесь воска и смолы действию электрического поля во время застывания, получал таким образом пластинки с сильным поверхностным зарядом, который нельзя было разрушить ни обмыванием, ни соскабливанием с поверхности нескольких миллиметров, ни рентгеновскими лучами, ни электрическим полем и ни поверхностным прогреванием пламенем бунзеновской горелки. За три года нельзя было заметить никакого уменьшения электризации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### К первой главе

- [1] Coolidge, Trans. Am. Inst. El. Eng., **29**, 901, 1910.
- [2] H. Alterthum, „Wolfram“-Sammlung Vieweg H. 75, 1925.
- [3] W. Geiss u. J. A. M. van Liempt, Ann. d. Phys. **77**, 105, 1925.
- W. F. Forsythe u. A. G. Worthing, Astrophys. Journ. **61**, 146, 1925.
- [4] C. G. Fink, „Ztschr. f. angew. Chem.“, **25**, 2462, 1912.  
(Referat über Arbeiten der General Electric Co. Harrison).
- [5] W. Samter und K. Schröter, „Ztschr. f. techn. Phys.“, **1925**.
- [6] J. Langmuir, Trans. Amer. Inst. El. Eng., **32**, 1921, 1913.
- [7] Mann u. Halvorsen, Trans. Amer. El. Soc., **45**, 14, 1922.
- [8] J. A. M. van Liempt, „Ztschr. f. Elektrochem.“, **31**, 249, 1925.
- [9] A. G. Worthing, „Phys. Rev.“, **25**, 846, 1925.
- [10] Ch. Ed. Guillaume, L'invar et l'elinvar, Les prix Nobel en **1919–1920**, 1922.
- [11] K. Scheel und F. Blankenstein, „Ztschr. f. Phys.“, **31**, 202, **1925**.
- [12] M. Knudsen, „Ann. d. Phys.“, **29**, 179, 1909.
- [13] W. Rohn, „Ztschr. f. Instr. Kde“, **32**, 349, 1914. S. Valentiner, „Ztschr. f. techn. Phys.“, **2**, 260, 1921. A. Elieabe, „Phys. Ztschr.“, **22**, **120**, 1921. J. Wetzel, „Ztschr. f. techn. Phys.“, **6**, 155, 1925.
- [14] Jaeger, „Ztschr. f. Instr. Kde“, **12**, 354, 1892.
- [15] M. v. Schwarz, Legierungen, Stuttgart, F. Enke, 1920.
- [16] F. Gross, „Ztschr. f. Phys.“, **7**, 316, 1921.
- [17] J. C. McLennan und B. S. Ainslie, Proc. Roy. Soc. London, **103**, 304, 1923.
- [18] A. Hagenbach, Handb. d. Radiologie (Akad. Verlagsgesellsch., Leipzig) 1917, Bd. IV, S. 243; F. H. Newman, „Phil Mag.“, **44**, 944, 1922.
- [19] F. Eckert, Jahrb. d. Radioakt., **20**, 93, 1923.
- [20] O. Lecher, „Chem. Ztg.“, **44**, 469, 1922.
- [21] C. C. van Voorhis, „Phys. Rev.“, **23**, 557, 1924.
- [22] B. Alexander-Katz, „Quarzglas und Quarzglas“, Sammlung Vieweg, H. 46.
- [23] F. Henning, Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1915.
- [24] G. Joos, „Phys. Ztschr.“, **25**, 376, 1924; M. V. Schwarz, ibidem, S. 374.
- [25] E. v. Angerer, Technische Kunstgriffe bei physikalischen Untersuchungen, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1924 („Sammlung Vieweg“, Heft 71).
- [26] Winkler, Ber. d. D. chem. Ges., **38**, 3612, 1905.
- [27] C. N. Riiber, „Ztschr. f. Elektrochem.“, **29**, 334, 1923.

