

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

pod naczelnym kierunkiem prof. M. POŻARYSKIEGO.

Rok XIII.

1 Sierpnia 1931 r.

Zeszyt 15.

Redaktor inż. WACŁAW PAWŁOWSKI

Warszawa, Czackiego 5, tel. 690-23.

SPÓŁCZESNE KIERUNKI ROZWOJU TECHNIKI ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA.

Prof. M. Pożaryski.

Wartość źródeł światła oceniamy podług sprawności i rodzaju oświetlenia, które one dają.

Najlepsze źródło światła musi mieć najwyższą sprawność i promieniowanie jego musi być najlepiej przystosowane do wymagań życia.

Sprawność źródeł światła wyraża się strumieniem świetlnym w lumenach na jeden wat mocy prądu, pobierany przez źródło światła z sieci zasilającej je energią. Miara mocy prądu nie wymaga tu żadnych uwag. Omówimy natomiast miarę strumienia świetlnego.

Przedewszystkiem więc uprzątnijmy sobie pojęcie strumienia światła. Wiąże się ono niewątpliwie z energią elektromagnetyczną promieniowania. Pamiętać jednak należy, że źródła światła wysyłają fale elektromagnetyczne o bardzo rozległej skali, natomiast tylko wąski zakres fal, których długość wynosi od 0,41 do 0,72 μ *) ma zdolność oddziaływania na oko ludzkie, wywołując wrażenia świetlne.

Natężenie tych wrażeń świetlnych nie jest jednakowe dla wszystkich fal w powyższym zakresie. Najsilniejsze wrażenia świetlne otrzymujemy od fal elektromagnetycznych około 0,55 μ , fale dłuższe i krótsze w miarę oddalania się od powyższej wartości działają coraz słabiej. Wyrażając się ściślej, powiemy, że natężenie wrażeń świetlnych, wywoływanych w oku przez pewną ilość energii promieniowania elektromagnetycznego, dostarczaną do oka w określonym czasie, jest zależne od długości fali elektromagnetycznej. Wobec tego mierzenie energii fal elektromagnetycznych nie może zastąpić pomiaru światła jako czynnika, którego ilość jest wskaźnikiem natężenia wrażeń świetlnych, stanowiących cel oświetlenia.

W ten sposób powstaje konieczność stworzenia koncepcji odrębnej, — „promieniowania świetlnego”, którego miara jest oparta na ludzkich wrażeniach świetlnych.

Podstawą definicji każdej nowej wielkości jest przedewszystkiem określenie pojęcia wielkości równych. Fotometria przyjmuje jako pewnik, że dwa źródła światła wysyłają w jednostkę czasu na jednostkę kąta bryłowego jednakowe ilości światła, gdy ustawiane w jednakowej odległości od pew-

nego ekranu dają na nim oświetlenia, które oko nasze ocenia jako równe.

Powyższe określenie wystarcza jednak tylko wtedy, gdy porównujemy źródła jednobarwne.

Dla porównania światel różnobarwnych są inne kryteria, które zresztą równie dobrze mogą być zastosowane do jednobarwnych.

Fotometria ustaliła dwa sposoby definicji równości ilości światła.

Według pierwszej biały ekran, na którym są czarne litery różnej wielkości od największych do najmniejszych, uważamy za oświetlany jednakowo silnie, gdy granica małości liter — jeszcze odczytanych — będzie jednakowa. Inny sposób porównania ilości światła polega na zastosowaniu ekranu wirującego, który naprzemian oświetlany bywa to z jednego, to z drugiego źródła. Patrząc na taki ekran, mamy wrażenie migania światła, przy pewnej jednak dość znacznej szybkości wirowania miganie ustaje, widzimy światło jednostajne barwy mieszanej. Zmieniając oświetlenie z jednej strony, spostrzegamy, że ta graniczna szybkość, przy której miganie ustaje, zmienia się.

