A IX. Nemzetközi Fizikai Diákolimpia egy feladata

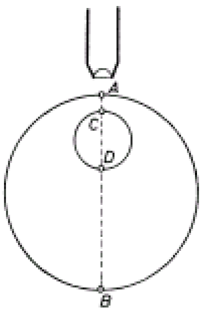
3. feladat. *Egy üveggömbben valahol gömb alakú levegőbuborék van. Ismertessünk módszereket, amelyekkel a légbuborék átmérőjét meghatározhatjuk! (Az üveggömb megsértése tilos. Az eljárások leírása legyen minél pontosabb.)*

(Vermes Miklós)

Megoldás. Néhány általános megjegyzés. Az üveg sűrűsége nem meghatározott adat, ez mint ismert érték nem használható fel. Az üveggolyó anyagának törésmutatóját meg lehet határozni egy olyan fénysugár útjának követésével, amely a gömbön úgy megy keresztül, hogy nem éri a buborékot.

A két gömb középpontját összekötő egyenes („tengely") helyzetére sokszor szükség van. A tengely meghatározható, ha a golyót keljfeljancsiként asztalra tesszük vagy higanyon úsztatjuk. A gömbön megjelölhetjük a tengely buborékhoz közelebbi és távolabbi végét. Lássuk néhány módszer rövid vázlatát (R a gömbsugár, n a törésmutató).

A tengely mentén haladva két vastag szórólencséből álló lencserendszerünk van, de a számítás végrehajtása elég hosszadalmas.

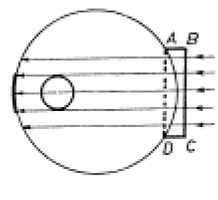


1. ábra

Mikroszkópunkat élesre állítjuk a tengely végére és a buborék felszínére (1. ábra). Ha a mikroszkóp tubusát eközben k_1 távolsággal kellett süllyesztenünk, akkor a valóságos távolság, ahogy azt könnyen kiszámíthatjuk:

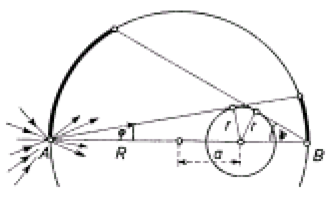
$$AC = k_1 \cdot \frac{Rn}{R + k_1(n-1)}.$$

Ugyanígy határozható meg a tengely másik végénél BD. A buborék átmérője $2r = 2R - AC - BD$. (A. Golubencev)



2. ábra

A gömbhöz olyan plankonkáv lencsét illesztünk, amellyel az $ABCD$ rész planparalel lemezzé válik. R és n ismeretében meg tudjuk találni a plankonkáv lencse anyagának szükséges törésmutatóját (2. ábra). Ezután párhuzamos sugárnyalábbal világítjuk át a gömböt és a túlsó falon (homályos bevonaton) észleljük a buborék átmérőjét. (Faragó Béla)



3. ábra

A gömbfelszín A pontjára sugárnyalábot összpontosítunk (3. ábra). Ekkor a gömbben is egyetlen pontból kiinduló sugárnyalábot kapunk. Ez a túlsó oldalon egy süveget világít meg, amelynek nagyságából megállapítható a φ szög. Ugyanígy kapjuk B-nél a ψ szöget. Ezután

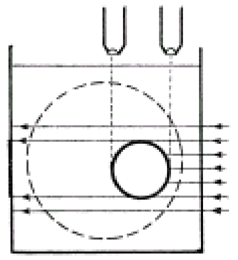
$$\sin\varphi = \frac{r}{R+a}, \quad \sin\psi = \frac{r}{R-a}.$$

Az egyenletrendszer megoldása:

$$r = 2R \cdot \frac{\sin\psi \sin\varphi}{\sin\psi + \sin\varphi}, \quad a = R \cdot \frac{\sin\psi - \sin\varphi}{\sin\psi + \sin\varphi}.$$

(Gheorge Popescu)

Az üveggolyót anyagával egyező törésmutatójú folyadékkal telt párhuzamos falú üvegedénybe mártjuk. Ilyenkor a külső felszín láthatatlan, és a helyzet olyan, mintha a folyadékban csak egy gömb alakú légbuborék volna. Ezután a buborék határai vízszintesen eltolható mérőmikroszkóppal mérhetők le (V. Krivcun), vagy oldalról párhuzamos sugárnyalábbal tapogathatók le. (L. Köhler, J. Svoboda, S. Saceanu; 4. ábra)



4. ábra

Ha a buborék nem túl nagy, átmérőjének optikai úthosszát, illetve az erre merőleges úthossztól való eltérését interferométeres módszerrel lehetne mérni. (J.-M. Luck-Laverne)

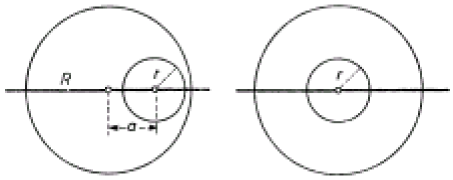
A Röntgen-sugarak üvegben nem törnek, de részben elnyelődnek. Tehát a golyót lehetőleg párhuzamosan érkező sugarakkal meg kell röntgenezni. (K.-U. Pösnecker)

Megmérjük a tehetetlenségi nyomatékot a tengelyre vonatkozóan (5. ábra, ρ a sűrűség):

$$\Theta = \rho \cdot \frac{4\pi}{3} \cdot R^3 \cdot \frac{2}{5} \cdot R^2 - \rho \cdot \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \frac{2}{5} \cdot r^2 = \frac{8\pi}{15} \cdot \rho (R^5 - r^5).$$

Megmérjük a tömeget is:

$$m = \frac{4\pi}{3} \cdot \rho (R^3 - r^3).$$



5. ábra

A tehetetlenségi nyomaték számításakor a buborékot a gömb középpontjába képzelhetjük eltolva. Az egyenletek osztásával kapjuk a keresett r-re:

$$2mr^5 - 5\Theta r^3 + 5\Theta R^3 - 2mR^5 = 0.$$

Ha r megvan, ρ is számítható. (A. Chiosea)

Ha megmérjük a tengelyre merőleges átmérő körüli tehetetlenségi nyomatékot is, akkor még egy egyenletünk van és a buborék átmérőjén, az üveg sűrűségén kívül a buborék helyét is meg tudjuk határozni. (R. Łubis, I. Hamitov)

Budapest, 1976.