## Ко второй главе

- [1] E. S. Johansen, „Ann. Phys.“, **33**, 532, 1910.
- [2] L. W. Austin, „Phys. Ztschr.“, **12**, 1226, 1911.
- [3] F. Meyer, „Ztschr. f. Fernmeldetechnik“, **1**, 13, 1920.
- [4] A. H. Pfund, „Phys. Ztschr.“, **13**, 870, 1912.
- [5] A. Breuer, Kitte und Klebstoffe, Hannover, M. Jaennecke 1907; S. Lehner; Kitte und Klebemittel, Wien und Leipzig, A. Hartlebens Verlag, 6. Aufl.
- [6] B. Walter, „Ann. Phys.“, **18**, 860, 1905.
- [7] B. Walter, „Ann. Phys.“, **18**, 860, 1905.
- [8] E. O. Hulburt, „Science“, **56**, 147, 1922, См. также Ostwald-Luther, сноска [9].
- [9] Ostwald-Luther, Handbuch zur Ausführung physiko-chemischer Messungen, Leipzig, Akad. Verlagsgesellsch. m. b. H., 4. Aufl., 1925. Rawson, Soc. Chem. Ind., **9**, 141, 1890.
- [10] O. D. Tauern, Diss. Freiburg 1909. N. Lyon, „Ann. d. Phys.“ **46**, 762, 1925.
- [11] Ostwald-Luther, l. c. S. 357, сноска [9].

## К третьей главе

- [1] R. Arendt, Technik der anorganischen Experimentalchemie, Hamburg, Leop. Voss, 1910.
- [2] Венельт, Ремесленный практикум физика, Москва, ГТТИ, 1933.
- [3] H. Ebert, Anleitung zum Glasblasen, Leipzig, J. A. Barth, S. 335, 1904.
- [4] K. Woytacek, Lehrbuch der Glasblaserei, Hamburg, Otto Meissner, 1923.
- [5] W. G. Hauskeeper, „Journ. Amer. Inst. Electr. Eng.“, **42**, 954, 1923; см. также K. Compton, Bull. of the National Research. Council, **9**<sup>1</sup>, 59, 1924.
- [6] H. N. Ridyard, „Journ. Amer. Chem. Soc.“, **46**, 237, 1924.
- [7] E. C. McKelvi und C. S. Taylor, „Journ. Amer. Chem. Soc.“ **42**, 1364, 1920.
- [8] A. Cotton, „Rev. d'optique“, **3**, 57, 1924.

## К четвертой главе

- [1] A. und L. Lumière, „Journ. d. Phys.“, **4**, 29, 1895.
- [2] Irwing, The Physical Soc. of London and the Optical Soc., A discussion on „the making of reflecting surfaces“, London, The fleetway Press, 1920.
- [3] A. Cotton, „Rev. d'optique“, **3**, 57, 1924.
- [4] W. Wernicke, „Pogg. Ann.“, **133**, 183, 1868.
- [5] E. A. H. French, Trans. of the optical Soc., **25**, 229, 1924.
- [6] J. M. Eder und Stansfield, „Nature“, **56**, 504, 1897.
- [7] A. Zwetsch, „Ztschr. f. Phys.“, **19**, 404, 1923.
- [8] A. H. Pfund, „Astr. Journ.“, **28**, 208, 1908.
- [9] F. Twyman, „Journ. Opt. Soc.“, **7**, 635, 1923.
- [10] Kohlrausch, Lehrbuch d. prakt. Physik, Leipzig, B. G. Teubner.
- [11] „The making of reflecting surfaces“, см. [2] к главе четвертой.
- [12] Steinebach, „Ztschr. f. Phys.“, **33**, 667, 1925.
- [13] A. Snow, „Journ. Scient. Instr.“, **1**, 126, 1924.

- [14] M. Dieckmann, D. R. P. 413, 356; Rafn, D. R. P., 260, 278.
- [15] F. Rother und K. Lauch, „Phys. Ztschr.“, 24, 462, 1923
- K. Lauch, „Ann. Phys.“, 74, 55, 1924.
- [16] K. Burns, „Journ. Opt. Soc. Amer.“, 7, 419, 1928.
- [17] H. Kahler, „Phys. Rev.“, 18, 210, 1921.
- [18] R. Pohl und P. Pringsheim, Verh. d. D. Phys. Ges., 14, 506 1912.
- [19] W. Volkmann, „Phys. Ztschr.“, 12, 76, 1911.

