

V.

Badanie lamp elektrycznych.

Zasady fotometrii.

Badanie własności światła należy do fizyki; w elektrotechnice zaś zajmujemy się przeważnie tylko własnościami oświetlenia elektrycznego za pomocą lamp żarowych i łukowych, a badanie ich ograniczamy zwykle do pomiaru natężenia źródła światła i naświetlenia, t. j. zastosowania tego źródła światła do celów oświetlenia.

Natężenie światła.

Natężenie światła jest to ilość energii, jaką ciała świecące wysyłają w jednostce czasu pod postacią światła. Absolutnej miary tej energii niema; można ją tylko pomierzyć za pomocą bolometrów, polegających na własności niektórych ciał silnie pochłaniających energię świetlną i wydzielających ją jako energię cieplną, lub za pomocą fotometrów, polegających na porównywaniu natężeń dwóch źródeł światła ze sobą. W elektrotechnice mają zastosowanie tylko te drugie.

Jako jednostka natężenia światła służy t. zw. świeca. Dotychczas nie osiągnięto jeszcze porozumienia co do określenia wielkości tej świecy jako międzynarodowej miary natężenia światła. W Austrii i Niemczech przyjęto t. zw. świecę Hefnera (Hefnerkerze, *HK*). We Francyi, Anglii i Ameryce zrównano (w r. 1911) istniejące tam jednostki natężenia światła (Bougie décimale, Pentan candle, American Candle); są one nieco większe niż świeca Hefnera. We Francyi używają w gazownictwie jako jednostki t. zw. Carcel. Wzajemny stosunek tych jednostek — dziś używanych — wskazuje następująca tablica:

| | Świeca Hefnera | Świeca franc... | Carcel |
|-------------------------------|----------------|-----------------|--------|
| Świeca Hefnera | 1 | 0,9 | 0,093 |
| Świeca franc., ang. i ameryk. | 1,11 | 1 | 0,1035 |
| Carcel | 10,75 | 9,65 | 1 |

Energia, jaką ciało ogrzewane rozsyła w postaci fal świetlnych, rozchodzi się prostolinijnie na wszystkie strony, jako t. zw. ciek świetlny. W tej mierze zjawiska świetlne są podobne do zjawisk magnetycznych i elektrycznych i do nich stosuje się też prawo ciek magnetycznego. Jeżeli więc wyobrażymy sobie ciała świecące skoncentrowane w 1 punkcie, to ciek świetlny rozchodzi się równomiernie po promieniach kuli, zatoczonej koncentrycznie ze źródłem światła. Wtedy przez jakąś powierzchnię, zamkniętą kątem bryłowym $d\omega$, przechodzi ciek $d\Phi_s$; wtedy stosunek $\frac{d\Phi_s}{d\omega} = S$ nazywa się natężeniem światła. Z tego cały ciek $\Phi_s = S f d\omega$.

Miarą natężenia światła jest ciek przechodzący przez powierzchnię kuli zatoczoną naokoło niego promieniem 1; wtedy więc

$$\Phi_s = 4\pi S,$$

$$S = \frac{\Phi_s}{4\pi}.$$

Jednostką ciek świetlnego jest ciek, przechodzący przez kąt bryłowy $=1$, a pochodzący od jednostki natężenia światła; jednostka ciek naz. się lumen (skrót. *Lm*).

Jeżeli ciało wysyła ciek Φ_s przez czas t , to

$$Q_s = \Phi_s t$$

nazywamy ilością światła i mierzymy w lumensekundach, albo lumengodzinach.

Ponieważ światło rozchodzi się kulisto, przeto na powierzchni kuli, zatoczonej promieniem r_1 , będzie natężenie światła

$$S_1 = \frac{\Phi_s}{4\pi r_1^2},$$

a na innej kuli o promieniu r_2 będzie

$$S_2 = \frac{\Phi_s}{4\pi r_2^2},$$

z tego

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2};$$

jest to podstawowe prawo fotometrii mówiące, że natężenie światła maleje z kwadratem odległości.

Jeżeli źródła światła nie można sobie wyobrazić jako punkt, tylko jako powierzchnię świecąca (F) o natężeniu S , to

$$\frac{S}{F} = B$$

naz. się blask i mierzy się w świecach na cm^2 (S/cm^2).

Naświetlenie.

W technice oświetlenia elektrycznego idzie głównie nie tyle o samo natężenie światła, lecz o praktyczne jego wyzyskanie, t. j. o oświetlenie powierzchni czyli naświetlenie.

Ponieważ natężenie światła maleje z kwadratem odległości, przeto znajomość odległości źródła światła od danego przedmiotu jest tutaj miarodajna. Jeżeli ciek świetlny Φ_s wychodzący z jakiegoś źródła światła o natężeniu S , pada na powierzchnię kuli koncentrycznej, to natężenie światła na tej powierzchni będzie

$$\frac{\Phi_s}{4\pi r^2} = \frac{S}{r^2} = L.$$

To samo odnosi się do powierzchni płaskiej, o ile odległość jest taka, że ta powierzchnia jest jakby częścią powierzchni kuli, a światło pada na nią prostopadle.

Jeżeli światło pada pod kątem α , to

$$L = \frac{S}{r^2} \cos \alpha.$$

Jeżeli $S=1$ świeca, $r=1m$, a $\cos \alpha=1$, to $L=1$ i to jest jednostką naświetlenia i naz. się Lux (skrót. Lx); jest to więc naświetlenie pochodzące od światła 1 świecy, padającego prostopadle z odległości 1 m na daną powierzchnię.

Przy naświetleniu trzeba często uwzględnić i czas naświetlenia t (w fotografii). Wtedy iloczyn $L.t$ nazywa się wyświetleniem i mierzy się w luxsekundach; jeżeli $L=1lux$, a $t=1''$, to wtedy $L.t$ jest jednostką wyświetlenia.

Jednostki praktyczne, używane w fotometrii, są zestawione na następującej tablicy:

| Nazwa | Znak | Objaśnienie | Jednostka i oznaczenie | Wzór |
|-------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Natężenie światła | S | Poziome natężenie światła 1 świecy | Świeca S | — |
| Blask | B | Natężenie światła jednostki powierzchni | S/cm^2 | $B = \frac{S}{F}$ |
| Ciek świetlny | Φ_s | Ciek wychodzący z 1 S przez kąt bryłowy $\omega = 1$ | Lumen Lm | $\Phi_s = S \cdot \omega$ |
| Ilość światła | Q_s | Ciek razy czas | Lumensekunda $Lm \text{ sec}$ | $Q_s = \Phi_s \cdot t$ |
| Naświetlenie | L | Naświetlenie pochodzące od światła 1 S , padającego prostopadle z odległości 1 m | Lux Lx | $L = \frac{S}{r^2}$ |
| Wyświetlenie | L_t | Naświetlenie razy czas | Luxsekunda $Lx \text{ sec}$ | $L_t = L_x \cdot t$ |

Jeżeli światło nie rozchodzi się równomiernie na wszystkie strony, wtedy natężenie światła jest w różnych kierunkach inne. Przy takich źródłach światła trzeba uwzględniać te kierunki, albo podawać wartości średnie. Zwykle rozróżniamy:

średnie natężenie światła poziome S_h : jest to średnia wartość natężeń światła, mierzonych promieniowo w różnych kierunkach w płaszczyźnie prostopadłej do osi pionowej ciała świecącego, a przechodzącej przez jego środek;

średnie natężenie światła pionowe S_v : jest to średnia wartość natężeń, mierzonych promieniowo w płaszczyznach przechodzących przez oś pionową ciała;

średnie natężenie światła przestrzenne S_p : jest to średnia wartość natężeń mierzonych w płaszczyźnie poziomej i płaszczyznach pionowych;

średnie natężenie światła półprzestrzenne dolne S_{ppd} odnosi się do półkuli dolnej, a górne S_{ppy} do półkuli górnej.

Fotometry.

Do pomiaru wielkości świetlnych służą fotometry. Polegają one przeważnie na zasadzie, że natężenie światła maleje z kwadratem odległości, a pomiar za pomocą nich odbywa się przez porównywanie działania badanego światła z normalnym, wytworzonym przez normalną lampę (żarową, octano-amyłową, benzynową). Ponieważ natężenie światła lampy normalnej jest zwykle małe (1 świeca), przeto do mierzenia bardzo wielkich natężeń światła trzeba by mieć możliwość umieszczenia światła badanego stosunkowo bardzo daleko od fotometru, co jest niewygodne. Używa się wtedy światła pomocniczego i porównuje się badane z pomocniczym, a pomocnicze z normalnym, przyczem zaleca się brać natężenie pomocnicze jako średnią geometryczną z badanego i normalnego.

Najbardziej używanymi fotometrami są:

1. Fotometr Bunsena. — Między oba źródła światła wstawia się przesłonę z przezroczystego papieru, której środek jest bardziej przezroczysty (n. p. przez natłuszczenie). Oba źródła ustawia się w takich odstępach (r_1 i r_2) od przesłony, aby jej części o różnych stopniach przezroczystości wyglądały jednako oświetlone. Wtedy natężenie światła przepuszczonego równa się odbitemu; ponieważ oświetlenie powierzchni maleje z kwadratem odległości źródła światła, przeto można oba światła

porównać według

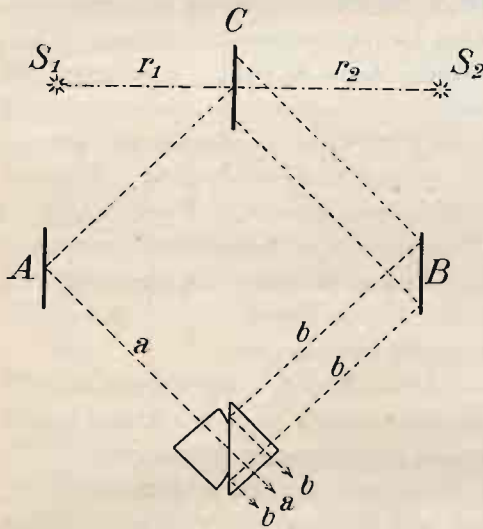
$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}.$$

2. Fotometr Lummera i Brodhuna. — Polega on także na porównywaniu światła przepuszczonego z odbitem, lecz nie za pomocą przesłony, tylko za pomocą dwóch pryzmatów, stykających się ze sobą według *rys. 101*. Promienie światła, padające na pryzmat, przechodzą przez miejsce zetknięcia obu pryzmatów (promień a), a odbijają się na reszcie powierzchni (b , b). A i B są to jednakowe zwierciadła, służące do przeniesienia promieni światła z oświetlonych powierzchni płytki gipsowej C — gdzie się rozpraszają — przez pryzmat do oka. Odstęp r_1 i r_2 reguluje się tak długo, aż obie powierzchnie będą

jednakowo oświetlone; będzie to wtedy, kiedy zatrze się granica światła przepuszczonego przez pryzmat i odbitego.

