

Podobna sytuacja będzie, gdy przedmiot P znajduje się odpowiednio daleko od układu i jego położenia nie będzie miało wpływu na natężenie oświetlenia w płaszczyźnie obrazu (p. 2.7.4). Jeżeli obraz źródła światła będzie mniejszy niż powierzchnia niezależnego sygnału, to zbliżenie przedmiotu do układu spowoduje wzrost powierzchni obrazu źródła, a tym samym wzrost reakcji, ale tylko do momentu, gdy osiągnięte zostanie $S_p' = S_0$. Dalsze przysuwanie przedmiotu nie tylko nie zwiększy reakcji, a nawet dla małych odległości przy przekroczeniu warunku stosowności wzoru (2.151), czy (2.152) zgodnie z (2.150) może ją zmniejszyć z uwagi na spadek wartości natężenia oświetlenia E' .

Siatkówka oka jest odbiornikiem analizującym powierzchnię obrazu. Elementami dającymi niezależne informacje są czopki i pręciki. Wymiarowi czopka w obszarze dołka środkowego odpowiada kąt bliski $1'$ i oznacza to, że źródła światła, których wymiar katowy jest mniejszy od tej wartości są uważane za punktowe. W miarę zbliżania się do takiego źródła, powstanie wrażenie wzrostu intensywności świecenia, ale tylko do chwili, gdy jego wymiar katowy osiągnie wartość $1'$. Przy dalszym zbliżaniu światło ze źródła padnie również na sąsiednie elementy światłoczułe, wywołując wrażenie źródła o skończonych wymiarach, ale o stałej luminancji. Pomija się tu wpływ absorpcji i rozproszenia przez atmosferę, które w niektórych warunkach mogą być decydujące. Ponieważ wymiary katowe gwiazd nie przekraczają $0,05''$, to obserwując je przez lunetę wydają się one dla nas dalej źródłami punktowymi, ale o większej światłości w porównaniu z wrażeniem odbieranym przez obserwatora okiem nieuzbrojonym. Natomiast przedmioty, których wymiar katowy dla oka jest większy niż $1'$, wyglądają przez lunetę ciemniejsze, gdyż część promieniowania zostaje pochłonięta i odbita przez elementy układu optycznego. Poza tym źrenica wyjściowa lunety jest najczęściej mniejsza niż średnica źrenicy wejściowej oka, co powoduje jeszcze zmniejszenie kąta aperturowego przesłreni obrazowej układu luneta—oko.

2.7.6. Pomiary energetyczne i fotometryczne

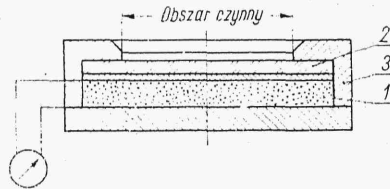
Celem pomiarów jest wzorcowanie przyrządów pomiarowych, odbiorników i źródeł światła oraz wyznaczenie rozkładów energetycznych lub fotometrycznych promieniowania na pewnych powierzchniach. Umożliwia to doświadczalne wyznaczenie ich charakterystyk świetlnych oraz sprawdzenie przeprowadzonych obliczeń. Z uwagi na przeznaczenie książki omówiono tu tylko drugą grupę zagadnień. Informacje o wzorcowaniu można znaleźć w [8] i [12].

Pomiary radiometryczne i fotometryczne różnią się tylko czułością spektralną odbiorników. W pierwszym przypadku odbiornik musi mieć gęstość monochromatyczną reakcji niezależną od długości fali, natomiast w drugim musi się ona pokrywać z czułością spektralną oka. I dlatego pomiary energetyczne przeważnie prowadzone są przy wykorzystaniu własności ciała czarnego i zamiany pochłanianej energii promieniowania na ciepło, natomiast pomiary fotometryczne — przy użyciu odbiorników fotoelektrycznych z absorpcyjnymi filtrami selektywnymi korygującymi ich czułość spektralną do czułości spektralnej oka.

Omówione zostaną tu tylko przyrządy fotometryczne z uwagi na ich powszechne zastosowanie. Wstawiając w miejsce odbiornika fotoelektrycznego bolometr lub termoelement o neutralnej charakterystyce spektralnej otrzymane byłyby w ten sposób przyrządy do pomiarów wielkości ener-

tycznych, a więc natężenia napromienienia, luminancji energetycznej i natężenia promieniowania.