#### К пятой главе

- [1] A. Goetz, Physik und Technik des Hochvakuum, Vieweg u. Sohn-Braunschweig.
- [2] Дюнае А., Техника высокого вакуума, ГТТИ, 1933.
- [3] Дешман С., Получение и измерение высокого вакуума, ГТТИ, 1933.
- [4] W. Gaede, „Ann. Phys.“, 46, 357, 1915.
- [5] A. H. Hughes u. F. E. Poindexter, „Phil. Mag.“, 50, 423, 1925.
- [6] J. W. Woodrow, „Phys. Ztschr.“, 15, 868, 1914.
- [7] K. Prytz, „Ann. Phys.“, 18, 617, 1905.
- [8] A. Stock, „Phys. Ztschr.“, 18, 103, 1917; Verh. d. D. Phys. Ges., 10, 19, 1908.
- [9] A. Stock, „Ztschr. f. ang. Chem.“, 38, 799, 1925.
- [10] W. E. Forsythe u. A. G. Worthing, „Astrophys. Journ.“, 61, 146, 1925.
- [11] M. Siegbahn, Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr., 18, 257, 1922.
- [12] S. Dushman, „Phys. Rev.“, 21, 671, 1923.
- [13] H. D. Arnold, „Phys. Rev.“, 16, 70, 1920; Реферат в Jahrb. d. drahtl. Tel., 16, 458, 1920; Phys. Ber., 5, 62, 1924.
- [14] C. Davisson u. H. A. Pigdeon, „Phys. Rev.“, 15, 553, 1920.
- [15] I. Langmuire u. Kingdon, „Science“, 57, 58, 1923.
- [16] Список литературы по данному вопросу см. у F. Eckert, Verh. d. D. Phys. Ges., 5, 46, 1924.
- [17] M. W. Travers, Experimentelle Untersuchung von Gasen, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1905.
- [18] L. Moser, Reindarstellung von Gasen, Stuttgart, Ferd. Enke, 1920.
- [19] W. Gaede, „Ann. Phys.“, 41, 302, 1913.
- [20] E. Tiede, Chem. Ber., 49, 17, 1916.
- [21] W. Ramsay und G. Rudorf, Die Edelgase, Leipzig, Akadem. Verlag, 1918.
- [22] J. Stark, „Ann. Phys.“, 40, 499, 1913.
- [23] F. Soddy, Proc. Roy. Soc., 78, 429, 1907; См. также Brandt, Diss., Leipzig 1915; W. F. Meggers und Kelvin Burns, Scient. Pap. Bureau of Stand., 18, 185, 1922.
- [24] F. Born, „Ann. Phys.“, 69, 473, 1922.
- [25] W. Hempel, Gasanalytische Methoden, 4. Aufl., Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1913.
- [26] R. Gehlhoff, Ber. d. D. Phys. Ges., 13, 271, 1911.

#### К шестой главе

- [1] M. Faraday, Exper. res., 4, 391, ff. 1856.
- [2] A. E. Outerbridge, См. Patterson du Bois, Proc. Amer. Phil. Soc., 34, 67, 1895; „Beibl. Annal.“, 19, 720, 1895.



- [3] C. Müller, Sitz-Ber. d. Preuss. Akad., **25**, 464, 1925.
- [4] O. Lummer und F. Kurlbaum, „Wied. Ann.“, **46**, 217, 1892.
- [5] P. H. Graig, „Phys. Rev.“, **25**, 248, 1925.
- [6] R. T. Beatty, „Phil. Mag.“, **14**, 604, 1907.
- [7] E. V. Angerer, „Ztschr. f. Instr.“, **42**, 1922.
- [8] G. F. Taylor, „Phys. Rev.“, **23**, 655, 1924.
- [9] C. Benedicks, „Phys. Ztschr.“, **17**, 320, 1916.
- [10] R. Suhrmann, und K. Clusius, „Phys. Ztschr.“, **23**, 913, 1926.
- [11] J. Friese und E. Waetzmänn, „Ztschr. f. Phys.“, **34**, 131 1928.
- [12] G. Leimbach, „Ann. Phys.“, **33**, 308, 1910.
- [13] C. V. Boys, „Phil. Mag.“, **45**, 487, 1887.
- [14] T. C. Keeley, „Journ. Scient. Instr.“, **1**, 369, 1924.
- [15] A. Bestelmeyer, „Ztschr. f. Instr.“, **25**, 339, 1905.
- [16] J. Elster und H. Geitel, „Phys. Ztschr.“, **10**, 465, 1909.
- [17] H. Witt, „Ztschr. f. Phys.“, **28**, 238, 1924; D. S. Perfect, „Journ. Scient. Instr.“, **1**, 321 и 353, 1924.
- [18] W. Volkmann, „Phys. Ztschr.“, **12**, 30, 1911.