Jest to t. zw. fotometr równający. Można go urządzić także tak, aby równo oświetlone pola wyróżniały się wspólnie na tle inaczej oświetlonej powierzchni, co podnosi ostrość nastawienia; jest to t. zw. fotometr kontrastowy.

3. Fotometr Webera. — Fotometr składa się (rys. 102.) z dwóch rur A i B , połączonych w kształcie litery T , tak, że



Rys. 101.

B jest obracalna. W rurze A w miejscu skrzyżowania osi obu rur znajduje się pryzmat (P_1) Lummera i Brodhuna; a i b są to płytki mleczne; płytkę a daje się wymieniać na inną o innej przezroczystości, płytkę b jest przesuwalna. Świeca normalna S_n umieszczona w A jest benzynowa lub (w nowszych) elektryczna, o natężeniu zwykle $\frac{1}{2}$ świecy. Światło badane umieszcza się na osi B w odległości R . Płytkę b

przesuwa się tak długo, aż pryzmat P_1 zostanie jednakowo oświetlony, co obserwuje się za pomocą pryzmatu P_2 ; wtedy

$$S = c \frac{R^2}{r^2},$$

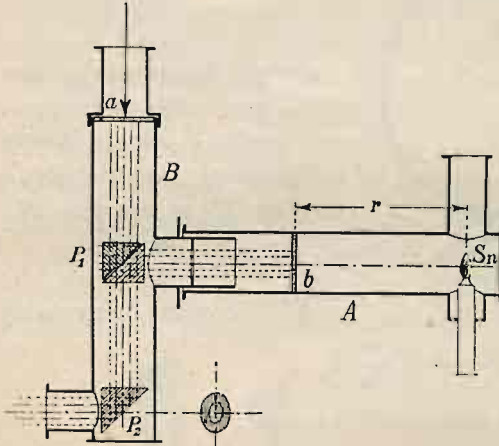
gdzie c jest to stała zależna od płytki a . Wyznacza się ją przez porównywanie świecy normalnej ($S=1$) ze świecą porównawczą fotometru ($S_n = \frac{1}{2}$) $c = \frac{r^2}{R^2}$.

Fotometr Webera służy także do pomiaru naświetlenia. W tym celu zdejmuje się płytkę a , a fotometr kieruje się na daną oświetloną powierzchnię; przyczem kąt nachylenia nie musi być koniecznie prosty (byle nie za mały!). Wtedy naświetlenie

$$L = \frac{c'}{r^2} L_x.$$

Stałą c' wyznacza się przez nastawienie fotometru na biały karton, oświetlony natężeniem 1 świecy w odległości R ,

$$\text{wtedy } c' = \frac{r^2}{R^2}.$$



Rys. 102.

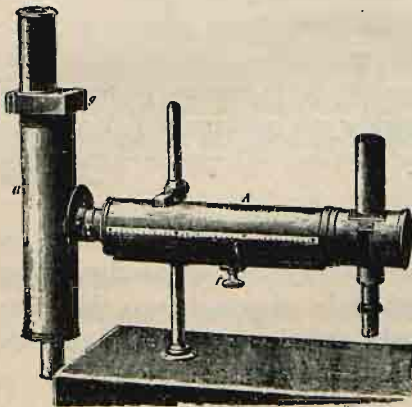
wewnątrz kredą i szkłem wodnym. Wewnątrz kuli umieszcza się lampę badaną S ; wtedy taka kula jest oświetlona proporcjonalnie do średniego przestrzennego natężenia światła lampy. To natężenie światła fotometruje się przez otworek M w kuli.

Płytkę B służy do zatrzymania promieni bezpośrednio na otwór M padających. Pomiar odbywa się przez porównywanie działania lampy badanej i lampy normalnej (o znanym średnim natężeniu światła).

Taki fotometr nadaje się szczególnie do lamp elektrycznych.

Przed użyciem trzeba fotometr wycechować. Żarówkę L o znanym średnim przestrzennym natężeniu światła

S_p , umieszcza się w kuli i oznacza się natężenie światła S'_p na płytce mleczonej, umieszczonej w otworze M . To natężenie



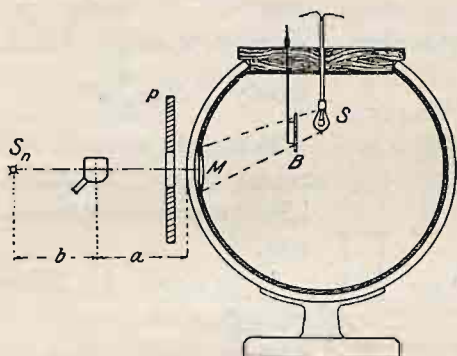
Rys. 103.

światła S' , mierzy się za pomocą fotometru i żarówki normalnej S_n puszczać światło, wychodzące z kuli, przez przesłonę o otworze 8 cm średnicy. Wtedy stała

$$c = \frac{S_{p1}}{S_{p2}}$$

Jeżeli chcemy więc oznaczyć natężenie przestrzenne światła S jakiejś lampy, to znajduje się natężenie światła S' w otworze M

$$S' = \frac{a^2}{b^2} S_n.$$



Rys. 104.

Wobec tego otrzymamy

$$S = c S' = c \frac{a^2}{b^2} S_n,$$

jako średnie przestrzenne natężenie światła.

A. Badanie lamp żarowych.

Badanie lamp żarowych — żarówek — polega głównie na pomiarze poziomego natężenia światła; przy żarówkach metalowych wystarcza najczęściej pomiar w którymkolwiek poziomym kierunku, ponieważ te żarówki mają zazwyczaj pionową oś symetrii skutkiem równomiernego nawinięcia drucika na powierzchni (urojonego) cylindra; o ile niema pionowej osi symetrii, jak n. p. u żarówek węglowych, pomiar w jednym kierunku nie wystarcza, trzeba więc zawsze obliczyć średnie natężenie światła.

Pomiar przestrzennego natężenia światła ma dla żarówek bardziej teoretyczne niż praktyczne znaczenie, gdyż to natężenie nie różni się tak znacznie od poziomego, jak przy lampach łukowych; z tego względu zajmiemy się tego rodzaju pomiarami później, przy lampach łukowych.

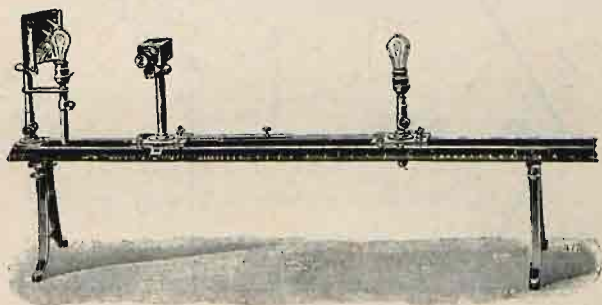
Zachowanie się żarówek w praktyce określają t. zw. charakterystyki żarówek.

Wreszcie ważną jest rzeczą pomiar trwałości świecenia żarówek.

1. Pomiar poziomego natężenia światła.

Przez natężenie światła S żarówki rozumie się — jeżeli nic innego nie jest powiedziane — średnie poziome natężenie światła S_n . Pomiar tego natężenia światła odbywa się zazwyczaj za pomocą t. zw. ławek fotometrycznych (rys. 105.) t. j. urządzeń składających się z właściwego fotometru i ławki z podziałką, po której można przesuwać fotometr i lampy: badaną i normalną.

Lampy normalne, żarówki, mają oznaczony kierunek, w którym pomiar odbywać się musi; to miejsce, odpowiednio oznaczone, ma podczas pomiaru wpadać w oś optyczną ławki fotometrycznej. Takich żarówek normalnych nie można długo używać, dlatego przy pomiarach dłużej trwających trzeba używać żarówek pomocniczych, których natężenie zostało dokład-



Rys. 105.

nie zmierzone przez bezpośrednie porównanie z normalną żarówką. Pomocnicze żarówki powinny się świecić przedtem przynajmniej przez 50 godzin, a barwa ich światła ma odpowiadać badanej.

Naświetlenie przesłony fotometru nie może przekraczać 30 luxów; stosownie do tego należy obrać długość ławki fotometru. Do natężeń niższych niż 100 świec wystarcza ławka 2,5 m długa, a żarówka normalna od 10 do 25 świec.

Najważniejsze metody służące do pomiaru natężenia światła są: 1. metoda promieniowa, 2. metoda zwierciadlana i 3. metoda obrotowa.

1. Metoda promieniowa.

Żarówkę umieszczoną pionowo obraca się około jej osi pionowej i za pomocą fotometru mierzy się poszczególne natę-

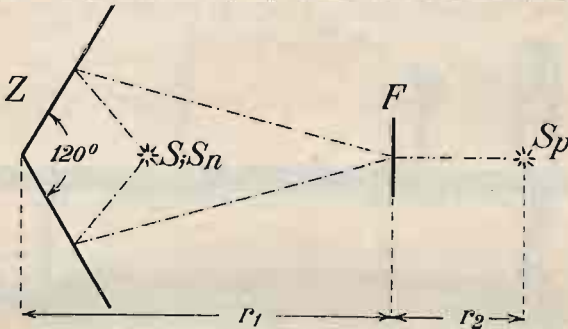
żenia światła w równych odstępach, n. p. co $\alpha=10^\circ$, promieniowo w płaszczyźnie poziomej przechodzącej przez jej środek. Ponieważ żarówka nie stanowi punktu świecącego, natężenia te nie będą wszędzie jednakowe. Wartości otrzymane nanosi się jako spólrzędne w układzie biegunowym, $S=f(\alpha)$. Średnia wartość z otrzymanych w ten sposób natężeń, jest średniem poziomem natężeniem światła.

W podobny sposób wyznacza się średnie pionowe natężenie, obracając żarówkę około osi poziomej.

2. Metoda zwierciadlana.

(Zalecona w r. 1897 przez Związek niemieckich elektrotechników*).

Żarówkę badaną umieszcza się (rys. 106.) w pewnej odległości (9 cm) od zwierciadła Z, składającego się z 2 pod $\sphericalangle 120^\circ$ ustawionych części. Wtedy promienie żarówki, przesunięte



Rys. 106.

o 120° , koncentrują się na przesłonie fotometru, padając częściowo wprost, częściowo przez odbicie w zwierciadle i wytwarzają tam natężenie światła, proporcjonalne do średniego poziomego. To natężenie porównuje się z pomocniczym S_p , przesuwając przesłonę fotometru aż się otrzyma zgodność (lub kontrast) oświetlenia przesłony. Jeżeli wtedy odpowiednie odległości

będą r_1 i r_2 , to

$$S_p = S \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

Potem na miejsce S umieszcza się żarówkę normalną S_n i znowu porównuje z S_p , $S_p = S_n \frac{r_2^2}{r_1^2}$.