Mówimy więc, że ilości światła, padające z obu stron, są jednakowe, gdy graniczna szybkość wirowania będzie minimalna. Porównywanie między sobą powyższych dwóch definicji stwierdza, że w granicach dokładności doświadczenia są one identyczne.

Po za definicją równości potrzebna jest jeszcze definicja wielokrotności.

Przy pomiarach fotometrycznych przyjmujemy bez zastrzeżeń postulat prostolinijnego rozchodzenia się światła.

Dwa różne światła ustawiamy od ekranu na takiej odległości, aby ten sam ekran przez oba był jednakowo oświetlony. Mówimy wtedy, że w pierwszym źródle przypada na jednostkę kąta bryłowego tyle razy więcej światła, niż w drugim, ile razy pierwsze źródło stoi dalej od ekranu, niż drugie, w kwadracie.

Jeżeli ten sposób definicji wielokrotności porównamy z definicją wielokrotności energii promieniowania, to łatwo spostrzeczemy, że będą to definicje identyczne. Stąd wniosek, że ilość światła jest proporcjonalna do ilości energii dla danego rodzaju promieniowania.

*) 1 μ — jeden mikron = 10^{-3} mm

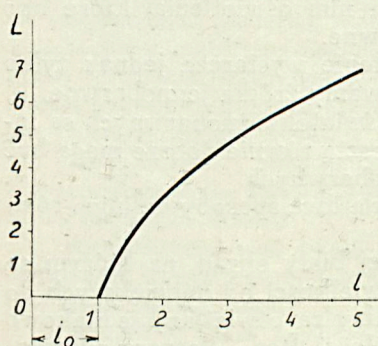
A więc i wrażenia świetlne winnyby się wzmacniać proporcjonalnie do ilości energii promieniowania; doświadczenie jednak tego nie potwierdza.

W przyrodzie panuje prawo Fechner'a, według którego

$$L = A \log \frac{i}{i_0},$$

gdzie L — natężenie wrażenia świetlnego, A — stały współczynnik, i — natężenie światła, działającego na oko, i_0 — najmniejsze natężenie światła, przy którym dopiero zaczynamy odczuwać wrażenie świetlne. Na wykresie to prawo wyraża się tak, jak pokazano na rys. 1.

Wobec takiej zależności wrażeń świetlnych od natężenia światła, wyniki pomiarów fotometrycznych strumienia świetlnego mogą mieć znaczenie praktyczne dla techniki oświetleniowej tylko przy oświetleniach o natężeniu średnim, gdy można



Rys. 1.

przyjąć w przybliżeniu, że natężenie wrażeń świetlnych jest proporcjonalne do ilości światła.

Powyższe postulaty wzięto jako podstawę przy ustalaniu jednostek miary światła.

Podstawową wielkością, jak wiadomo jest ilość

światła, wybiegająca ze źródła w pewnym kierunku w ciągu jednej sekundy w jednostce kąta bryłowego, którą nazywamy natężeniem światła lub światłością. Za jednostkę dla tej wielkości wybrano świecę międzynarodową = 1,11 świecy hefnerowskiej.

Drugą wielkością, charakteryzującą źródła światła, jest strumień świetlny, który wyraża ilość światła, wypromieniowaną przez źródło w jednostkę czasu. Jednostką miary strumienia świetlnego jest lumen, który określamy jako strumień świetlny, przypadający na jednostkę kąta bryłowego i wybiegający ze źródła światła, mającego natężenie we wszystkich kierunkach jednakowe, równe jednej świecy. Lumen bywa hefnerowski i międzynarodowy.

Po ustaleniu miar dla oceny doskonałości źródeł światła ważną jest sprawą określenie mechanicznego równoważnika światła.

Z szeregu najbardziej miarodajnych prac ostatniej doby, za mechaniczny równoważnik światła przyjmujemy:

$$0,00145 \pm 5\%$$

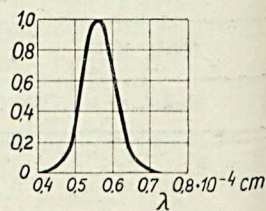
w a t ó w na l u m e n dla światła jednobarwnego o długości fali: $\lambda = 0,555 \mu$.