## К седьмой главе

- [1] W. O. Schumann, „Ztschr. f. techn. Phys.“, **6**, 439, 1925.
- [2] H. L. Curtis, Bull. Bur. of Stand., **11**, 361, 1914.
- [3] H. Geiger und W. Makower, Messmethoden auf dem Gebiete der Radioaktivität, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1920.
- [4] A. Aust, „Phys. Ztschr.“, **12**, 732, 1911.
- [5] H. Kost, „Phys. Ztschr.“, **13**, 894, 1912.
- [6] F. Skaupy und H. Ewest, „Ztschr. f. techn. Phys.“, **1**, 167, 1920.
- [7] J. E. Lilienfeld und W. Hoffmann, „E. T. Z.“, **41**, 870, 1910.
- [8] A. Riede, „Ztschr. f. Phys.“, **28**, 177, 1924; см. также S. S. Mackeown, „Phys. Rev.“, **21**, 708, 1923.
- [9] H. Kost, „Phys. Ztschr.“ **13**, 894, 1912.
- [10] E. Voigt, „Ann. Phys.“, **12**, 385, 1903.
- [11] C. Magnanini, Rend. della R. Accad. dei Lincei, **6**, 260, 1890.
- [12] R. Pohl und P. Pringsheim, Die lichtelektrischen Erscheinungen, Sammlung Vieweg, Heft 1, S. 6.
- [13] W. Hittorf, „Wied. Ann.“, **7**, 553, 1879; см. также J. Stark, Die Elektrizität in Gasen, Leipzig, J. A. Barth, 1908.
- [14] R. Pohl und P. Pringsheim, Verh. d. D. Phys. Ges., **15**, 173, 1913.
- [15] N. Campbell, „Phil. Mag.“, **23**, 668, 1912.
- [16] C. K. Rollefson, „Science“, **60**, 226, 1924.
- [17] H. L. Bronson, „Amer. Journ. of Science“, **19**, 185, 1905; „Phil. Mag.“, **11**, 143, 1906.
- [18] R. Jaeger und W. Hinze, Wiss. Veröff. d. Siemens konzerns **177**, 1924.

## К восьмой главе

- [1] Следует указать следующие работы по термоэлементам:  
E. Becquerel, „Ann. de chim. et phys.“ (4), **8**, 1886.  
J. Weiss und Königsberger, „Phys. Ztschr.“, **10**, 956, 1909.  
W. Haken, „Ann. Phys.“, **32**, 291, 1910.  
A. Eucken u. G. Gehlhoff, Verh. d. D. Phys. Ges., **14**, 169, 1912.

- F. Fischer u G. Pfeleiderer, Gesammelte Abhandl. des Kaiser-Wilhelm-Institutes zur Kenntnis der Kohle, **4**, 441, 1920.
- [2] F. Henning, Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1915.
- [3] St. Lindeck, „Ztschr. f. Instr.“, **19**, 249, 1899.
- [4] L. Holborn, K. Scheel u. F. Henning, Wärmetabellen der Physikal-Techn. Reichsanstalt, Braunschweig, Vieweg & Sohn, 1919.
- [5] C. G. Fink, „Ztschr. f. angew. Chemie“, **25**, 2462, 1912.
- [6] E. S. Johansen, „Ann. Phys.“, **33**, 517, 1910.
- [7] A. H. Pfund, „Phys. Ztschr.“, **13**, 870, 1912.
- [8] W. Voegel, „Phys. Ztschr.“, **22**, 119, 1921.
- [9] H. Diesselhorst, Verh. d. D. Phys. Ges., **4**, 23, 1923.
- [10] L. W. Austin, Bull. Bur. of Stand., **7**, 301, 1911; „Phys. Ztschr.“ **12**, 1226, 1911.
- [11] W. Geiss u. J. A. M. van Liempt, „Ztschr. f. Metallkunde“, **17**, 194, 1925.
- [12] C. N. Weurich, „Sill. Journ.“, **32**, 269, 1911.
- [13] A. L. Williams, „Phil. Mag.“, **40**, 281, 1920.