Z tego

$$S \frac{r_2^2}{r_1^2} = S_n \frac{r_2^2}{r_1^2},$$

*.) E. T. Z. 1897. str. 473.

czyli

$$S = S_n \left(\frac{r_1}{r'_1} \cdot \frac{r'_2}{r_2} \right)^2.$$

Zwykle wykonuje się pomiar w ten sposób, że naprzód fotometruje się S_p i S_n i zatrzymuje się odległość żarówki pomocniczej od fotometru na stałe, umocowując żarówkę odpowiednio, potem fotometruje się S_p i S . Wtedy $r_2 = r'_2$, czyli

$$S = S_n \left(\frac{r_1}{r'_1} \right)^2.$$

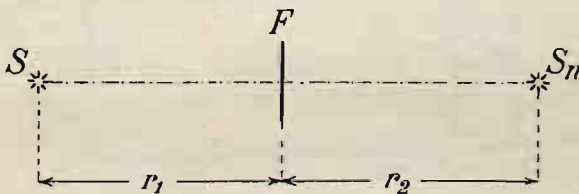
Fotometr na tej zasadzie wykonany pokazuje *rys. 105*.

Ta metoda, dawniej bardzo używana, jest jednak mało dokładna. Lepsza jest

3. Metoda obrotowa.

(Zalecona w r. 1911 przez Związek niemieckich elektrotechników*).

Ta metoda polega na zjawisku, że promienie żarówki obracającej się dość szybko około osi pionowej, padając na fotometr



Rys. 107.

ustawiony do mierzenia poziomego natężenia światła, wytwarzają tam natężenie proporcjonalne do średniego poziomego. To samo można uzyskać zastosowawszy zwierciadło obracające się pod stałym kątem naokoło żarówki, tak że odbicie promieni żarówki koncentruje się na fotometrze (met. Brodhuna). Zastosować można tutaj 2 sposoby:

a) Pomiar bezpośredni (*rys. 107*). — Żarówka badana obracająca się S i normalna S_n pozostają w tem samym od siebie oddaleniu na końcach ławki fotometru, a przesłone F stawia się odpowiednio, tak że

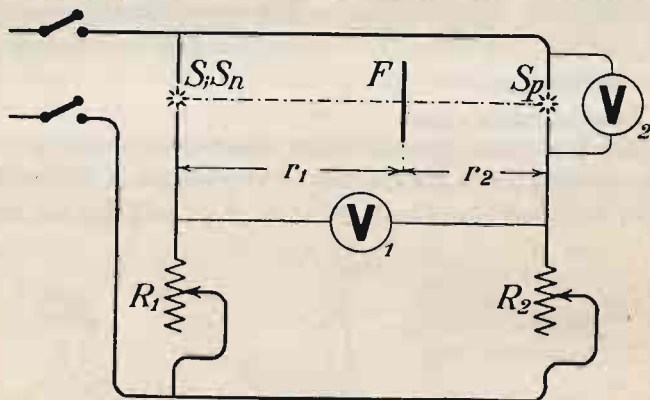
$$S = S_n \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2.$$

Ławki fotometryczne używane do tego celu mają zwykle podziałkę w stosunku $\left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$ w obie strony od środka ławki,

*) E. T. Z. 1911. str. 402.

gdzie $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2=1$, tak że natężenie światła S otrzymuje się od razu przez pomnożenie S_n przez odczytaną wartość nastawienia przesłony F .

b) Pomiar pośredni (rys. 108.). — Przesłonę fotometru łączy się na stałe z żarówką pomocniczą S_p , tak że można je obie razem przesuwac; odstęp r_2 można jednak regulować. Naprzód porównuje się żarówkę normalną S_n z pomocniczą S_p ,



Rys. 108.

następnie ustala się odstęp r_2 , a na miejsce S_n daje się żarówkę badaną S obracającą się i porównuje się S z S_p przesuwając S_p i F do odległości n. p. r'_1 . Wtedy

$$S = S_n \left(\frac{r_1}{r'_1} \right)^2.$$

Ławka fotometryczna ma zwykle podziałkę według $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$, której p. 0 znajduje się na jednym końcu ławki i tam się umieszcza S i S_n , a p. 1 znajduje się w odstępnie 1 m od p. 0. W p. 1 umieszcza się fotometr F przy porównywaniu S_n i S_p i reguluje się r_2 . Przy porównywaniu S i S_p przesuwana jest przesłona F , która przy odstępnie r'_1 wskazuje na podziałce wartość, przez którą należy S_n pomnożyć, aby otrzymać S .

Ponieważ fotometrowanie odbywa się zwykle przy pewnym napięciu tak żarówka badanej jak pomocniczej czy normalnej, przeto trzeba zastosować odpowiednie rodzaje połączeń, pozwalające na regulowanie napięcia. Jeżeli napięcie jest stałe, to

daje się osobny obwód dla żarówki badanej i normalnej i reguluje się osobno. Jeżeli napięcie jest wahające, wtedy można z korzyścią zastosować połączenie różnicowe wskazane na *rys. 108.*, przyczem jednak napięcia obu żarówek nie mogą się zbyt różnić od siebie. Żarówkę S_p nastawia się na napięcie mierzone voltmetrem V_2 , a regulowane opornicą R_2 . Napięcie żarówki S reguluje się opornicą R_1 , według voltmetru V_1 , który wskazuje różnicę napięć obu żarówek.

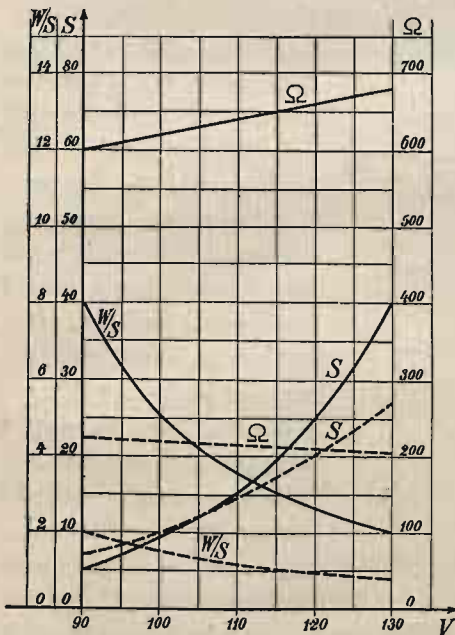
2. Charakterystyki żarówek.

Charakterystykami żarówek nazywamy krzywe przedstawiające zależność:

- natężenia światła S (w świecach);
- mocy W (w watach);
- wydatności W/S (w watach na świecę);
- oporu R (w ohmach) i t. p.

od napięcia V .

Te charakterystyki zdejmuje się zwykle wszystkie za jednym pomiarem, regulując napięcie od najmniejszych wartości,



Rys. 109. ——— żar. węgl. — — — żar. wolfr.

przy których można pomierzyć natężenie światła, aż do 50% lub więcej, a nawet aż do przepalenia żarówki, ponad nominalną wartość napięcia tejże, mierząc równocześnie napięcie V (na końcówkach żarówki), natężenie prądu J i natężenie światła S ; z tego oblicza się później moc W zużyta w żarówce, wydajność W/S i opór żarówki R . Wartości otrzymane i obliczone nanosi się jako rzędne w układzie, którego odciętymi są napięcia V .

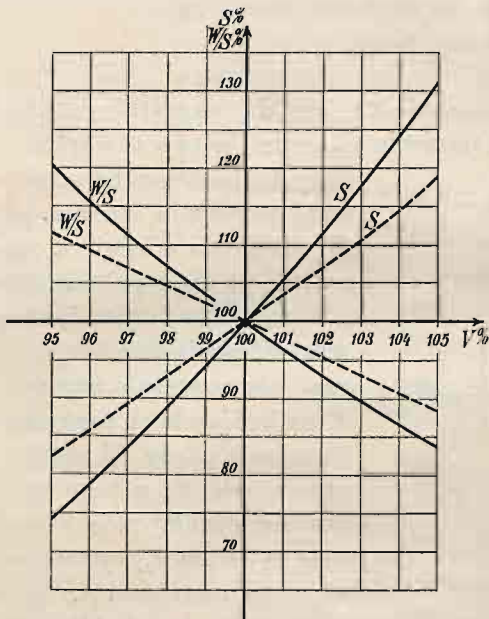
Charakterystyki dają nam dokładny obraz, jak zachowują się żarówki w

praktyce (przyczem uwidocznią się n. p. różnica zachodząca między żarówkami węglowymi i metalowymi).

Rys. 109. i 110. przedstawia charakterystyki Ω , S i $W/S = f(V)$ dwóch żarówek, węglowej i wolframowej, dających nominalnie 16 świec przy 110 V, przyczem na *rys. 109.* podane są wartości bezwzględne, otrzymane przy pomiarze, podczas gdy *rys. 110.* podaje procentową zmianę S i W/S w zależności od procentowej zmiany napięcia przyłożonego, — co jest najlepszym przeglądem porównawczym.

3. Pomiar trwałości świecenia żarówek.

Pomiar trwałości świecenia ma również praktyczne znaczenie, gdyż wskazuje o ile natężenie światła i wydatność



— — — — — żar. węgl. - - - - - żar. wolfr.

Rys. 110.

zmieniają się pod wpływem dłuższego świecenia żarówek. Pomiar wykonuje się w ten sposób, że żarówkę świeci się możliwie nieprzerwanie, najlepiej pod zwykłym napięciem sieci, pod jakim ma żarówka się świecić, i co pewien czas fotometruje się ją przy nominalnem napięciu, natężeniu prądu i natężeniu światła i obliczając z tego zużycie wattów na świecę. Otrzymane wartości natężenia światła S i wydatkności W/S nanosi się jako funkcje czasu (w godzinach).

Ponieważ natężenie światła w początkach świecenia bardziej ulega zmianie niż później (u żarówek metalowych na razie rośnie a potem powoli maleje), przeto należy w pierwszych 200 godzinach robić częstsze pomiary, a potem rzadsze.

Jako praktyczną granicę trwałości świecenia przyjmuje się czas aż do chwili, gdy natężenie światła żarówki spadnie do 80% wartości początkowej.