Jest to długość fali, na którą oko ludzkie, przy średnim natężeniu światła jest najwrażliwsze. Kolor takiego światła jest zielony. Dla innych barw znajdziemy mechaniczny równoważnik światła, dzieląc powyższą liczbę przez współczynnik wrażliwości oka, który na podstawie licznych doświadczeń został ustalony według postanowienia Mię-

dzynarodowej Komisji Techniki oświetleniowej na zebraniu w Genewie w 1924 r. w zależności od długości fali światła i wyrażony w postaci wykresu na rys. 2.

Spółczynnik ten oczywiście równa się jedności dla $\lambda = 0,555$, a dla innych fal zawiera się w granicach od 1 do 0.

Powyższy wykres przyjęty został dla średnich natężeń światła, stosowanych w praktyce oświetleniowej.



Rys. 2

Jeżeli wziąć pod uwagę bardzo słabe natężenia światła, to maksimum wrażliwości oka wypadnie dla fal o długości $\lambda = 0,511 \mu$, — kolor niebiesko-zielony, a dla bardzo silnego natężenia światła maksimum wrażliwości oka wypadnie dla fal o długości $\lambda = 0,565 \mu$, — kolor żółty.

Charakter ogólny wykresu rys. 2 pozostaje bez zmiany, zmienia się tylko położenie względem skali długości fal.

Z powyższych własności promieniowania świetlnego wynika, że najsprawniejszym źródłem światła przeciętnie biorąc, będzie takie, które wysyła jedynie promienie zielone. Jeżeliby to źródło nie wysyłało energii pod żadnymi innymi postaciami, to sprawność jego świetlna wynosiłaby 690 lumenów na wat*), sprawność zaś energetyczna byłaby — 100%.

Jest to więc granica, do której dążymy; jesteśmy jednak od niej jeszcze bardzo daleko.

Badając sposoby wywoływania promieniowania świetlnego, przekonujemy się, że mamy ich dwa. Pierwszy, najdawniej używany, polega na podnoszeniu temperatury ciał promieniujących.

Według spóczesnych wyobrażeń, wielkie szybkości cieplnych drgań cząsteczek powodują przyrost energii wewnętrznej atomów, który następnie wyładowuje się w postaci promieniowania. Drugi sposób polega na dostarczaniu energii bezpośrednio do wnętrza atomów, bez zwiększania szybkości drgań cieplnych, a tem samem, bez podwyższania temperatury. W odpowiednich okolicznościach atomy następnie tracą ten nadmiar energii przez promieniowanie.

Gdy promieniuja cząsteczki gorące, to zakres długości fal promieniowania jest niezmiernie szeroki, wtedy dużo jest energii świetlnej nieczynnej, po za tem ciało świecące traci energię innymi drogami, — przez unoszenie i przez przewodność cieplną.

Natomiast atomy, pobudzone do świecenia energią elektromagnetyczną, która przenika do ich wnętrza i nie stanowi ciepła, inaczej nie mogą stracić energii, jak tylko przez promieniowanie. Gdy dobierzemy odpowiednią strukturę atomu i odpowiedni rodzaj energii pobudzającej, to daje się otrzymać promieniowanie o pożądanej długości fali.

Z tego rozumowania wynikałoby, że sprawniejszych źródeł światła należy się spodziewać wśród ciał promieniujących światło przy niskiej tempera-

*) $690 = \frac{1}{0,00145}$

turze. Spółczesna jednak technika oświetleniowa, jak zobaczymy dalej, nie potwierdza na razie tych wniosków teoretycznych.

Nie umiemy jeszcze wprowadzać do wnętrza atomów energii w ten sposób, aby po drodze nie albo przynajmniej mało tracić.

Badając współczesne najsprawniejsze źródła światła, musimy stwierdzić, że są one pobudzane do świecenia jednocześnie przez podwyższenie temperatury cząsteczek i zwiększenie energii wewnętrznej atomów.