#### К девятой главе

- [1] F. Schmidt, Kompendium der praktischen Photographie, **13**. Aufl. Leipzig, E. A. Seemann, 1916.
- [2] V. Schumann, „Ann. Phys.“, **5**, 349, 1901.
- [3] K. Wolff, „Ann. Phys.“, **42**, 831, 1913.
- [4] A. von Hübl, Die orthochromatische Photographie, Wien, Knapp. Halle (Saale), 1920.
- [5] J. M. Eder, Sitzungsber. d. Wiener Akad., **124**, 231, 1915.
- [6] E. Stenger, „Ztschr. f. Reprod.-Technik“, **8**, 70, 1906.
- [7] F. M. Walters und R. Davis, Scient. Pap. of the Bureau of Stand., **17**, 422, 1922.
- [8] Lubovich a. E. M. Pearen, Proc. Roy. Soc. Canada, **16**, Sect. III, 195, 1922.
- [9] E. König, „Photograph. Rundschau“, стр. 257, 1917.
- [10] K. W. Meissner, „Ann. Phys.“, **50**, 714, 1916; а также L. Geiger, ibidem, **39**, 780, 1912.
- [11] J. Duclaux und P. Jantet, „Journ. de phys. et de radium“, **2**, 156, 1921.
- [12] R. W. Wood, „Phys. Ztschr.“, **9**, 355, 1908.
- [13] R. Glocker und W. Traub, „Phys. Ztschr.“, **22**, 345, 1921.
- [14] E. Stenger und H. Stammreich, „Ztschr. f. Wiss. Phot.“, **22**, 11, 1924; H. Stammreich und H. Thüring, ibidem, **23**, 363, 1925.
- [15] A. Steigmann, „Kolloid. Ztschr.“, **28**, 175, 1921.
- [16] J. M. Eder, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, Wien, 1904.
- [17] H. Spörl, Der Pigmentdruck, Bd. I., Liesegangs Verlag, Leipzig 1911.

#### К десятой главе

- [1] R. Schwarz, Feuerfeste und hochfeuerfeste Stoffe, Sammlung Vieweg, Heft 43, Braunschweig 1922.
- [2] R. Rieke, „Ztschr. f. angew. Chemie“, **28**, 374, 1925.
- [3] F. Henning, „Die Naturwissenschaften“, **13**, 661, 1925.
- [4] E. Pakulla, Berich. № 51 der Fachausschüsse der Eisenhüttenleute, Düsseldorf 1924.

- [5] H. v. Wartenberg, J. Broy und R. Reinicke, „Ztschr. f. Elektrochem.“, **29**, 214, 1923.  
[6] W. Fehse, „Ztschr. f. techn. Phys.“, **5**, 473, 1924.  
[7] A. S. King, „Astr. Journ.“, **28**, 300, 1908; Contribution from the Mount Wilson Observatory, № 28 and № 66.  
[8] E. v. Angerer und G. Joos, „Ann. Phys.“, **74**, 748, 1924.  
[9] H. G. Ribaud, C. R., **180**, 1733, 1925.  
[10] H. Gerdien, Wiss. Veröff. d. Siemenskonzerns, **3**, 226, 1923.

## К одиннадцатой главе

- [1] Svedberg, Methoden zur Herstellung kolloidaler Lösungen, Steinkopff, Dresden 1922.  
[2] Bredig, „Ztschr. f. angew. Chem.“, **11**, 951, 1898.  
[3] W. Ostwald, Die Welt der vernachlässigten Dimensionen, Dresden 1916.  
[4] A. Lottermoser, Van Bemmelen Gedenkbuch, 154, 1910; „Phys. Ztschr.“, **17**, 126, 1916.  
[5] Lupo-Cramer, Kolloidchemie und Photographie, Steinkopff, Dresden 1921.

