XXVIII OLIMPIADA FIZYCZNA (1979/1980). Stopień I, zadanie teoretyczne – T5.

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
Olimpiada Fizyczna XXVII – XXVIII WSiP Warszawa 1983

Autor: Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki

Nazwa zadania: Farba odblaskowa

Działy: Optyka

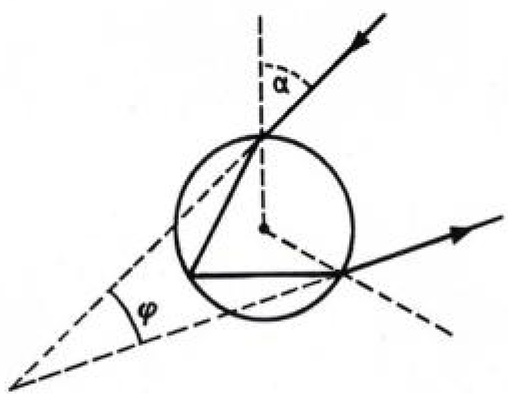
Słowa kluczowe: światło, odbicie światła, kąt padania, współczynniki załamania światła, efekty dyfrakcyjne

Zadanie teoretyczne – T5, zawody I stopnia, XXVIII OF.

Jadąc nocą autostradą widzimy wiele znaków drogowych pokrytych specjalną farbą, która odbija dużo światła w kierunku, skąd światło pada, tj. ku kierowcy. Odnosimy wrażenie, że farba ta świeci. Nie jest to jednak spowodowane luminescencją. Farba zawiera w swym składzie bardzo dużo mikroskopijnych kuleczek szklanych. Wyjaśnij, dlaczego kuleczki te wywołują wrażenie, że farba świeci. Wyznacz szczególnie korzystny stosunek współczynników załamania szkła i farby.

Rozwiązanie

Światło padające na warstwę farby dostaje się do kuleczek, gdzie ulega odbiciom. Rozpatrzmy sytuację zilustrowaną na rys.1. Światło pada na kuleczkę pod kątem α i po jednokrotnym wewnętrznym odbiciu (niecałkowitym) opuszcza kuleczkę tworząc z kierunkiem pierwotnym kąt φ.



Rys. 1

Oczywiście kąt φ jest funkcją α: $\varphi = \varphi(\alpha)$. Ilość światła padającego przypadającą na jednostkę kąta α w przedziale kątów $(\alpha, \alpha + d\alpha)$, oznaczmy przez $P(\alpha)$. Podobnie, ilość światła wychodzącego z kuli, przypadającą na jednostkę kąta φ w przedziale kątów $(\varphi, \varphi + d\varphi)$, oznaczamy przez $R(\varphi)$. Mamy oczywiście

$$A(\alpha)P(\alpha)d\alpha = R(\varphi)d\varphi . \qquad (1)$$

$A(\alpha)$ oznacza tu ilość światła z przedziału kątów (α, $\alpha + d\alpha$), która trafia do przedziału kątów (φ, $\varphi + d\varphi$). Wielkość ta jest różna od zera (i jedności), gdyż na powierzchni kuleczki światło jest częściowo odbijane, a częściowo przepuszczane. Z (1) mamy

$$R(\varphi) = \frac{A(\alpha)P(\alpha)}{\frac{d\varphi}{d\alpha}}. \qquad (2)$$

Widać stąd, że $R(\varphi)$ przy $d\varphi/d\alpha = 0$ ma osobliwość. W praktyce osobliwość ta jest rozmywana prze efekty dyfrakcyjne i inne, ale dla uproszczenia możemy je zaniedbać. Z godnie z zadaniem 1C z zawodów stopnia wstępnego $\frac{d\varphi}{d\alpha} = 0$ dla α spełniającego warunek

$$sin^2\alpha = \left(4 - n^2\right)/\,3\,.$$

W interesującym nas przypadku, tzn. żeby $R(\varphi)$ było szczególnie duże dla odbicia wstecz, mamy $\varphi = 0$ i $\alpha = 0$. Wynika stąd, że n^2 powinno być równe 4, a więc

$$n = 2\,.$$

W rozważaniach powyższych poczyniono następujące uproszczenia:
1) Rozpatrzono tylko najprostszą sytuację, gdy w kuleczce zachodzi jedno odbicie,
2) Nie uwzględniono odbicia od „czoła” kuleczki,
3) Zaniedbano odbicia międzykuleczkowe, zjawiska dyfrakcyjne itp.