Jedno i drugie osiągamy zapomocą prądu elektrycznego. Światło od wysokiej temperatury jest tem zwykłym światłem, z którego człowiek korzysta od wieków, światło z elektryczności pobudzonych atomów stanowi zdobycz czasów ostatnich; jest to tak zwana elektroluminiscencja.

Żarówki. Główny postęp w dziedzinie żarowych źródeł światła polega na udoskonaleniu wyrobu drutu wolframowego, któremu zdolano nadać wielką wytrzymałość mechaniczną i zdolność usztynienia się przy wysokich temperaturach*).

Dla oświetlenia lotnisk i przy zdjęciach filmów kinematograficznych znalazły zastosowanie lampy żarowe ołbrzymie na 10 000, 20 000, a nawet ostatnio sporządzona przez fabrykę Tow. Osram lampa na 50 000 W.

Porównyując temperatury żarzących się drucików w lampach różnej mocy**), spostrzegamy, że im większa jest moc lampy, tem wyższa temperatura.

Zwykłe lampy, wypełnione gazem, przy mocy od 50 do 2 000 watów mają temperaturę drucika od 2685° do 3020° stopni skali bezwzględnej. Lampy do projekcji i t. p. wielkiej mocy mają jeszcze wyższe temperatury drucika. Dla mocy 1000 watów — 3185°, a dla mocy 10 000 i 30 000 watów — 3350°.

Przez ogrzanie do coraz wyższej temperatury osiąga się, jak wiadomo, przesunięcie maksimum promieniowanej energii do fal coraz krótszych, bliższych do fal świetlnych, przez co zwiększa się sprawność lampy.

Maksimum energii wypromieniowanej przez żarzące się ciało w falach najczynnijszych pod względem świetlnym będzie dopiero przy temperaturze około 5000° stopni skali bezwzględnej, jednak nawet przez niewielkie podwyższenie temperatury żarzącego się drucika daje się osiągnąć znaczne zwiększenie sprawności świetlnej.

Gdy zwykłe lampy żarowe, napełnione gazem, 50 watowe mają sprawność 10 lumenów na wat, lampy 2000 watowe już dają 21 lumenów na wat, a wielkie lampy do naświetlań kinematograficznych, pobierające moc 30 000 watów, wypromieniowują 31 lumenów na wat.

Przy tych bardzo wysokich temperaturach odbywa się oczywiście dość znaczna sublimacja wolframu, którego cząsteczki osiadają na ściankach szklanej bańki. Taki osad znacznie pochłania promienie, to też dla okresowego zesuwania jego, po-

zostawia się wewnątrz bańki odpowiedni proszek, za pomocą którego przez poruszanie lampą można osad wolframowy zetrzeć.

Dla zmniejszenia bardzo znacznego promieniowania cieplnego takich lamp bywają stosowane filtry płynne, pochłaniające promieniowanie w zakresie fal, znajdujących się po za widmem świetlnym.

Lampy łukowe, pomimo skomplikowanej budowy i trudniejszej obsługi, znajdują jeszcze zastosowanie.

Udoskonalenia lamp łukowych z węglowymi elektrodami idą w dwóch kierunkach. Przedewszystkiem powiększenie gęstości prądu w elektrodach, a przez to podniesienie temperatury łuku, który teraz daje główną część strumienia świetlnego, gdyż niemal wyłącznie stosują się węgle, obficie nasycane solami.

Jako dowód stosowania bardzo wysokich gęstości prądu, przytaczamy tablicę z poprzednio cytowanego dzieła angielskiego.

Prąd w A	Średnica węgla dodat. w mm	Średnica węgla ujemnego w mm
60	9	8
75	11	9
100	13,6	10
150	16	11

Obok tego przedmiotem postępu jest obmyślenie takich kloszy, które, zamykając łuk w niewielkiem naczyńiu i utrudniając spalanie się węgli, jednocześnie, przynajmniej w najważniejszych miejscach, pozostają przezroczyste.