## К двенадцатой главе

- [1] Stockmeier, Galvanotechnik, Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. **5**, 1917.  
[2] B. Dietz, Diss., München 1922.  
[3] Cowper-Coler, „Chem. Ztg.“, **23**, 263, 1899.  
[4] J. A. M. van Liemp, „Ztschr. f. Elektrochemie“, **31**, 239, 1925.

## К тринадцатой главе

- [1] Th. Lyman, „Beibl. z. d. Ann. d. Phys.“, **31**, 603, 1917.  
[2] T. Tanaka, „Journ. Opt. Soc. Amer.“, **8**, 659, 1924.  
[3] E. Tiede, Ber. d. D. Chem. Ges., **53**, 2209, 1920; „Ztschr. f. Elektrochemie“, **29**, 303, 1923.  
[4] J. J. Thomson, „Phil. Mag.“, **20**, 753, 1910.  
[5] W. Steubing, „Phys. Ztschr.“, **29**, 329, 1925.  
[6] T. F. Wall, „Nature“, **114**, 898, 1924.  
[7] Kyoji Suyehiro, „Jap. Journ. of Phys.“, **1**, 97, 1923.  
[8] Mototaro Eguchi, „Phil. Mag.“, **49**, 17, 1925.

## УКАЗАТЕЛЬ

**Азот**, его получение 74

**Бакелит** 32

**Болометр** 107

**Водород**, его получение 72

**Волластоновы нити** 83

**Вольфрам** 9, 10

— гальваническое осаждение 140

— его свойства 9, 10

— его электронная эмиссия 65

— торированный 65

**Воск лабораторный** 28

— канифоль 28

**Впайка электродов в стеклянные трубки** 36, 37

**Время экспозиции** 117

**Гальваническое осаждение металлов** 138

**Гелий**, его получение 74

**Глицерин-глет свинцовый (замазка)** 32

**Двуокись углерода**, ее получение 74

**Дерево парафинированное**, как изолятор 90

**Десенсибилизаторы** 121

**Железо**, гальваническое осаждение 138

**Замазки**

— для специальных целей 31

— не плавкие 32

— плавкие 28

— употребление 30

**Запор Прица** 62

**Запоры ртутные** 61, 62

**Засвечивание пластинок предварительное** 119

**Зеркала гальванометров**, их изготовление 58

**Золото**, гальваническое осаждение — 139

— красный коллоидальный раствор 134

— синий коллоидальный раствор 135

— фольга 77, 78

**Золоченые стекла**, метод Вернике 50

**Изоляторы** 89

**Калий** 16, 17

**Катодное распыление** 56

**Катоды накаливаемые** 64

— оксидные 65, 66

**Кварц**, его свойства 20

**Кварц плавленый** 20, 21

— — как изолятор 92

**Кварцевые нити** 85

— — их изготовление 86

**Кислород**, его получение 75

**Клей морской** 29

**Клеющие вещества** 31

**Коллоидальная платина** 135

**Коллоидальный раствор золота** см. **Золото**, коллоидальные растворы

— — мастики 133

**Коллоидальный теллур** 134

**Коллоиды с удлинёнными частями** 136

**Ламетты** 55

**Листочки электрометра** 81

**Литий** 15

**Магнитная система гальванометра**, ее изготовление 88

**Металлы щелочные** 15

**Молибден**, его свойства 11

**Морской клей** 29

Натрий 16  
 Нити кварцевые см. Кварцевые нити  
 — шелковые 87  
 Огонек Ленарда 29  
 Ослабитель фермеровский 126  
 Ослабление негативов 125  
 Отпайка откачанных трубок 76  
 Очистка благородных газов от примесей 76  
 — ртути от примесей 13  
 Пайка металлов 22 и след.  
 — очень мелких предметов 26  
 — стекла см. Стекло, его пайка  
 Паутина 87  
 Печи лабораторные 130  
 — — вольфрамовые 131  
 — — дуговые 132  
 — — короткого замыкания 132  
