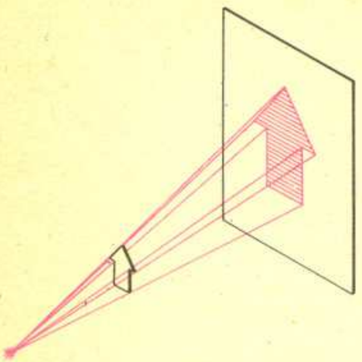
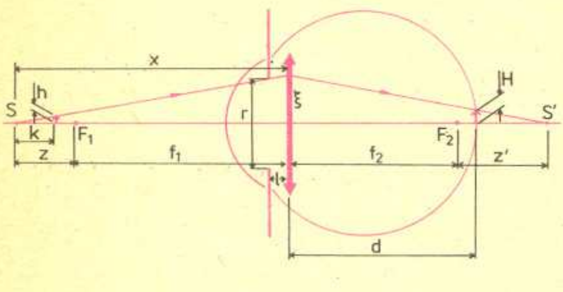
Czy możliwe jest widzenie wielkości mikroskopowych nieuzbrojonym okiem?



Rys. 1

Jak dobrze wiadomo oko ludzkie jest w stanie rozróżnić dwa punkty, jeśli ich odległość kątowa jest większa od jednej minuty. Normalnie więc można rozróżnić punkty odległe co najwyżej o 0,1 mm.

W pewnych szczególnych okolicznościach oko ludzkie może działać jak powiększalnik fotograficzny. Tą metodą można rozdzielać punkty znajdujące się znacznie bliżej siebie (rys. 1). Zauważyłem, że jeśli tuż przed powierzchnią oka umieści się prawie punktowe źródło światła, to na siatkówce nie utworzy się punktowy obraz, lecz powstanie świetlna plamka. Umieszczenie pomiędzy okiem, a źródłem światła małego przedmiotu spowoduje, że na siatkówce będzie widoczny jego cień. Będzie on obrazem prostym, jednak w naszej świadomości zostanie odwrócony i jako taki będziemy go widzieć. Okazało się, że zjawisko to jest znane i że jego jakościowy opis podany jest przez Williama Bragga [1]. Poniżej przedstawiam rozważania teoretyczne, które pozwalają to zjawisko ująć ilościowo. Geometria doświadczenia jest pokazana schematycznie na rys. 2, gdzie przyjęto następujące oznaczenia:



Rys. 2

F_1 — ognisko przednie soczewki oka
F_2 — ognisko tylne soczewki oka
S — punktowe źródło światła
S' — obraz punktowego źródła światła (punkt przecięcia promieni świetlnych).
f_1 — ogniskowa przednia
f_2 — ogniskowa tylna
k — odległość przedmiotu od źródła światła
d — odległość soczewki oka od siatkówki
z — odległość źródła światła S od ogniska F_1
z' — odległość obrazu S' źródła światła od ogniska F_2
x — odległość źródła światła od soczewki oka
h — wysokość przedmiotu
H — wysokość cienia przedmiotu na siatkówce
ξ — wysokość cienia przedmiotu na soczewce.

Z konstrukcji geometrycznej wynika, że: $\dfrac{h}{k} = \dfrac{\xi}{f_1+z}$; $\quad \dfrac{H}{f_2+z'-d} = \dfrac{\xi}{f_2+z'}$.

Wobec tego
$$\frac{H}{h} = \frac{(f_1+z)(f_2+z'-d)}{k(f_2+z')} = \frac{f_1+z}{k}\cdot\left(1-\frac{d}{f_2+z'}\right). \tag{1}$$

Zgodnie z równaniem Newtona dla soczewki znajdującej się na pograniczu dwóch środowisk
$$z' = f_1 f_2/z, \tag{2}$$
a stąd
$$\frac{H}{h} = \frac{1}{k}\left(f_1+z-\frac{dz(f_1+z)}{f_2(f_1+z)}\right) = \frac{1}{kf_2}\left(f_1f_2+z(f_2-d)\right).$$

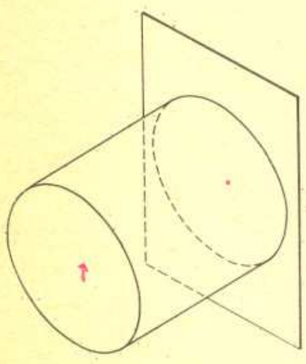
W przypadku akomodacji oka na nieskończoność $f_2 = d$ i
$$\frac{H}{h} = \frac{f_1}{k}. \tag{3}$$