W Europie najnowsze lampy łukowe tego typu znane są pod nazwą Dia - Carbon. Przy świetle żółtem mają one sprawność 27 lumenów na wat, gdy są zasilane prądem stałym, i 25 lumenów na wat przy prądzie zmiennym.

Jeżeli zastosować do nasycenia węgla sole, które łącznie dają światło, zbliżone do białego, to wobec mniejszego równoważnika mechanicznego takiego światła sprawność lampy spada mniej więcej do 21 lumena na wat dla prądu stałego i zmiennego.

Lampy łukowe z elektrodami wolframowymi w bańkach szklanych, wypełnionych gazem małej prężności, w ostatnich czasach przybrały postać bardziej praktyczną. Jako gaz, wypełniający bańkę, stosuje się azot pod ciśnieniem 75 mm słupa rtęci. Na zimno elektrody dotykają się. Łuk tworzy się skutkiem odsuwania się elektrod pod wpływem ciepła, wytworzonego przez prąd, gdyż jedna elektroda umocowana jest na sprężynce, sporządzonej z dwóch metali o różnym współczynniku rozszerzalności cieplnej. Świecą przedewszystkiem elektrody, jaskrawość ich światła wynosi od 2 000 do 3 000 świec na cm². Prąd od 2 do 7,5 ampera. Napięcia — normalne. Trwałość — 200 do 300 godzin. Głównie zastosowanie lampy te znajdują zawsze jako źródła światła do małych aparatów projekcyjnych, do badań naukowych i technicznych, np. mikroskopowych.

Lampa łukowa rtęciowa ma konkurenta w postaci lampy t. zw. łukowo - słonecznej Mathies-

*) B. Buschnitz. Die gründlegenden Verfahren der Glühlampen - Leuchtdrahttechnik. ETZ. 1929 r., str. 1049.

**) L. B. W. Jolley, I. M. Waldram, G. H. Wilson. The theory and design of illuminating Engineering equipment. 1930 r. str. 76.

n a*). W tej lampie tworzy się łuk pod napięciem 100 woltów pomiędzy poziomymi elektrodami węglowymi z knotem, nasycenymi solami wolframu lub żelaza. Łuk jest zamknięty w naczyniu metalowym, mającym postać walca z żeberkami do chłodzenia. Walec ten z jednej strony równolegle do osi ma podłużną wąską szczelinę do przepuszczania światła. W tych warunkach długość łuku wynosi od 5 do 6 cm, węgle spalają się wolno.

Światło takiej lampy, poza widzialnym widmem ciągłym, ma dość silne widmo nadjłołkowe. Tu promienie wychodzące z łuku przechodzą tylko przez powietrze, więc doznają znikomego pochłaniania i mogą być czynniejsze od promieni innych lamp, służących do naświetlania.

W porównaniu do zwykłej kwarcówki rtęciowej mają lampy Mathiesen'a tę wyższość, że w nich promieniowanie nadjłołkowe jest pomieszczone z normalnym białym promieniowaniem świetlnym, tak jak w słońcu.

W dziedzinie wyzyskania jako źródła światła luminiscencji gazów przy niskich temperaturach odbywa się zwrot, prowadzący do znacznego zwiększenia gęstości prądu, a skutkiem tego podniesienia temperatury, przez co zatracą się charakter czystej elektroluminiscencji, a przy tem powstają straty energii skutkiem promieniowania cieplnego i innych dróg uchodzenia ciepła. Pomimo to jednak w ten sposób udaje się uzyskać lepszą sprawność tych źródeł światła**).

Dawne rury neonowe przy śred. 8 mm i długości od 1,5 do 2 m, zasilane prądem 0,012 A przy 1500 W, miały sprawność od 12 do 18 lumenów na wat. Obecnie przez zwiększenie gęstości prądu i wprowadzeniu do rury pary sodu, udało się uzyskać 50 lumenów na wat.

*) ETZ. 1931 r. str. 271.