Na rys. 2.104 pokazano przekrój elementu pomiarowego luksomierzy przeznaczonych do pomiaru natężenia oświetlenia. Składa się on z fotoelementu 1, filtrów korekcyjnych 2 i obudowy 3. Światło padające na obszar czynny miernika przechodzi przez filtry korekcyjne i wywołuje re-



Rys. 2.104

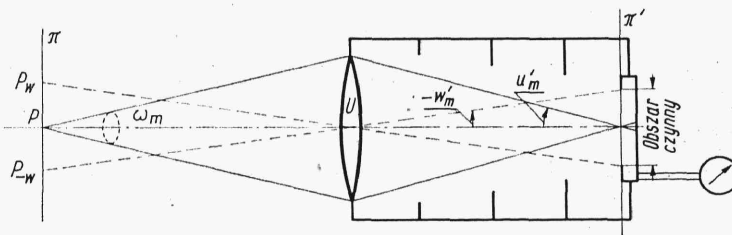
akcję R fotoelementu, która jest miarą natężenia oświetlenia w jego obszarze czynnym

$$R = i\Phi = i \int_S E dS = iSE_{sr} = kE_{sr}$$

gdzie:

- Φ — strumień padający na powierzchnię czynną S fotoelementu,
- i — czułość fotoelementu wyrażona w A/lm,
- E — natężenie oświetlenia w płaszczyźnie pomiarowej,
- E_{sr} — średnia wartość natężenia oświetlenia w obszarze czynnym,
- k — iS — stała przyrządu.

Fotoelement jest połączony przewodami z miernikiem prądu. Wzorcowanie przyrządu polega na wyznaczeniu na stanowisku pomiarowym prądu miernika (reakcji R) w funkcji znanych wartości natężenia oświetlenia, to znaczy wyznaczenia wartości k .



Rys. 2.105

Nitomierzem nazywa się przyrząd do pomiaru luminancji (rys. 2.105). Niech π będzie płaszczyzną, dla której mierzona jest luminancja wokół punktu P . Zasada pracy przyrządu polega na pomiarze natężenia oświetlenia wyżej opisaną metodą w płaszczyźnie obrazu π' danego przez układ U . Na powierzchnię czynną elementu mierzącego powinno padać tylko światło pochodzące z obszaru pomiarowego i stąd konieczność osłonięcia miernika przed światłem padającym z boku. Dodatkowe przysłony zabezpiecza-

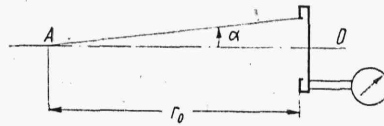
ją przed światłem odbitym od ścianek bocznych przyrządu. Zakładając, że spełnione są warunki stosowalności wzoru (2.148c), wówczas

$$R = i\Phi = i\left(\frac{n'}{n}\right)^2 \pi \tau \sin^2 u'_m \int_S L dS =$$

$$= i\left(\frac{n'}{n}\right)^2 \pi \tau \sin^2 u'_m S L_{sr} = k' L_{sr}$$

gdzie k' — stała przyrządu.

Przez L_{sr} należy rozumieć wartość średnią luminancji dla obszaru $P_w P_{-w}$ płaszczyzny π sprzężonego z powierzchnią czynną S odbiornika. Pominęto dla prostoty wpływ winietowania naturalnego, ponieważ kąt u'_m jest zwykle mały. Jeżeli dla emitującej powierzchni nie jest spełnione prawo Lamberta (np. powierzchnia naświetlana jako bierne źródło światła ma odbicie kierunkowe), wtedy przez L_{sr} należy również rozumieć średnią wartość luminancji w kącie bryłowym ω_m . Ewentualną zmianę współczynnika przepuszczania układu wraz z długością fali można uwzględnić przy doborze filtrów korekcyjnych odbiornika. Wzorcowanie polega na wyznaczeniu doświadczalnym wartości k' przyrządu.



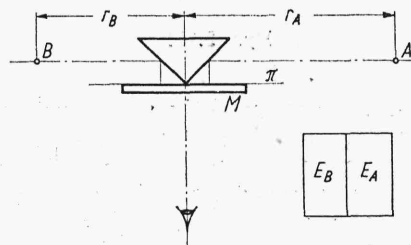
Rys. 2.106

Pomiar światłości źródła, którego wymiary są pomijalnie małe, również realizowany jest przez wyznaczenie natężenia oświetlenia (rys. 2.106): Ustawiając płaszczyznę czynną luksumierza prostopadle do prostej łączącej źródło i środek miernika, dla dostatecznie dużych r_0 , takich aby wpływ kąta α na zmianę natężenia oświetlenia w obszarze czynnym był pomijalnie mały, wtedy zgodnie z (2.131) będzie spełnione

$$I_{AO} = E r_0^2$$

Przez pomiar odległości i natężenia oświetlenia E wyznaczona jest światłość punkowego źródła światła A .

Pomiary wielkości fotometrycznych można przeprowadzić również metodami subiektywnymi z udziałem człowieka jako elementu pomiarowego.



Rys. 2.107

Z uwagi na możliwość przystosowania się (adaptacji) do różnych warunków oświetleniowych nawet szacowanie przez człowieka wielkości bezwzględnych obarczone jest poważnym błędem i dlatego względnie dokładnie może on tylko mierzyć przez porównanie dwóch źródeł. Istotę takiego pomiaru pokazano na rys. 2.107. Niech A będzie wzorcowym źródłem światła o znanej światłości I_A a B źródłem, którego światłość należy wyznaczyć. W płaszczyźnie π płytki matowej M natężenie oświetlenia od obydwu źródeł wyniesie

$$E_A = \varrho_A \frac{I_A}{r_A^2} \quad E_B = \varrho_B \frac{I_B}{r_B^2}$$

gdzie ϱ — współczynnik odbicia powierzchni pryzmatu.

Rola obserwatora sprowadza się do wyrównania natężenia oświetlenia obydwóch części pola widzenia przyrządu przez zmianę jednej z odległości r . Pole widzenia narysowane jest w prawym dolnym rogu rysunku. Wtedy zakładając, że $\varrho_A = \varrho_B$, będzie

$$I_B = I_A \left(\frac{r_B}{r_A} \right)^2$$

Przez pomiar stosunku odległości r_A/r_B wyznacza się światłość źródła B .

Pomiar subiektywny jest szczególnie trudny i mało dokładny, kiedy źródła światła nie mają tej samej barwy, np. źródła termiczne o różnych temperaturach, porównanie źródła promieniowania monochromatycznego ze wzorcem światłości itp. Rośnie wtedy błąd przypadkowy, z uwagi na trudności określania momentu równych natężeń oświetlenia obydwóch pól, poza tym pojawia się błąd systematyczny mający swe źródło w różnicy spektralnej czułości oka poszczególnych osób w stosunku do średniego oka przyjętego przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową. Nie powinny wykonywać pomiarów osoby mające wady widzenia barwnego. Mogą one tylko porównywać źródła o tym samym rozkładzie spektralnym w zakresie widzialnym. Poza tym różne wyniki otrzymane byłyby przy adaptacji osoby mierzącej do ciemności i jasności, ponieważ zmienia się wtedy krzywa czułości spektralnej oka.

Konieczność stosowania źródła odniesienia, wpływ czynnika osobistego i adaptacji, brak możliwości automatyzacji, przesądzają na korzyść pomiarów metodami obiektywnymi, zwłaszcza w zastosowaniach technicznych.

Literatura

1. Cox A.: A System of Optical Design. London 1964. The Focal Press.
2. Born M., Wolf E.: Principles of Optics. Rozdział 5. London 1959, lub 1964. Pergamon Press.
3. Туригин И. А.: Прикладная оптика. Москва 1965 (ч. 1), 1966 (ч. 2). Изд. Машиностроение.
4. Тудоровский А. И.: Теория оптических приборов. т. 1. Москва 1948. Изд. Академии Наук СССР.
5. Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik. t. II, cz. 8. Optische Konstanten, str. 3—509 do 3—542. Berlin 1962. Springer Verlag.
6. Jamieson John A. i inni: Infrared Physics and Engineering. New York 1963. McGraw-Hill Book Company, Inc. (tłum. na ros.).
7. Кругер М. Я. и др.: Справочник конструктора оптико-механических приборов. Ленинград 1968. Изд. Машиностроение.
8. Technika świetlna. Poradnik. Warszawa 1960. PWT.