Jak stąd widać powiększenie H/h zależy w tym przypadku od odległości k przedmiotu od punktowego źródła światła, a nie zależy od odległości źródła światła i przedmiotu od oka. Wielkość pola widzenia czyli maksymalna wielkość przedmiotu, którą można w ten sposób obserwować, jest wyznaczona przez kąt, pod którym widać źrenicę oka z punktowego źródła światła. Mamy (rys. 2)
$$h_{\max} = \frac{kr}{x-l}, \tag{4}$$
gdzie r jest średnicą źrenicy, a l odległością źrenicy od soczewki oka. Jeżeli $l \ll x$, to $h_{\max} = \dfrac{kr}{x}$.

Wynika stąd, że zbliżenie punktowego źródła światła do oka zwiększa pole widzenia. Zwiększenie odległości k przedmiotu od źródła światła co prawda również zwiększa pole widzenia, ale zachodzi to kosztem uzyskiwanego powiększenia (3).

Pole widzenia jest proporcjonalne do promienia źrenicy, a ponieważ źrenica rozszerza się przy słabym oświetleniu, korzystne jest prowadzenie obserwacji w zaciemnionym pomieszczeniu i ze słabym punktowym źródłem światła.

Dobrym przybliżeniem punktowego źródła światła jest mała dziurka w kartce papieru oświetlona światłem rozproszonym. Gdy jeden koniec krótkiej tulejki zaklei się taką kartką, a drugi celuloidem z namalowaną małą strzałką, to łatwo będzie uzyskać cień strzałki na siatkówce (rys. 3).



Rys. 3

Dla uzyskania większych powiększeń taka konstrukcja jest jednak niewygodna, wymaga bowiem bardzo krótkiej tulejki i mikroskopijnej dziurki. Jako źródło światła bardziej zbliżone do punktowego, można wykorzystać małą kulkę oświetloną odległą żarówką.

Literatura

[1]. *William Bragg, The Universe of Light*, G. Bell and Sons Ltd London 1933, str. 49—51.

[2]. *Szczepan Szczeniowski, Fizyka doświadczalna*, część IV, PWN, Warszawa 1967, str. 139.

W taki sposób oglądałem przeźrocze z naniesioną regularną siatką ciemnych punktów. Stała siatki wynosiła 0,05 mm, było wyraźnie widać nie tylko poszczególne punkty, ale i ich kształt. Również w ten sposób mogłem zobaczyć błony komórkowe nabłonka cebuli.
Jeśli przyjąć $k = 3$ mm, to według Sz. Szczeniowskiego [2] można obliczyć powiększenie:

$$\frac{H}{h} = \frac{f_1}{k} = 5{,}6.$$

Normalnie, dla przedmiotu znajdującego się w odległości dobrego widzenia (20 cm) stosunek $\frac{H}{h}$ wynosi 0,1 a więc ponad 50 razy mniej.
Być może podobną metodą posługiwali się badacze starożytni i tym należy tłumaczyć ich czasami zaskakującą znajomość mikroświata.

Zbigniew WĄS

W czasie pisania artykułu autor był studentem II roku fizyki na UJ.

Intuicja bywa zawodna

Historia, na której się opieram, zdarzyła się (ponoć) w jednym z zakładów chemicznych w czasie wojny. W laboratorium opracowano technologię opierającą się na reakcji, dla której niezbędne było dostarczenie pewnej ilości ciepła. Uzyskawszy sukces, reaktor chemiczny po prostu powiększono do żądanych produkcyjnie wymiarów. I cóż się okazało? Wydajność reakcji wyraźnie zmalała w nowych warunkach. Na czym polegał błąd konstruktorów? Ilość ciepła, jaką odbiera reaktor proporcjonalna jest do pola powierzchni ogrzewanej reaktora. Po prostym powiększeniu reaktora (przekształceniu przez jednokładność) pole powierzchni ogrzewanej wzrosło proporcjonalnie do kwadratu stosunku jednokładności, natomiast objętość reaktora — proporcjonalnie do sześcianu tego stosunku. Inaczej mówiąc: ponieważ pole powierzchni rosło znacznie wolniej od objętości, ,,nasycenie ciepłem" substancji w reaktorze zmalało, co pociągnęło za sobą wiadome skutki.
Innym przykładem na taką pozorną anomalię jest rozwiązanie następującego zadania:
Pompa wtłacza do rury w ciągu pewnego czasu pewną masę wody. Ile razy powinna wzrosnąć moc pompy, by mogła ona wtłoczyć 2 razy większą masę wody w tym samym czasie do rury o tym samym przekroju. Niestety, narzucająca się odpowiedź: dwa razy, jest nieprawidłowa.
Oto rozwiązanie: Zadaniem naszej stacji pomp jest nadanie masie m wody prędkości V.
Zakładając, że w ciągu całego czasu t stacja pomp działa tą samą siłą F na wodę zapisujemy:

$$F \cdot t = m \cdot V, \qquad F = \frac{m \cdot V}{t}.$$

Praca pompy przy wtłoczeniu w rurę mniejszego słupa wody, o masie m_1 i długości l_1, w czasie t wynosi $W_1 = F_1 \frac{1}{2} l_1 = \frac{m_1 V_1}{2t} l_1$,

moc pompy wtłaczającej taki słup wody będzie wynosić $P_1 = \frac{W_1}{t} = \frac{m_1 V_1}{2t^2} l_1$.

Analogicznie dla większego słupa wody, o masie m_2 i długości l_2, otrzymamy: $P_2 = \frac{m_2 V_2 l_2}{2t^2}$.

Z warunków zadania wynika, że $m_2 = 2m_1$, czyli $P_2 = \frac{2m_1 V_2 l_2}{2t^2}$.

Dwukrotnie większa masa wody w rurociągu tworzy słup o długości dwa razy większej niż poprzednio, tzn. $l_2 = 2l_1$. Rozważmy, jaki warunek musi być spełniony, aby przez dowolny przekrój rurociągu przepływała odpowiednia masa wody w tym samym czasie. Mamy:
$m_1 = l_1 S_p d$, gdzie S_p — pole powierzchni przekroju rurociągu, d — gęstość wody.
Analogicznie: $m_2 = l_2 S_p d = 2l_1 S_p d$.
Masa m_1 oraz masa $m_2 = 2m_1$ muszą w tym samym czasie przejść przez przekrój S_p:

$$t = \frac{l_1}{V_1}, \quad t = \frac{l_2}{V_2} = \frac{2l_1}{V_2}, \quad \text{czyli } \frac{l_1}{V_1} = \frac{2l_1}{V_2}, \quad \text{stąd } V_2 = 2V_1.$$

Moc P_2 wynosi więc $P_2 = \frac{2m_1 2V_1 l_2}{2t_1^2}$. Ale $l_2 = 2l_1$, ostatecznie otrzymujemy więc

$$P_2 = \frac{2m_1 2V_1 2l_1}{2t_1^2} = 2^3 \frac{m_1 V_1 l_1}{2t_1^2}, \quad \text{czyli} \quad \frac{P_2}{P_1} = 2^3.$$

Głębiej nieco rozważając z pozoru dziecinnie łatwy problem otrzymaliśmy raczej niespodziewany wynik.

Autor był, w czasie pisania artykułu, uczniem III klasy Liceum Ogólnokształcącego im. K. Gottwalda w Warszawie.

L. MANKIEWICZ

THEY ARE COMING TO TAKE ME AWAY
HA, HA, HI, HI...

To ja, wasz brojler spolegliwy!

Odpowiadam, owszem, czemu nie?

Bo właściwie - czemu nie? Niech mi kto wyjaśni!

Niektórym to tak zależy, że aż dziw.

na tym, albo na owym.

Mnie nie zależy

i każdy mnie lubi JEDNAKOWO

i ja każdego JEDNAKOWO lubię.

To taka sama samorealizacja jak każda inna,

a za to nie jestem niewolnikiem np. uczuć

i w ten sposób wszystko się wyrównuje

i jest prościej!

umiarkowanie Przekonań
ZAPEWNI
trwałość opinii. ...

Pije pomyje i udaje pijanego
o oszczędnym - chińskie

... ale chcę by mnie życie podarło potargało piorunem wichury niechaj wbija we mnie kły pazury i drapieżnie mnie chwyta za gardło...

/kretyn, tj., przepraszam, Tuwim/