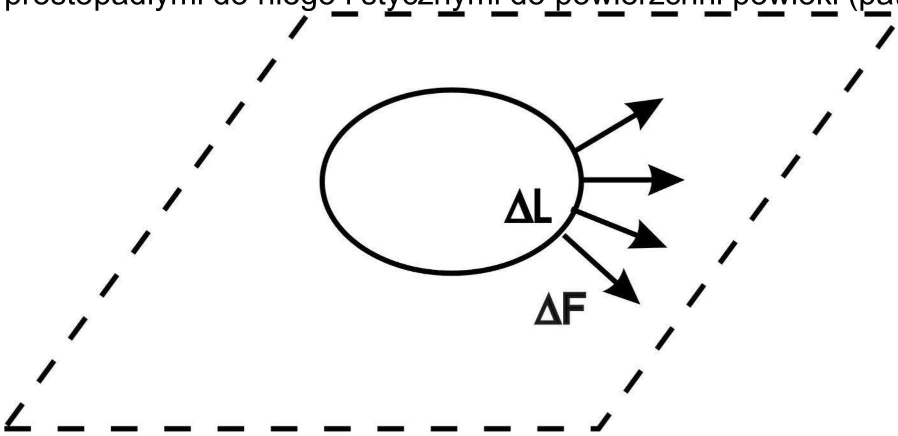
XLI OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP III
Zadanie doświadczlane

ZADANIE D1

Nazwa zadania:

Rozważmy dowolny element powłoki nadmuchanego balonika. Jest on napinany w ten sposób, że pozostała część powłoki działa na brzeg tego elementu siłami prostopadłymi do niego i stycznymi do powierzchni powłoki (patrz ryc. 6).



Ryc. 6

Na element ΔL brzegu działa siła ΔF=σΔL. Wielkość σ (czyli siłę przypadającą na jednostkę długości brzegu) będziemy nazywali napięciem powłoki.
Wyznacz doświadczalnie wartość σ w zaznaczonym obszarze powłoki balonika. W obszarze tym pomijamy niejednorodności powłoki.
Wskazówka
Między ciśnieniem w baloniku *p*, a napięciem powłoki σ w danym punkcie istnieje związek:

$$p - p_0 = \sigma\left(1/R_1 + 1/R_2\right)$$

gdzie p_0 jest ciśnieniem atmosferycznym, a R_1 i R_2 są odpowiednio: maksymalnym i minimalnym promieniem krzywizny powłoki w danym punkcie.

ROZWIĄZANIE ZADANIA D1

Rozwiązanie zadania sprowadza się do wyznaczenia różnicy ciśnień między panującym we wnętrzu balonika, a ciśnieniem atmosferycznym oraz do określenia parametrów geometrycznych powłoki balonika tzn. wspomnianych we wskazówce promieni krzywizn.
Na nadmuchanym baloniku, w oznaczonym miejscu ustawiamy płaski kawałek szkła, a na nim pudełeczka służące jako pojemniki na obciążniki. Plasteliną można unieruchomić pudełeczka. Oznaczając całkowity ciężar szkła, pudełeczka i obciążników jako Q oraz wielkość powierzchni styczności pomiędzy szkłem a balonikiem jako S można znaleźć z warunku równowagi sił działających na kawałek powłoki balonika stycznej do szkła następujący związek:

$$p_0 S + Q = p \cdot S$$

a stąd

$$p - p_0 = \frac{Q}{s}$$

oczywiście poczyniono tu milczące założenie o niezmienności p_0 przed i po położeniu obciążników. Założenie to jest jednak dobrze spełnione gdyż zmiana kształtu i objętości balonika jest znikoma (strzałka ugięcia jest rzędu 1 mm przy średnicy balonu ≈ 10 cm).
Powierzchnię styczności wyznaczyć można zakładając, że jest ona elipsą i mierząc jej osie główne (np.: zaznaczając je flamastrem na szkle), a następnie wykorzystywać wzór na pole elipsy S = ab/4, gdzie a i b są długościami osi głównych. W celu minimalizacji błędów przypadkowych oraz uniknięcia wyznaczania nieznanego ciężaru kawałka szkła oraz pudełeczek należy przeprowadzić wielokrotny pomiar wielkości powierzchni styczności jako funkcję ilości obciążników. Wtedy