**) ETZ. 1930 r. str. 889.

Sposób zwiększania gęstości prądu przy jednoczesnym obniżeniu napięcia, polega na zastosowaniu żarzonej katody, mającej w swym składzie związki alkaliczne. Tego rodzaju katody nie wywołują prawie zupełnie katodowego spadku napięcia, który przy zwykłych katodach stanowi większą część całego napięcia na elektrodach. Po za tem żarzenie katody znacznie sprzyja obniżeniu napięcia, potrzebnego do przeprowadzenia odpowiedniego prądu.

W wykonaniu amerykańskim katoda ma kształt puszeki okrągłej, wykonanej z blachy niklowej, pokrytej tlenkami metali alkalicznych. Wewnątrz tej puszeki jest grzejnik w postaci spiralki, żarzonej prądem.

W Niemczech katoda, sporządzona z mieszaniny metalu i tlenków, żarzy się sama pod wpływem prądu, płynącego przez gaz czy parę.

Wszystkie rury świecące mają wewnątrz przynajmniej jako domieszkę którykolwiek z gazów szlachetnych, — neonu, helu czy argonu, które łatwiej znacznie jonizują się od innych i nie są pochłaniane przez elektrody.

Wszystkie gazy chemicznie czyste pierwiastki przy elektroluminiscencji dają światło barwne, a widmo linjowe — zwykle z kilku linjami wybitnie jaskrawymi.

Tego rodzaju światło kolorowe może mieć oczywiście zastosowanie tylko do celów specjalnych.

Dla ogólnego oświetlenia potrzebne jest światło białe.

Takie światło daje elektroluminiscencja dwutlenku węgla. Niestety rury z dwutlenkiem węgla muszą być zaopatrywane w urządzenia samoczynne, uzupełniające zawartość gazu w rurach, gdyż gaz ten jest stale pochłaniany przez rozpylające się elektrody.

Sprawność świecących rur z dwutlenkiem węgla jest niewysoka. Wynosi ona zaledwie od 3 do 5 lumenów na wat.

ZALEŻNOŚĆ SPÓŁCZYNNIKA WYZYSKANIA ELEKTROWNI OD SYSTEMU TARYFOWEGO.

Inż. I. Krymko.

Kwestja zwiększenia współczynnika wyzyskania jest dla elektrowni sprawą pierwszorzędnej wagi. Z zagadnieniem tem wiąże się możliwość wyzyskania całkowitej mocy maszyn w ciągu doby, a tem samem szybsza amortyzacja kapitału i odpowiednia kalkulacja ceny prądu. Jest to możliwe jedynie przy zwiększeniu i racjonalnem zużyciu energii elektrycznej.

Spółczynnik wyzyskania — to stosunek:

$$\frac{\text{wyprodukowana rocznie ilość kWh}}{\text{moc zainstalowana kW} \times 8760 \text{ godz. (rocznie)}} = n,$$

Spółczynnik ten zbliża się do jedności wówczas, gdy wykres obciążenia dziennego w ciągu roku jest jednostajny bez wzniesień i spadków i blis-

ki granicy mocy rozporządzałnej. Środkiem do uzyskania takiego wykresu jest wybór odpowiedniego systemu taryfowego. Taryfa winna być tak obrana, by skłaniała odbiorcę do najbardziej wszechstronnego użytkowania prądu elektrycznego w ciągu całej doby. Przy dotychczasowym systemie czysto licznikowym, t. j. przy opłacie za każdą kWh, uzyskanie tego nie można i w rezultacie otrzymujemy współczynnik wyzyskania od 0,06 do 0,35 — 0,40. Przeciętnie dla elektrowni miejskich współczynnik ten waha się około 0,2. Liczby wyższe dotyczą nielicznych elektrowni, posiadających takich odbiorców, jak zakłady chemiczne kopalnie, cukrownie, niektóre gałęzie przemysłu i t. p., korzystające z prądu w ciągu całej doby. Bardziej korzystnie