B. Badanie lamp łukowych.

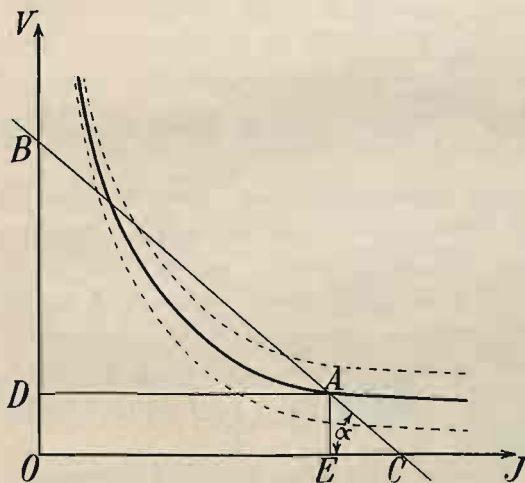
Oprócz badania właściwych lamp łukowych — łukówek — należy tu badanie samego łuku świetlnego w różnych warunkach, to jest zdejmowanie jego charakterystyk, których znajomość jest potrzebna do poznania działania lamp łukowych.

Pomiary natężenia światła polegają głównie na pomiarze przestrzennego natężenia światła, do czego służą osobne metody; pomiary innego natężenia odbywają się tak samo jak przy żarówkach.

Przy badaniach lamp łukowych bardzo ważną rzeczą jest regulowanie lamp według wymogów, jakim mają lampy służyć w praktyce, oraz pomiar trwałości świecenia.

1. Charakterystyka łuku świetlnego.

Charakterystyką łuku świetlnego nazywamy krzywą, przedstawiającą zależność napięcia na łuku od natężenia prądu, $V=f(J)$, przy stałym odstępnie elektrod i danym materiale. Materiał elektrod wpływa bardzo na przebieg charakterystyki. Przy łuku węglowym natężenie prądu powoduje łuk ten grubszy, im jest większe natężenie, wtedy opór łuku spada, a więc i napięcie na łuku musi maleć z rosnącym natężeniem; charakterystyka jest opadająca (rys.



Rys. 111.

111.). Charakterystyka łuku rtęciowego jest natomiast wznosząca się; napięcie rośnie z natężeniem prądu, pochodzi to

ztaąd, że opór łuku zwiększa się z natężeniem, gdyż wzrost temperatury w rurce powoduje zwiększanie się ciśnienia.

Charakterystykę łuku świetlnego zdejmuje się w ten sposób, że przy stałym odstępie elektrod zwiększa się za pomocą opornicy prąd w łuku i notuje się odpowiednie wartości napięcia, mierzonego możliwie jak najbliżej końca elektrod. Stały odstęp elektrod węglowych utrzymuje się, obserwując długość łuku na jego obrazie, rzuconym na ekran za pomocą soczewki; jeżeli tego nie można zrobić, to należy przy nastawionym odstępie węgla wykonać pomiar bardzo szybko nim węgle się znacznie upalą.

Przy różnych odstępach węgla otrzymuje się różne charakterystyki; im ten odstęp jest większy, tem charakterystyka wyżej przebiega.

Stan normalny jakiegoś łuku świetlnego określony jest wielkością normalnego natężenia prądu J i napięciem jemu odpowiadającym, n. p. p. A charakterystyki *rys. 111*. Jeżeli przez p. A i przez p. B , odpowiadający napięciu sieci $V_s = OB$ poprowadzimy prostą BC , to ona charakteryzuje nam stan normalny łuku. Z *rys. 111*. widać, że

$$OB = OD + DB,$$

czyli $V_s = V + J \operatorname{tg} \alpha.$

Ponieważ $V_s = V + JR,$

gdzie R jest to opór obwodu, przeto

$$\operatorname{tg} \alpha = R,$$

czyli, że linia BC określa wielkość oporu R , przy normalnym ruchu.

Ta linia określa także największy opór, przy którym jeszcze łuk się utrzymuje przy danym odstępie węgla i tem samym napięciu sieci. Przy obracaniu bowiem prostej BC ok. p. B w lewo, porusza się p. A w górę, czyli, że opór R ciągle rośnie, aż BC stanie się styczną charakterystyki; otrzymana stąd wartość oporu R jest górną granicą, potrzebną do utrzymania łuku; zwiększając opór jeszcze dalej przy danem napięciu sieci, łuk się przerywa.

Kąt nachylenia α posiada wpływ na stałość świecenia się lampy, decyduje bowiem o wielkości oporu uspokajającego. Im ten kąt jest większy dla danego p. A , tem napięcie sieci musi być większe, czyli p. B wyżej położony. To powoduje lepsze

palenie się łuku, lepsze utrzymywanie normalnego stanu świecenia się lampy.

2. Pomiar przestrzennego natężenia światła.

Światło lamp łukowych, mierzone promieniowo w różnych kierunkach, jest bardziej nierównomierne, niż u lamp żarowych. Ta nierównomierność zależy od ustawienia i kształtu węgli, od osłon, reflektorów i t. p. Do celów praktycznych potrzebną jest zatem znajomość natężenia światła nie w pewnym kierunku, lecz średniego przestrzennego S_p i to całkowitego lub połowicznego. Najczęściej ma się do czynienia z średnim półprzestrzennem dolnym S_{ppd} .

Pomiar przestrzennego natężenia światła robi się albo za pomocą fotometru Ulbrichta (p. str. 185), albo też za pomocą różnych metod pośrednich:

a) Metoda promieniowa*).

Lampę badaną umieszcza się w urządzeniu, pozwalającym obracać ją zarówno około osi poziomej jak i pionowej, przy równoczesnym odczytywaniu kąta nachylenia. Pomiar natężenia światła odbywa się równocześnie w dwu przeciwnych kierunkach promieniowo, postępując w obu kierunkach najwyżej co 10° . W ten sposób otrzyma się przynajmniej 36 nastawień w kierunku poziomym, a 18 w kierunku pionowym. Jeżeli idzie tylko o pomiar natężenia półprzestrzennego, to nastawień w kierunku pionowym będzie 9. Ponieważ odczyty odbywają się z obu stron, otrzymuje się dla każdego nastawienia po dwie wartości, z których należy wziąć średnią.

Przy tej metodzie najlepiej jest postępować w ten sposób, aby lampę obracać około osi pionowej i dla każdego nastawienia wykonać pół obrotu około osi poziomej, zatrzymując lampę co 10° i fotometrując.

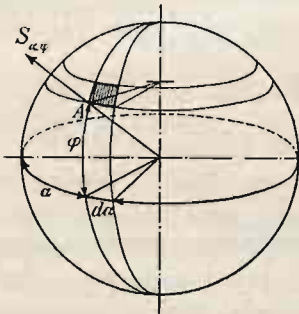
Do pomiaru należy opatrzyć lampę węglami przepisanej średnicy i pochodzenia, o długości odpowiadającej przynajmniej połowie czasu świecenia i przynajmniej palić przez godzinę, a potem bezpośrednio przystąpić do fotometrowania. Natężenie prądu przy fotometrowaniu trzeba regulować stale na normalną wartość.

*) p. Przepisy Związku niem. elektrot. ETZ. 1911, str. 403.

Jest to najdokładniejsza metoda, ale wymaga dłuższego czasu i wielkiej staranności przy pomiarze, zwłaszcza przy regulowaniu na stałe natężenie prądu i stały odstęp węgli.

b) Metoda wykreślna.

Światło lamp łukowych, o węglach pionowo nad sobą stojących, ma pionową oś symetrii, to zn. krzywa natężeń prądu, zdjęta w każdej powierzchni przechodzącej przez oś pionową, jest ta sama; jest to t. zw. krzywa biegunowa. Mając taką krzywą, można wyznaczyć rachunkowo lub wykreślnie średnie



przestrzenne natężenie światła.

Jeżeli bowiem powierzchnię, utworzoną przez końce wektorów, odpowiadających natężeniom światła w różnych kierunkach a wychodzących ze źródła światła, podzielimy płaszczyznami przechodzącymi przez pionową oś symetrii i płaszczyznami prostopadłymi do niej, a równoległymi do siebie, to ta powierzchnia świetlna

zostanie podzielona na elementy o powierzchni $da \cos \varphi \cdot d\varphi$ (rys. 112.). Wtedy ciek świetlny, przechodzący przez tę powierzchnię będzie się równał natężeniu $S_{\alpha, \varphi}$, określoneemu kątami α i φ , pomnożonemu przez tę powierzchnię,

$$S_{\alpha, \varphi} \cos \varphi d\varphi da,$$

a cały ciek

$$\Phi_s = \int_{\alpha=0}^{\alpha=2\pi} \int_{\varphi=-\frac{\pi}{2}}^{\varphi=+\frac{\pi}{2}} S_{\alpha, \varphi} \cos \varphi d\varphi da,$$

a całkowite natężenie światła

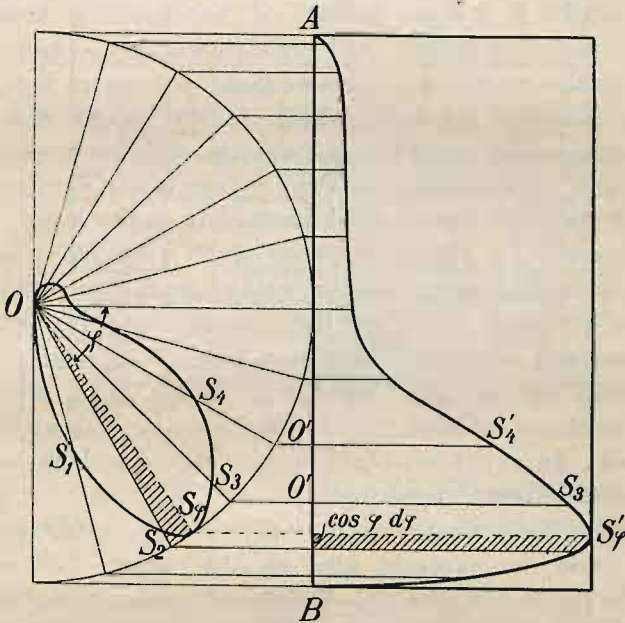
$$S = \frac{1}{4\pi} \int_{\alpha=0}^{\alpha=2\pi} \int_{\varphi=-\frac{\pi}{2}}^{\varphi=+\frac{\pi}{2}} S_{\alpha, \varphi} \cos \varphi d\varphi da.$$

Jeżeli źródło światła ma pionową oś symetrii, to natężenie światła wzdłuż kąta różnoległego jest kołem, t. j. w każdym kierunku w tej płaszczyźnie to samo, czyli od α niezależne. Wtedy

$$S = \frac{1}{2} \int_{\varphi=-\frac{\pi}{2}}^{\varphi=+\frac{\pi}{2}} S_{\varphi} \cos \varphi d\varphi.$$

Ponieważ S_φ oznacza natężenie światła w kierunku φ , czyli po krzywej biegunowej, a $\cos \varphi d\varphi$ jest to rzut elementu południkowego na osi, przeto można całkowanie przerobić wykreślnie (według Rousseau):

Źródło światła (n. p. lampę łukową) fotometruje się wzdłuż osi pionowej i z otrzymanych wartości natężenia światła tworzy się wykres biegunowy (rys. 113.). Tak otrzymaną krzywą



Rys. 113.

biegunową dzieli się wektorami i odpowiednie wartości wektorów nanosi się jako rzędne względem osi o długości równej średnicy koła, zatoczonego około środka źródła światła, kreśląc linie poziome od punktów przecięcia wektorów z kołem.

W ten sposób dostaje się nową krzywą, której powierzchnia (splanimetrowana) podzielona przez długość AB , da średnie natężenie światła, gdyż zakreskowany element jest właśnie równy $S_\varphi \cos \varphi d\varphi$, a całka jego daje powierzchnię krzywej.

Jeżeli źródło światła nie ma pionowej osi symetrii, to aby otrzymać prędko przybliżone średnie natężenie światła, zdejmuje się jedną krzywą biegunową wzdłuż tego południka, który przechodzi przez największą wartość natężenia światła,

a drugą w płaszczyźnie prostopadłej do poprzedniej. Z obu otrzymanych wartości bierze się średnią.

3. Regulowanie lamp łukowych.

Regulowanie lamp łukowych polega na nastawieniu mechanizmu regulującego tak, aby utrzymywał przepisane dla każdej lampy napięcie na łuku i natężenie prądu w łuku. Natężenie prądu w lampie zależy od napięcia na końcówkach lampy i oporu pozornego, jaki przedstawia łuk, — nie uwzględniając spadku napięcia w przewodach, wewnątrz lampy i na węglach. Napięcie na końcówkach lampy należy więc dobrać odpowiednio, nieco wyższe niż napięcie w łuku i resztę zniszczyć oporem uspokajającym. Przy łączeniu wielokrotnem lamp łukowych napięcie będzie wielokrotnością liczby lamp, załączonych w szereg, + straty w przewodach i oporze uspokajającym. Opór uspokajający można włożyć wprost w przewody doprowadzające prąd. Rola jego jest dwójaka: reguluje on w wielkich granicach wielkość natężenia prądu i łagodzi wahnięcia prądu, które głównie przy załączaniu lampy mogą występować w niedozwolonej mierze. Opór uspokajający nastawia się na stałe, tak, że czynność regulowania lampy polega na nastawianiu mechanizmu regulującego.

Zależnie od rodzaju lampy wpływa ten mechanizm na natężenie prądu, na napięcie, albo na oba razem.

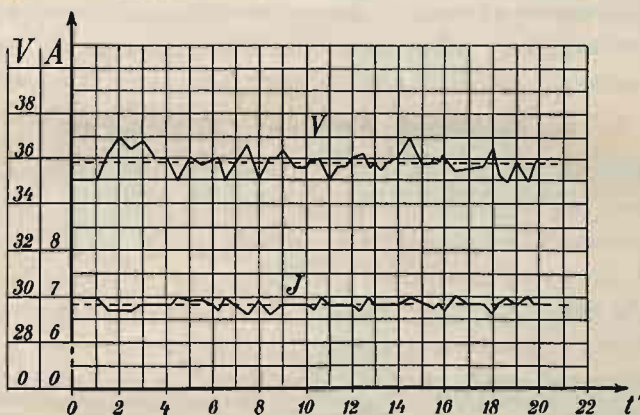
Lampy szeregowy. — Działanie mechanizmu zależy od 2 sił, t. j. od natężenia prądu płynącego przez cewkę, leżącą w szeregu z lampą, i od sprężyny. Przez naciąganie sprężyny zwiększa się wielkość natężenia prądu, przy którym zaczyna mechanizm działać. Przy stałej więc sile sprężyny, lampa reguluje na stałe natężenie.

Lampy upustowe. — Działanie mechanizmu zależy od 2 sił: natężenia prądu, płynącego przez cewkę, leżącą w upuszczeniu do łuku, i od sprężyny. Przez naciąganie sprężyny zwiększa się wielkość natężenia prądu, przy którym mechanizm zaczyna działać, a więc musi się zwiększyć i napięcie na łuku. Przy stałej sile sprężyny, lampa reguluje w obec tego na stałe napięcie.

Lampy różnicowe. — Działanie mechanizmu zależy od różnicy sił, cewki szeregowy i upustowej; prócz tego cewka

upustowa ma jeszcze do pomocy siłę sprężyny, którą można regulować napięcie. Przy danych więc wymiarach cewek i stałej sile sprężyny, mechanizm wpływa na napięcie i natężenie w tem samym znaczeniu, t. j. lampa reguluje na stały opór.

Sam pomiar, mający dać obraz tego, w jakim stopniu lampa samoczynnie reguluje, polega na przepuszczaniu stałego prądu przez lampę i mierzeniu długości łuku, napięcia, natężenia



Rys. 114.

nia, mocy, n. p. co 30 sek. w ciągu 15–30 minut nieprzerwanego świecenia, oraz notowania czasu, kiedy mechanizm zaczyna działać.

Wartości otrzymane można przedstawić wykreślnie jako krzywe regulowania lampy, nanosząc je w funkcji czasu (rys. 114., lampa różnicowa na 7A).

Przebieg krzywych daje odrazu dostateczny przegląd na jakie napięcie, względnie natężenie, lampa reguluje, a przez odpowiednie nastawienie mechanizmu (sprężyny) otrzymuje się wreszcie wartości pożądane.

Z otrzymanych wartości oblicza się wartości średnie, oraz wahnięcia procentowe w dół i w górę i średnie. Im te wahnięcia są mniejsze, im szybciej lampa reguluje, tem jest lepsza, tem światło jest spokojniejsze i równomierniejsze.

4. Pomiar trwałości świecenia.

Każda lampa ma, stosownie do typu i do rodzaju węgla, przepisany czas świecenia, t. zn. że jednorazowe założenie

węgla musi na ten czas wystarczyć. Pomiar trwałości świecenia odbywa się za pomocą bezpośredniego pomiaru długości węgla przed i po pewnym czasie świecenia, wszakże nie mniejszym niż 1 godzina. Ponieważ jednak w lampie nie mogą spalić się całe węgle, lecz musi zwykle zostać 5—8 cm na ujęcie, przeto od całkowitej długości węgla należy odjąć tę wartość. Wtedy pozostała długość, podzielona przez upalenie się węgla w godzinie, da czas palenia się lampy w godzinach.

Pomiar należy uskutecznić dla obu węgli, dolnego i górnego.

C. Badanie światła rurkowego.

Badanie światła żarówek i łukówek upraszcza się przez założenie, że źródło światła ma charakter punktu świecącego. Przy nowszych lampach elektrycznych, gdzie materya świecąca nie jest skoncentrowana, lecz znajduje się w rurce (lampy rtęciowe, światło Moore'a) założenie takie jest niedopuszczalne.

Pewne uproszczenie uzyskać można przyjąwszy rurki jako linie świecące, wtedy według Dra Pole*) ciek świetlny takiej rurki wynosi

$$\Phi_s = \pi l S_0,$$

gdzie l jest to całkowita długość linii (rurki) świecącej, a S_0 natężenie światła jednostki długości linii świecącej, mierzone prostopadłe do osi podłużnej.

Według Nordena**) ciek świetlny linii oznacza się podobnie jak punktu świecącego, biorąc za jednostkę kulę otaczającą dane ciało, o promieniu = 1 i sumując ciek na jej powierzchni.

Z cieków przestrzennego otrzymuje się średnie przestrzenne natężenie światła

$$S_p = \frac{\pi^2 l S_0}{4\pi} = \frac{\pi}{4} l S_0,$$

a z cieków pół przestrzennego $\frac{\pi^2 l S_0}{2}$, natężenie pół przestrzenne

$$S_{pp} = \frac{\pi^2 l S_0}{2 \cdot 2\pi} = \frac{\pi}{4} l S_0.$$

Z powodu różnego nachylenia promieni świetlnych, padających z rurki świecącej na fotometr, jest natężenie światła rurki świecącej zależne od kierunku fotometrowania; natomiast

*) ETZ, 1911, str. 440 i n.

**) ETZ, 1913, str. 292 i n.

średnie przestrzenne lub półprzestrzenne natężenie, oznaczone w sposób powyższy, jest określone ściśle, może przeto służyć jako praktyczna miara natężenia światła rurek świecących.

Średnie poziome natężenie światła S_h znajduje się przez osłonięcie rurki czarnym papierem tak, aby pozostał tylko wolny pasek pierścieniowy o długości najwyżej 3 cm, i przez fotometrowanie tego paska prostopadle do osi podłużnej; tak znalezione natężenie sprowadza się (proporcjonalnie) do długości 1 cm. Prócz tego trzeba zawsze podać jeszcze współczynnik, przez który pomnożywszy można otrzymać przestrzenne natężenie światła*).

Przy lampach żarowych metalowych miarą natężenia światła jest średnie poziome S_h , które jest w następującym stosunku do przestrzennego S_p ,

$$S_p = 0,79 S_h;$$

ponieważ $\frac{\pi}{4}$ jest prawie = 0,79, przeto można napisać dla lamp rurekowych

$$S_p = 0,79 I S_0.$$

Jeżeli więc wyjdzie się z równego przestrzennego natężenia światła, to natężeniu poziomemu lampy metalowej, odpowiada natężenie światła rurki, mierzone prostopadle do osi, pomnożone przez długość rurki.

D. Badanie naświetlenia.

W praktyce oświetlenia elektrycznego jest znajomość naświetlenia często ważniejszą niż natężenia światła, gdyż stanowi praktyczną miarę skutku, jaki daje źródło światła.

Jeżeli wyobrazimy sobie (*rys. 115.*) w p. S źródło światła, w odległości d od powierzchni naświetlanej, to wywołuje ono w p. A naświetlenie L' mierzone na płaszczyźnie prostopadłej do kierunku padania światła o natężeniu S w tym kierunku. Jeżeli odległość p. A od S jest r , to $\overline{AL'}$ przedstawia naświetlenie

$$L' = \frac{S}{r^2} = \frac{S}{d^2} \cos^2 \alpha.$$

Naświetlenie właściwe w p. A (\overline{AL}), t. j. mierzone prostopadle do AB , jest $L = \frac{S}{r^2} \cos \alpha$, albo $L = L' \cos \alpha$,

*) Przepisy Z. N. E. ETZ, 1913, str. 396.

czyli

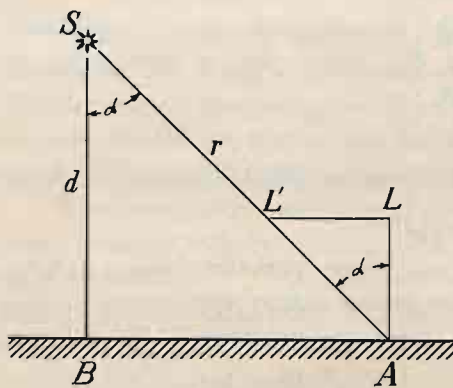
$$L = \frac{S}{r^2} \cos^3 \alpha,$$

jako związek między naświetleniem a natężeniem światła.

Jeżeli natężenia światła S pod różnymi kątami padania są znane, to można bardzo łatwo obliczyć naświetlenie w różnych punktach, tworząc odpowiednie wartości $\cos^3 \alpha$.

Wartości L tak znalezione nanosi się jako rzędne odpowiednich punktów na linii czy powierzchni i otrzymuje się w ten sposób krzywą naświetlenia.

Jeżeli to samo źródło światła umieszcza się w różnych wysokościach d_1 i d_2 , a odpowiednie naświetlenia będą L_1 i L_2 ,



Rys. 115.

to

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}.$$

Znając więc jedno naświetlenie L_1 , albo krzywą naświetlenia, można drugie obliczyć,

$$L_2 = L_1 \frac{d_1^2}{d_2^2}.$$

Przy oświetleniu jakiejś powierzchni za pomocą więcej źródeł światła, otrzymuje się całkowitą krzywą naświetlenia przez dodawa-

nie poszczególnych krzywych. Jest to rzecz niewygodna; wtedy lepiej jest uciec się do fotometrowania naświetlenia, czyli mierzenia odrazu całej wartości naświetlenia w pewnym punkcie.

Do tego celu nadaje się najlepiej fotometr Webera (por. str. 184).

Literatura specjalna:

Herzog u. Feldmann: Handbuch der elektrischen Beleuchtung.

Wyd. III. 1907.

Liebethal: Praktische Photometrie. 1907.

Uppenborn-Monach: Lehrbuch der Photometrie. 1912.

VI.

Badanie ogniw galwanicznych i akumulatorów.

Badanie ogniw pierwotnych (galwanicznych) i wtórnych (akumulatorów) polega głównie na pomiarach ich siły elektromotorycznej, oporu wewnętrznego i pojemności. Pomiar *SEM* odbywa się za pomocą którejś z metod, podanych w części I. rozdz. III. Natomiast do pomiaru oporu wewnętrznego nie można zastosować wprost metod, poznanych poprzednio, gdyż zjawiska polaryzacji, występujące w ogniwach, wpływają na zmianę *SEM* i oporu wewnętrznego.

Tymi pomiarami oraz pomiarami pojemności ogniw zajmujemy się w tym rozdziale.

1. Pomiary oporu wewnętrznego.

Skutkiem zjawisk polaryzacji, występujących przy przepływananiu prądu przez ogniwo, należy posługiwać się wyłącznie metodami, przy których ogniwo wydaje tylko bardzo mały prąd, tak że można wtedy uważać jego *SEM* jako niezmienną, albo zastosować do pomiaru prąd przerywany lub przemienny, zapobiegający w dostatecznym stopniu polaryzacji (met. Kohlrauscha).

1. Metoda Ohma.

Ogniwo musi wydawać bardzo mały prąd, tak że jego *SEM* E można uważać za stałą. W obwód ogniwa załącza się galwanometr o oporze G i znany opór R , dający się regulować. Przy zamkniętym obwodzie będzie prąd

$$J_1 = \frac{V}{\rho + R_1 + G} = c\alpha_1,$$

gdzie ρ jest to opór wewnętrzny ogniwa, R_1 znany opór, c stała galwanometru, a α_1 jego odchylenie.

Jeżeli ogniwo zamkniemy oporem większym R_2 , to

$$J_2 = \frac{V}{\rho + R_2 + G} = c\alpha_2.$$

Przez podzielenie obu równań dostaniemy

$$\frac{\rho + G + R_2}{\rho + G + R_1} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2},$$

$$(\alpha_1 - \alpha_2)\rho = \alpha_2 G + \alpha_2 R_2 - \alpha_1 G - \alpha_1 R_1,$$

z tego

$$\rho = \frac{\alpha_2 R_2 - \alpha_1 R_1}{\alpha_1 - \alpha_2} - G.$$

Jeżeli G jest w obec R bardzo małe (galwanometr w upuście), to można je opuścić.

Jeżeli opory R_1 i R_2 tak dobierzemy, że wychylenia będą

$$\alpha_2 = \frac{1}{2}\alpha_1,$$

to

$$\rho = R_1 - R_2.$$

Błąd graniczny otrzymuje się przez różniczkowanie cząstkowe wzoru na ρ :

$$\rho = \frac{\alpha_2 R_2 - \alpha_1 R_1}{\alpha_1 - \alpha_2},$$

$$\text{(względem } R_1) \quad \frac{d\rho}{\rho} = - \frac{\alpha_1 R_1 (\alpha_1 - \alpha_2)}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_2 R_2 - \alpha_1 R_1)} \frac{dR_1}{R_1},$$

$$\text{(względem } R_2) \quad = \frac{\alpha_2 R_2 (\alpha_1 - \alpha_2)}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_2 R_2 - \alpha_1 R_1)} \frac{dR_2}{R_2},$$

$$\text{(względem } \alpha_1) \quad = \frac{\alpha_1 \alpha_2 (R_1 - R_2)}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_2 R_2 - \alpha_1 R_1)} \frac{d\alpha_1}{\alpha_1},$$

$$\text{(względem } \alpha_2) \quad = - \frac{\alpha_1 \alpha_2 (R_1 - R_2)}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_2 R_2 - \alpha_1 R_1)} \frac{d\alpha_2}{\alpha_2}.$$

Jeżeli założymy, że błędy $\frac{d\alpha_2}{\alpha_2} = \frac{d\alpha_1}{\alpha_1}$ i $\frac{dR_2}{R_2} = \frac{dR_1}{R_1}$ i że wszystkie błędy są dodatnie, to otrzymamy ostatecznie w wartościach skończonych

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\alpha_2 R_2 + \alpha_1 R_1}{\alpha_2 R_2 - \alpha_1 R_1} \frac{\Delta \rho}{R_1} + \frac{2\alpha_1 \alpha_2 (R_1 - R_2)}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_2 R_2 - \alpha_1 R_1)} \frac{\Delta \rho}{\alpha_1}.$$

Ta metoda jest mało dokładna, gdyż opory przychodzą jako różnica, a trzeba je brać dość duże, aby prąd płynący z ogniwa był mały.

2. Metoda spadku napięcia.

Jest to najprostsza, choć mało dokładna metoda, polegająca na zasadzie, że skoro przez ogniwo przepływa prąd, musi w niem powstać spadek napięcia. Do pomiaru potrzeba voltmetru i ampermetru oraz oporu R dającego się regulować (rys.

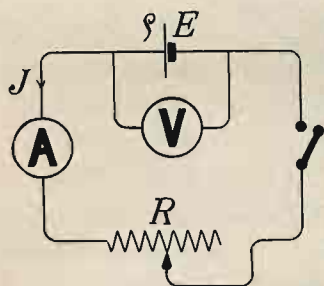
116.). Po załączeniu oporu R płynie prąd J , wywołujący na oporze wewnętrznym ρ ogniwa spadek napięcia $J\rho$. Wtedy SEM E ogniwa spadnie na V , co wskazuje voltmetr, tak że

$$E - V = J\rho,$$

stąd
$$\rho = \frac{E - V}{J}.$$

Błąd graniczny otrzyma się przez różniczkowanie cząstkowe wzoru na ρ i założenie, że błędy się dodają,

$$\frac{\Delta_\rho \rho}{\rho} = \frac{\Delta_\rho E - \Delta_\rho V}{E - V} + \frac{\Delta_\rho J}{J},$$



Rys. 116.

gdzie $\Delta_\rho E$, $\Delta_\rho V$, $\Delta_\rho J$ zależą od dokładności użytych do pomiaru przyrządów.

SEM E ogniwa w stanie, gdy wydaje prąd jest mniejsza od SEM E_0 w stanie spokojnym, a to skutkiem działania SEM polaryzacji, skierowanej przeciw E_0 , tak że $E_0 > E$. Ponieważ przy pomiarze występuje właśnie

to E , należy je przeto pomierzyć i to nim ogniwo się orzeźwi z polaryzacji. Robi się to przez natychmiastowe odczytanie — po przerwaniu prądu — napięcia za pomocą dobrze tłumionego voltmetru.

Jeżeli opór R jest znany, to ampermetr jest niepotrzebny i wtedy

$$\rho = \frac{E - V}{E} R = R \left(1 - \frac{V}{E} \right).$$

3. Metoda Mance'a.

Metoda Mance'a polega na zasadzie mostku Wheatstone'a i podobna jest do metody Thomsona pomiaru oporu galwanometru.

Ogniwo E , którego opór wewnętrzny ρ mamy wyznaczyć, łączy się (rys. 117.) z 3 oporami R , R_1 i R_2 w czworobok; w jedną przekątną wstawia się galwanometr o dużym oporze G , w drugą wyłącznik ℓ . Jeżeli ℓ jest otwarty, to prąd ($J_1 = J_2$) wychodzący z ogniwa rozdziela się na J i $J_3 = J_4$. Wtedy według prawa Kirchhoffa będzie

$$\text{dla sieci I.} \quad V = J_1 \rho + J_2 R_1 + JG \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

$$\text{„ „ II.} \quad JG = J_3 R_2 + J_4 R \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Jeżeli zamkniemy t , to prądy w ogóle zmieniają się na J' , J'_1 , J'_2 , J'_3 , J'_4 , wtedy będzie

$$V = J'_1 \rho + J'_2 R_1 + J' G \quad \dots \quad 3)$$

$$J' G = J'_3 R_2 + J'_4 R \quad \dots \quad 4)$$

Jeżeli opory R , R_1 , R_2 są tak dobrane, że przez galwanometr płynie zawsze ten sam prąd, czy wyłącznik t jest otwarty czy zamknięty, to

$$J = J';$$

wtedy z 1) i 3) $J_1 \rho + J_2 R_1 = J'_1 \rho + J'_2 R_1$

a z 2) i 4) $J_3 R_2 + J_4 r = J'_3 R_2 + J'_4 R$,

stąd
$$\frac{(J_1 - J'_1) \rho}{(J_4 - J'_4) R} = \frac{(J'_2 - J_2) R_1}{(J'_3 - J_3) R_2} \quad \dots \quad 5)$$

Ponieważ $J_1 = J + J_4$ a $J'_2 = J + J'_3$

$$J'_1 = J + J'_4 \quad J_2 = J + J_3$$

przeto $(J_1 - J'_1) = (J_4 - J'_4)$, a $(J'_2 - J_2) = (J'_3 - J_3)$.

Podstawivszy to w równanie 5), otrzymamy równanie mostku Wheatstonea

$$\frac{\rho}{R} = \frac{R_1}{R_2},$$

czyli $\rho = R \frac{R_1}{R_2}$.

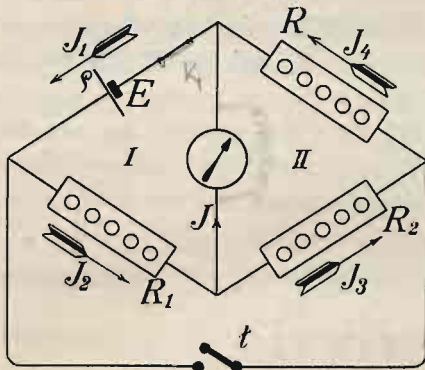
Przez zastosowanie kondensatora w gałęzi galwanometru, można otrzymać metodę zerową, gdyż jeżeli na krańcach gałęzi wyłącznika różnica potencjałów będzie 0,

to przy otwieraniu i zamykaniu wyłącznika kondensator nie otrzyma ładunków i odchylenia skazówki galwanometru nie będzie.

4. Metoda Kohlrauscha.

Ta metoda jest identyczną z metodą pomiaru oporu cieczy za pomocą mostka Kohlrauscha z telefonem. Przy znacznej częstości okresów lub przerywań polaryzacja prawie nie występuje. Aby uniknąć wydawania prądu przez ogniwo najlepiej jest łączyć 2 ogniwa przeciw sobie.

Jakkolwiek zasada tej metody przypuszcza znaczną dokładność pomiaru, to jednak nie jest ona tak dobrą, gdyż za



Rys. 117.

pomocą telefonu trudniej jest uchwycić chwilę, gdy przez telefon prąd nie płynie, niżby to można uczynić za pomocą galvanometru.

2. Pomiar pojemności.

Pomiar pojemności ogniwa pierwotnego polega na pomiarze ilości elektryczności, jaką można otrzymać z ogniwa w przeciągu czasu t , przy wyładowywaniu go prądem J tak długo, aż *SEM* ogniwa spadnie do 90% początkowej wartości. Pojemność określi się więc wzorem $\int_0^t J dt$. Od wielkości natężenia prądu zależy czas wyładowania; im natężenie jest większe, tem prędzej ogniwo się wyładowuje.

Przy ogniwach wtórnych nie można się zadowolnić wyłącznie tylko tego rodzaju pomiarem pojemności. Ponieważ są to ogniwa odwracalne, a przy każdym przebiegu odwracalnym tracimy użytecznie część energii, przeto należy znać także tę ilość elektryczności, jaką się do ogniwa wkłada.

W obec tego rozróżniamy

$$\begin{array}{l} \text{pojemność ładowania} \quad \int_0^t J_1 dt \\ \text{„} \quad \text{wyładowania} \quad \int_0^t J_2 dt, \end{array}$$

gdzie J_1 jest to chwilowa wartość prądu, wprowadzanego do ogniwa, a J_2 z ogniwa otrzymywanego.

Ponieważ wielkość natężenia prądu wpływa znacznie na pojemność ogniwa, gdyż im większy prąd wyładowania, tem pojemność mniejsza, przeto przy pomiarze pojemności należy go utrzymywać na stałej wysokości i pomierzoną pojemność odnosić zawsze do danego prądu wyładowania.

Pomiar pojemności odbywa się przez pomiar prądu wyładowującego, wzgl. ładującego, przez pewien czas. Ten czas jest określony wysokością napięcia ogniwa. Przy wyładowaniu napięcie spada i jeżeli napięcie przekroczy 1,80 V (u akumulatorów ołowianych) należy wyładowanie przerwać. Przy ładowaniu napięcie się podnosi do 2,50—2,70 V; dalsze ładowanie prawie że nie zwiększa napięcia, należy więc je zakończyć; granicą ładowania nie bywa tu ściśle określona wartość napięcia, lecz chwila kiedy ogniwo, wzgl. wszystkie ogniwa, jednakowo silnie gazują.

3. Pomiar wydajności.

Miarą użyteczności ogniw wtórnych jest ich pojemność wyładowania, jednakowoż miarą ich dobroci może być dopiero ich wydajność. Rozróżniamy dwójakiego rodzaju wydajność:

wydajność elektryczną η_{el} — jest to stosunek ilości elektryczności otrzymanej z akumulatora do włożonej, czyli pojemności wyładowania do ładowania

$$\eta_{el} = \frac{\int_0^t J_2 dt}{\int_0^t J_1 dt};$$

wydajność energetyczną η_{en} — jest to stosunek energii elektrycznej otrzymanej z akumulatora do włożonej; energię mierzy się napięciem V , natężeniem J i czasem t

$$\eta_{en} = \frac{\int_0^t V_2 J_2 dt}{\int_0^t V_1 J_1 dt}.$$

Wydajność energetyczna różni się znacznie od poprzedniej, ponieważ napięcie przy ładowaniu jest większe, niż przy wyładowaniu; ta wydajność waha się w granicach 70—80%, a elektryczna 90—95%.

4. Próba akumulatorów.

Próba akumulatorów obejmuje zwykle całą baterię i polega głównie na wyznaczeniu pojemności i wydajności baterii. Przy mniejszych bateriach fabryka gwarantuje zwykle tylko pojemność wyładowania; wtedy wystarczy do odbioru tylko próba pojemności. Jeżeli gwarantowana jest wydajność baterii, to trzeba wykonać próbę wydajności, przy której otrzymuje się także wartość pojemności baterii.

Próba nowej baterii powinna obejmować wszystkie ogniwa, zarówno główne jak dodatkowe. Przy baterii będącej już dłuższy czas w użytku, ogniwa dodatkowe zachowują się inaczej niż główne, skutkiem tego, że nie są wyładowywane normalnie, tak jak główne, lecz w mniejszym stopniu i to im są dalej od głównych, tem mniej pracują. Dlatego przy próbie można je wyłączyć — o ile coś innego nie jest przepisane — i zbadać tylko pojemność ogniw głównych.

Najlepiej jest odbywać próbę wyładowania w takich warunkach, aby być niezależnym od reszty urządzenia, któremu bateria służy, t. j. aby bateria pracowała wtedy na sztuczny opór (drutowy lub wodny), a nie na sieć. Wtedy nie trzeba się liczyć z napięciem użytecznym w sieci, lecz brać je takie, jakie się dostaje z wszystkich ogniw na początku i na końcu wyładowania. Próba ładowania musi być zawsze niezależna od sieci, t. j. nie można wówczas odbierać prądu z baterji; uwagi odnoszące się do ogniw dodatkowych stosuje się i tutaj.

Próbie rozpoczyna się zwykle od wyładowania; bezpośrednio przedtem powinna być bateria dobrze naładowana. Po próbie wyładowania musi nastąpić od razu próba ładowania, gdyż akumulatorów nie można długo zostawiać w stanie wyładowanym. Jeżeli przeprowadza się najprzód próbę ładowania, to wyładowanie musi nastąpić bezpośrednio potem, ponieważ część prądu może uciec z baterji skutkiem wadliwej izolacji.

Próbie odbywa się w ten sposób, że co pewien czas mierzy się natężenie prądu, napięcie na baterji i gęstość kwasu. Przy rozpoczynaniu i kończeniu próby ładowania czy wyładowania robi się częstsze odczyty (co 2—5 min.), gdyż wtedy napięcie się zmienia dość szybko, w środku napięcie się ustala i wystarczy odczytywać co 5—10 lub 15 minut. Przyrządy użyte przy próbie powinny być precyzyjne.

Czas wyładowania liczy się od chwili zaczęcia pomiaru aż do chwili kiedy napięcie jednego ogniwa spadnie do 1,8 V; czas ładowania — od zaczęcia próby do chwili, gdy napięcie przestanie się podnosić i wszystkie ogniwa intenzywnie gazują. Czasem firmy przepisują ściśle górną granicę napięcia, do której ma się dojść przy próbie ładowania. Jeżeli nic nie jest powiedziane, to najlepiej przyjąć punkt przegięcia krzywej ładowania, gdy napięcie zaczyna się ustalać. Czas użyty poza temi granicami nie wchodzi już w rachubę.

Natężenie prądu należy utrzymywać zawsze na tej samej wysokości i to przepisanej przez fabrykę. Zwykle przy wyładowaniu bierze się natężenie prądu odpowiadające 3-godzinnemu wyładowaniu, a przy ładowaniu takie same lub najdogodniejsze przepisane przez fabrykę. Często należy powtórzyć próbę przy różnych natężeniach i różnych czasach wyła-

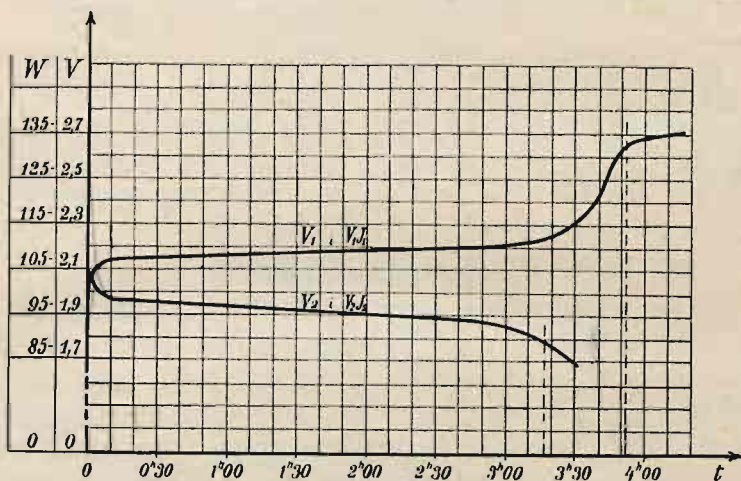
akum. Edisona

$V_{max} = 1,52$
 $V_{str.} = 1,252$

dowania. Absolutną miarą dobroci może być tylko próba, przy której natężenie prądu ładowania i wyładowania jest równe.

Napięcie mierzy się — jak powiedziano — zwykle albo na całej baterii, albo tylko na ogniwach głównych. Jeżeli bateria jest w dobrym stanie, to wystarczy wziąć kilka lub kilkanaście dowolnych, ze sobą bezpośrednio połączonych, ogniw i na nich mierzyć napięcie. Przez podzielenie odczytanego napięcia przez liczbę ogniw, otrzymuje się napięcie jednego, według którego określa się czas trwania próby.

Przy obliczaniu całego napięcia baterii trzeba uwzględnić także ewent. spadek napięcia w przewodach doprowadzających prąd do oporu obciążającego, jeżeli, jak to zwykle się dzieje, bateria jest ustawiona z dala od voltmetru. Ten spadek napięcia dodaje się do całego napięcia wskazanego przez voltmetr i dopiero tę wartość dzieli się przez liczbę ogniw. Pod-



Rys. 118.

czas próby nie można dodawać ogniw dodatkowych, jeżeli n. p. wyładowuje się baterię na sieć, gdzie trzeba utrzymywać stałe napięcie, lecz trzeba zachowywać zawsze tę samą liczbę ogniw, gdyż w przeciwnym razie ogniwa dodatkowe, niewyładowane, zwiększają napięcie*).