$$Q = \left(M_0 + n \cdot m\right) g \,,$$

gdzie: M_0 – masa pudełeczka oraz szkła,
m – masa jednego obciążnika.
Przykładowa zależność S(M) gdzie M = n·m pokazana jest na ryc. 1. Z nachylenia prostej k = $\frac{\Delta S}{\Delta m}$ można wyznaczyć $p - p_0$

$$p - p_0 = \frac{g}{k} \,,$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie.
Pozostają do wyznaczenia oba promienie krzywizn powłoki balonika w punkcie styku. Przekrój balonika w płaszczyźnie prostopadłej do jego osi symetrii z bardzo dobrym przybliżeniem jest okręgiem. Po zmierzeniu jego obwodu *O* (przy pomocy sznurka) w tej płaszczyźnie można obliczyć jeden promień krzywizny (ryc. 7)

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi}$$

$$\left(\frac{a}{2}\right)^2 + R_1 - h)^2 = R_1^2 \,,$$

Jeśli h$^{\omega}$ R_1 h$^{\omega}$ a to

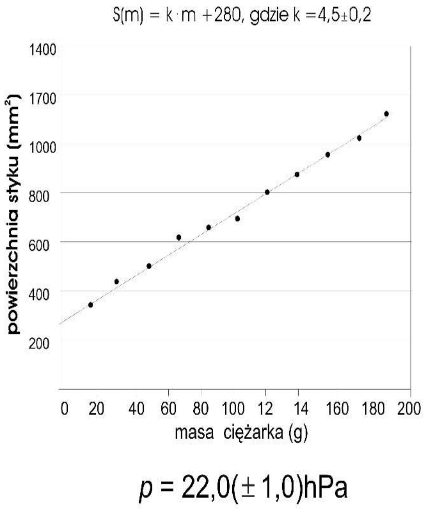
$$a^2 = BR_1 h$$

Dla kierunku prostopadłego

$$b^2 = BR_2h$$

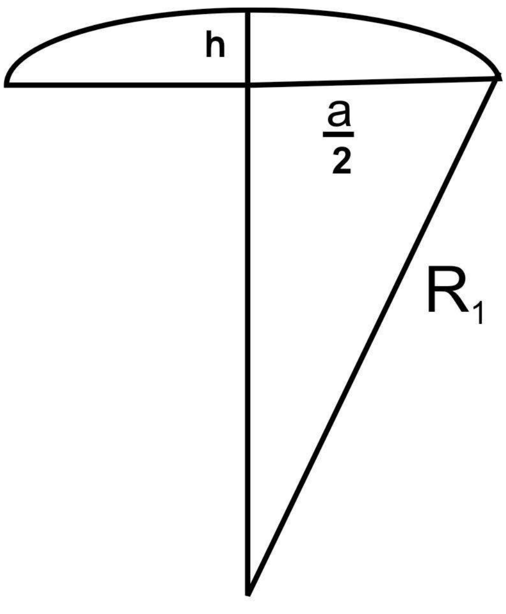
stąd

$$R_1 / R_2 = a^2 / b^2 .$$



Ryc. 7

Z prostego rozumowania przedstawionego poniżej wyznaczamy drugi promień krzywizny (ryc. 8).



Ryc. 8

Dobrze jest w celu wyznaczenia R_2 użyć średniej wartości b/a z pomiarów pod różnymi obciążeniami. Ostatecznie przykładowe wyniki podane są w tabelce poniżej.

$p - p_0$ [hPa]	R_1 [cm]	R_2 [cm]	$(b/a)^2$	[N/m]	h [cm]
22.0	11.2	15.7	1.40	1.44	0.14

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF”

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl