

LVI OLIMPIADA FIZYCZNA

ZADANIA ZAWODÓW I STOPNIA

CZEŚĆ TEORETYCZNA

Źródła:

- Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
- T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

Zadanie T2

W środku kulistego klosza o średnicy $D = 40$ cm świeci lampa o mocy $P = 13$ W promieniująca izotropowo światło o długości fali $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$. Z odległości $l = 3$ m (licząc od środka klosza do obiektywu) zrobiono kloszowi zdjęcie aparatem fotograficznym o ogniskowej $f = 10$ mm i przesłonie (średnicy obiektywu) $d = f/2,8$.

Ile fotonów wpadło do aparatu fotograficznego, jeśli czas otwarcia migawki wynosił $T = 1/60$ s? Prócz lampy nie ma innych źródeł światła i przedmiotów je odbijających, a sprawność lampy wraz z kloszem wynosi $s = 10\%$. Rozkład kątowy światła wylatującego z klosza jest taki, jak rozkład kątowy promieniowania ciała doskonale czarnego.

Przyjmując, że był to cyfrowy aparat fotograficzny o prostokątnej matrycy o rozmiarach $a = 5,76$ mm na $b = 4,29$ mm, składającej się z $N = 4$ mln równomiernie rozłożonych elementów światłoczułych, oblicz ile fotonów wpadło do jednego z tych elementów światłoczułych, na których utworzył się obraz klosza. Sumaryczna powierzchnia elementów światłoczułych jest równa połowie powierzchni matrycy.

Rachunki wystarczy przeprowadzić z dokładnością 20%.

Rozwiązanie zadania T2

Klosz w jednostce czasu wysyła

$$n_k = s \frac{P}{hc/\lambda} \quad (1)$$

fotonów. Wszystkie one przelatują przez sferę o promieniu l (i powierzchni $4\pi l^2$), której środek pokrywa się ze środkiem klosza. Do wnętrza aparatu wpadną jednak tylko te, które padają na powierzchnię równą $\pi d^2/4$. Zatem liczba fotonów wpadająca do aparatu w jednostce czasu to

$$n_w = n_k \frac{\pi d^2/4}{4\pi l^2} \quad (2)$$

$$= s \frac{P}{hc/\lambda} \frac{\pi d^2}{16\pi l^2} \approx 2,9 \cdot 10^{11}. \quad (3)$$

Obraz klosza zostanie utworzony w odległości

$$y = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{l}} \approx f, \quad (4)$$

i będzie miał średnicę

$$D_O = D \frac{y}{l} \approx D \frac{f}{l}. \quad (5)$$

Powierzchnia obrazu jest równa

$$S_O = \pi \left(\frac{D_O}{2} \right)^2, \quad (6)$$

zatem będzie na niej się znajdowało

$$N_O = N \frac{\pi(D_O)^2/4}{ab}. \quad (7)$$

Wszystkie fotony, które wpadły do aparatu, skupiły się na obrazie. Uwzględniając, że sumaryczna powierzchnia elementów światłoczułych jest równa połowie powierzchni matrycy, do jednego elementu światłoczułego wpadnie

$$n_1 = \frac{1}{2} \frac{n_w}{N_O} T \quad (8)$$

$$= \frac{1}{8} s \frac{P\lambda}{hc} \frac{d^2 ab}{N\pi D^2 f^2} T \quad (9)$$

$$= \frac{1}{8} s \frac{P\lambda ab T}{(2,8)^2 hc N\pi D^2} \approx 1,1 \cdot 10^4 \quad (10)$$

fotonów.

Punktacja

- Wyznaczenie liczby fotonów wylatujących z klosza w jednostce czasu 2 pkt.
- Wyznaczenie liczby fotonów wpadających do aparatu (w jednostce czasu) 2 pkt.
- Wyznaczenie wielkości obrazu klosza (wzór (3) lub równoważny) 1 pkt.
- Wyznaczenie liczby elementów światłoczułych, na których powstał obraz (wzór (4)) 2 pkt.
- Wyznaczenie liczby fotonów padających na 1 element światłoczuły (ostatni wzór) 3 pkt.