*) Na to należy zwrócić uwagę, gdyż firmy akumulatorowe lubią często tak postępować.

Gęstość kwasu daje także pewien obraz przebiegu ładowania i wyładowania. Przy wyładowaniu gęstość kwasu spada prawie linijnie z czasem, a przy ładowaniu rośnie. Różnice w gęstości kwasu wahają się w granicach ok. 3%. Gęstość mierzy się areometrem w stopniach absolutnych lub $B^{m\epsilon}$. Zwykle bada się tylko jedno lub kilka ogniw, po poprzednim sprawdzeniu, czy gęstość kwasu jest w wszystkich ogniwach jednakowa.

Pojemność oblicza się mnożąc liczbę otrzymanych każdorazowo amperów lub watów przez czas, jaki minął od poprzedniego odczytu. Suma otrzymanych w ten sposób wartości daje odrazu pojemność w amperminutach lub wattminutach, które później przelicza się na ampergodziny lub kilowattgodziny. Do tego samego wyniku można dojść przez wykreślenie krzywej amperów lub watów w funkcji czasu i splanimetrowanie jej powierzchni w granicach czasu, odpowiadającego napięciu początkowemu i końcowemu przy ładowaniu i wyładowaniu.

Stosunek otrzymanej w ten sposób pojemności wyładowania i ładowania jest wydajnością baterii.

Na *rys. 118.* przedstawiony jest przebieg ładowania i wyładowania akumulatora o (trzygodzinnej) pojemności 150 *a/g*, przy 50 *A* prądu wyładowania. Ponieważ prąd był stały (50 *A*), przeto krzywe podają przebieg napięcia i mocy. Granice czasu ładowania i wyładowania są kreskowane.



PIP.251

Spis rzeczy.

| | Str. | | Str. |
|-----------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------|--------|
| Akumulatory | 203 | Hopkinsona jarzmo | 153 |
| Ampermetr, cechowanie | 133 | Hystereza, wyznaczenie | 149 |
| Andersona, metoda (indukcja) | 74 | Ilość światła | 180 |
| Blask | 181 | Indukcja | 64 |
| Błąd graniczny | 3, 5 | Interpolacja | 15 |
| " izolacji | 172 | Izolacja | 166 |
| " średni | 4, 6 | Izolatory | 143 |
| " stały | 2 | Kirchhoffa mostek | 26 |
| " zmienny | 2 | Kohlrauscha metoda (opór ogniwa) | 206 |
| Błędy | 2 | Kohlrauscha mostek | 27 |
| " , wyrównywanie | 5 | Köpsla przyrząd | 154 |
| Du Bois Reymonda metoda (siła elektromotoryczna) | 61 | Krzywe magnetyczne, wyznaczenie | 149 |
| Bunsena fotometr | 183 | Lampy łukowe, badanie | 193 |
| Charakterystyka łuku świetl- nego | 193 | " żarowe, " | 186 |
| Charakterystyki żarówek | 191 | Lumen | 180 |
| Ciek świetlny | 180 | Lummera i Brodhuna fo- tometr | 183 |
| Clarka metoda (siła elektro- motoryczna) | 63 | Ławka fotometryczna | 187 |
| Czas wahnienia galwanometru | 125 | Magnetometr | 151 |
| Czułość układu | 4 | Magnetyczne własności, badanie | 147 |
| Dekrement logarytmiczny | 124 | Mance'a metoda (opór ogniwa) | 205 |
| Drut mierniczy, cechowanie | 130 | Matthiessena i Hockina metoda (opór) | 35 |
| Elektrometr | 53 | Maxwella metoda (pojemność) | 88 |
| Epsteina przyrząd | 160 | " " (indukcja) | 67, 71 |
| Fotometry | 183 | Metoda dwóch wattmetrów | 103 |
| Fotometrya | 179 | " jednego wattmetru (jednoprąd) | 97 |
| Frischa metoda (opór izolacji) | 169 | Metoda jednego wattmetru (trójprąd) | 101 |
| Galwanometr balistyczny | 118 | Metoda odchyłowa | 1 |
| " , pomiar prądu | 48 | " równych odchyłeń | 1 |
| " różnicowy | 28, 39 | | |
| " statyczny | 111 | | |

| | Str. | | Str. |
|----------------------------------------------|----------|--------------------------------|------|
| Metoda trzech ampermetrów | 101 | Sekometr | 84 |
| „ „ voltmetrów | 100 | Siła elektromotoryczna | 53 |
| Metody pomiarów | 1 | Spirala bismutowa | 155 |
| Miernik, cechowanie | 135 | Spółczynnik indukcji wzajemnej | 78 |
| Moc | 95 | „ mocy | 108 |
| „ jednoprządu | 97 | „ samoindukcji | 64 |
| „ prądu stałego | 95 | „ temperatury | 142 |
| „ trójprądu | 101 | Stała balistyczna galvano- | |
| Möllingera przyrząd | 163 | metru | 123 |
| Murraya metoda (izolacja) | 173 | Stała dielektryczna | 145 |
| Najlepsze warunki pomiaru | 12 | „ miernika | 136 |
| Naświetlenie | 181 | „ statyczna galwanometru | 115 |
| Natężenie prądu | 46 | Stratność | 159 |
| „ światła | 179, 182 | Straty w żelazie | 159 |
| Ochronniki, uziemienie | 178 | Światło rurkowe | 200 |
| Ogniwa pierwotne | 203 | Świeca | 179 |
| Ohma metoda (opór ogniwa) | 203 | Thomsona metoda (pojemność) | 93 |
| Opór izolacji | 167 | „ „ (opór) | 37 |
| „ ogniw | 203 | „ „ (opór galw.) | 112 |
| „ uziemienia | 176 | „ waga | 49 |
| „ właściwy ciał stałych | 139 | Tłumienie galwanometru | 126 |
| „ właściwy cieczy | 141 | Trwałość świecenia łukówek | 199 |
| „ „ izolatorów | 143 | „ „ żarówek | 192 |
| Opornice, cechowanie | 128 | Ulbrichta fotometr | 185 |
| Opory cieczy | 44 | Uziemienia stan | 176 |
| „ małe | 35 | Voltametr | 48 |
| „ średnie | 21 | Voltmetr, cechowanie | 132 |
| „ wielkie | 40 | Waga magnetyczna | 151 |
| Permeametr Thomsona | 151 | Wattmetr, cechowanie | 132 |
| Poggendorffa metoda (siła elektromotoryczna) | 58 | Webera fotometr | 184 |
| Pojemność | 86 | Wheatstone'a mostek | 21 |
| Proporcjonalność odchylenia | 118 | Wiecherta metoda (uziemi- | |
| Przewodnictwo | 139 | nie) | 177 |
| Przewodniki | 139 | Wykazy | 16 |
| Regulowanie lamp łukowych | 198 | Wykresy | 16 |
| Remingtona metoda (indukcja) | 73 | Wyrównywanie błędów | 5 |
| Richtera przyrząd | 164 | Wyświetlenie | 181 |
| Rousseau wykres | 197 | Wzory skrócone | 14 |
| Sauty'ego metoda (pojemność) | 91 | Zwarcie przewodów | 175 |
| Ścinanie | 148 | „ z ziemią | 173 |

Oznaczenia.

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p> <i>A</i> — amper <i>F</i> — farad <i>H</i> — henry <i>L_m</i> — lumen <i>L_x</i> — lux <i>S</i> — świeca <i>V</i> — volt <i>W</i> — watt <i>Ω</i> — ohm <i>B</i> — blask <i>C</i> — pojemność <i>c</i> — stała <i>c_b</i> — stała balistyczna <i>D</i> — siła kierująca <i>E</i> — siła elektromotoryczna (wartość skuteczna) <i>e</i> — siła elektromotoryczna (wartość chwilowa) <i>f</i> — współczynnik przebiegu krzywej <i>G</i> — opór galwanometru <i>J</i> — natężenie prądu (wartość skuteczna) <i>i</i> — natężenie prądu (wartość chwilowa) <i>K</i> — współczynnik tłumienia <i>k</i> — stosunek tłumienia <i>k</i> — elektrochemiczny równoważnik <i>L</i> — długość <i>L</i> — naświetlenie <i>L_i</i> — wyświetlenie <i>M</i> — moment <i>n</i> — częstość okresów <i>n</i> — liczba zwojów <i>P</i> — moc <i>p</i> — moc chwilowa </p> | <p> <i>p</i> — moc stracona <i>p_h</i> — moc stracona skutkiem histerezy <i>p_w</i> — moc stracona skutkiem prądów wirowych <i>p_z</i> — moc stracona w żelazie <i>Q</i> — ilość elektryczności <i>Q_s</i> — ilość światła <i>q</i> — przekrój <i>R</i> — opór <i>R_a</i> — opór ampermetru <i>R_i</i> — opór izolacji <i>R_k</i> — opór krytyczny <i>R_v</i> — opór voltmetru <i>r</i> — opór (mały) <i>S</i> — natężenie światła <i>S_h</i> — natężenie światła poziome <i>S_p</i> — natężenie światła przestrzenne <i>S_{pp}</i> — natężenie światła półprzestrzenne <i>S_{ppd}</i>, <i>S_{ppg}</i> — natężenie światła półprzestrzenne dolne, górne <i>S_v</i> — natężenie światła pionowe <i>T</i> — czas wahnienia <i>T₀</i> — czas wahnienia bez tłumienia <i>t</i> — czas <i>V</i> — napięcie (wartość skuteczna) <i>v</i> — napięcie (wartość chwilowa) <i>X</i>, <i>x</i> — wielkość niewiadoma, badana <i>Z</i>, <i>z</i> — ilość zwojów <i>B</i> — indukcja <i>S</i> — natężenie pola magn. <i>S_i</i> — natężenie pola od magnesującego </p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| \mathcal{L} — współczynnik samoindukcji | η — współczynnik strat skutkiem histerezy |
| \mathcal{M} — współczynnik indukcji wzajemnej | \varkappa — stała dielektryczna |
| α — kąt, odchylenie | Λ — dekrement log. nat. |
| α_1 — kąt, pierwsze odchylenie balistyczne | λ — dekrement log. brig. |
| α — współczynnik temperatury | λ — przewodnictwo |
| β — współczynnik strat skutkiem prądów wirowych | μ — przenikliwość |
| Δ — błąd (średni) | Φ — ciek |
| Δ_v — błąd graniczny | Φ_s — ciek świetlny |
| δ — grubość | φ — kąt przesunięcia fazy |
| η — wydajność | ρ — opór właściwy |
| | ρ — opór ogniwa |
| | Θ — moment bezwładności. |



nr. 251