 Пиццин 29  
 Пластины фотографические 109  
 Пластины противоореоловые 117  
 — — Шумановские, их изготовление 109  
 Платина, гальваническое осаждение 139, 140  
 Платинирование стекла 56  
 Пленки металлические, их изготовление 77 и сл.  
 Пленки из органических веществ 82  
 Полировка зеркал 47  
 — — с полупрозрачным слоем 54  
 Полупроводники 94  
 — с высоким температурным коэффициентом 103  
 Полупрозрачный слой серебра, его получение по рецепту Перо и Фабри 54  
 — — — по рецепту Эдера и Штансфильда 53  
 — — — по рецепту Пвеча 54  
 — — — его получение методом катодного распыления 55, 57  
 Предохранители для малых сил токов 81  
 Припой мягкие 22, 23  
 — твердые 25  
 Проволоки Тайлора 83  
 Промывка фотографических пластин 122  
 Проявители 119  
 Проявление негативов 120  
 Пружина Кундта 63

Растворы коллоидальные см. Коллоидальные растворы  
 Раствор Магнанини 95  
 Резка стекла алмазом 42  
 — стеклянных трубок 35  
 Ртуть, ее свойства 12, 13  
 Рубидий 17  
 Сварка 27  
 Сенсibilизаторы 113  
 Сенсibilизация пластинок 112  
 — — к ультрафиолету 116  
 Сера, как изолятор 92  
 Серебро, гальваническое осаждение 140  
 — коллоидальное 136, 137  
 — хлористое 30  
 Серебрение стекла  
 — — подготовка поверхности 44  
 — — рецепт Брэшира 45  
 — — рецепт Боттхера 48  
 — — рецепт Коттона 49  
 — — сохранение слоя 48  
 Слода, как изолятор 91  
 Сопротивление Бронсона 96  
 — графитовое 93  
 — силитовое 93  
 Сопротивления жидкие:  
 — ксилит-спирт 96  
 — иодистый калий — амиловый спирт 95  
 — раствор йода в очищенном бензине 96  
 Сплав Вуда 16  
 — натрия и калия, жидкий 18  
 Сплавы железо-никель-углерод 11  
 — легкоплавкие 16  
 Спирт абсолютный 21  
 — его осушение 21  
 Сталь никелевая 11  
 Стекло, его золочение 50  
 — омеднение 52  
 — сверление 42  
 — серебрение см. Серебрение стекла  
 — пайка 36, 38, 40  
 — платинирование 56  
 — резка 42  
 — травление 43  
 — шлифовка 41  
 Стекло, как изолятор 90  
 Стекло, различные сорта 18—19  
 Сургуч, как замазка 29  
 — как изолятор 91

Сушка фотографических пластинок 122, 123

Съемка фотографическая 117

Термопара вольфрам — молибден 100

— константан — медь 99

— констан — хромоникель 100

— платина — платина родий 100

Термоэлемент Остина 107

Термоэлементы 97

Тинополь 23

Усиление негативов 124

Усилитель сулемовый 124

— урановый 125

Фарфор 128

— как изолятор 91

Фиксирование 121

Фольга см. Пленки

Фотографирование 108 и сл.

Хлор, его получение 74

Хлороокись цинка 33

Цезий 17

Шлифы 61, 62

Янтарь как изолятор 92

Эбонит, как изолятор 91

Эмаль, как замазка 40

Ответственный редактор *Н. Д. Еришова*.

Технический редактор *В. Ф. Задуавская*.

Сдана в набор 2/XI 1933 г.

Бум. листов 2 $\frac{1}{2}$ .

Подписана к печати 29/III 1934 г.

Формат 82×111 $\frac{1}{32}$ .

ГТТИ № 251.

Тип. зн. в 1 бум. л. 158.400

Уполн. Главлита № Б—34094.

Тираж 13.000—авт. л. 10 $\frac{1}{2}$ .

Заказ № 1724.

2-я тип. ОНТИ им. Евгении Соколовой. Ленинград, пр. Красных Командиров, 29.

Цена 2 руб.

Т — 41 - 5 - 5

