

PROJEKT LIBELA

1. Najprej vprašanje za ogrevanje. Dijaki naj glasujejo npr. z dvigovanjem rok. Na koncu naj bo jasno podana ugotovitev kateri odgovor je pravilen.

Kaj kaže libela? Katera trditev, ki po vašem mnenju najbolje opisuje odgovor na vprašanje.

- A. Libela pokaže le, ali je površina ravna ali ne.
- B. Libela pokaže le, ali je površina vodoravna ali ne.
- C. Libela pokaže ali je površina vodoravna ali ne, z njo pa lahko tudi primerjamo naklonske kote različnih površin.
- D. Libela pokaže ali je površina vodoravna ali ne, iz merila pa lahko tudi odčitamo naklonski kot površine.

2. Natančno si oglejte zgradbo merilnega dela libele. Katera lastnost libele omogoča primerjavo naklonskih kotov površin? *(Počakajte, da dobite več odgovorov. Vsak odgovor, pravilen ali nepravilen, pozorno poslušajte do konca. Med poslušanjem odgovorov bodite nevtralni.)*

3. Zasnujte postopek s katerim boste lahko določili krivinski radij stene ampule v kateri je tekočina. (Namig 1: Podrobnosti zgradbe ampule bodo boljše vidne, če jih z grafoskopom projicirate na zaslon).

4. S šestilom narišite na papir krog z enakim radijem kot ste ga določili v prejšnji nalogi in primerjajte ali se na pogled ujema s krivinskim radijem stene ampule. *(Ta korak je koristen zato, da dijaki preverijo smiselnost izračunane vrednosti krivinskega radija. Če smo na tesnem s časom, pa lahko ta korak izpustimo.)*

5. Narišite sile, ki delujejo na mehurček, ko leži libela na vodoravni površini. (Da bo lažje razmišljati si lahko predstavljajte, da je v ampuli namesto mehurčka kroglica iz stiropora). Primerjajte sile in ocenite katere lahko zanemarimo.

6. Za kolikšen kot moramo nagniti libelo, da se mehurček premakne za 1 mm? Narišite natančno skico in izpeljite izraz, ki povezuje naklonski kot in premik mehurčka.

V primeru, da želimo obravnavati le statiko, lahko nalogo na tem mestu končamo.

7. Pritrdite libelo na voziček (pomagajte si s plastelinom) in ga postavite na vodoravni tir. Z roko premikajte voziček in med tem opazujte mehurček v libeli.

Opišite z besedami kaj opazite v naslednjih primerih

- libela se giblje s stalno hitrostjo _____
- libela pospešuje _____
- libela zavira _____

8. Zasnujte poskus, ki bo omogočal gibanje libele s stalnim (znanim) pospeškom. Uporabite poskus za preveritev veljavnosti zveze med pospeškom libele in premikom mehurčka (*glej razlago in izpeljavo v Dodatku*). Pospešek libele izmerite oziroma določite še z drugo, neodvisno metodo (npr. z ultrazvočnim slednikom).

9. Najprej odgovorite na naslednje vprašanje in šele potem izvedite poskus!

Libela je pritrjena na voziček in uravnana tako, da je mehurček v sredini ampule, ko je voziček na vodoravnem tiru. Voziček z libelo postavimo na vrh nagnjenega tira (klanca) in voziček spustimo, da se prične gibati po klanecu navzdol (razmerje med višino in dolžino klanca naj bo vsaj 1:5). Kateri odgovor pravilno napoveduje lego mehurčka potem, ko morebitno nihanje zamre?

- A. Mehurček bo približno na sredini ampule
- B. Mehurček bo premaknjen naprej (v smeri gibanja vozička)
- C. Mehurček bo premaknjen nazaj (v nasprotni smeri gibanja vozička)
- D. Ni dovolj podatkov (odvisno od naklonskega kota klanca).

10. Zdaj izvedite poskus in se prepričajte kateri odgovor je pravilen. Poskusite pojasniti izid poskusa.

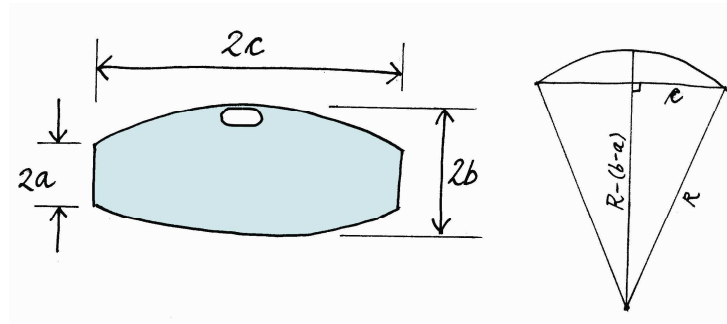
11. Opišite z besedami kako je po vašem mnenju določena občutljivost libele. Na podlagi vaše definicije občutljivosti zapišite izraz, ki predstavlja občutljivost libele.

12. *Dodatni vprašanja za diskusijo:*

- Kako vpliva na merilne lastnosti libele premer ampule v kateri je mehurček?
- Kako vpliva na merilne lastnosti viskoznost tekočine v kateri je mehurček?

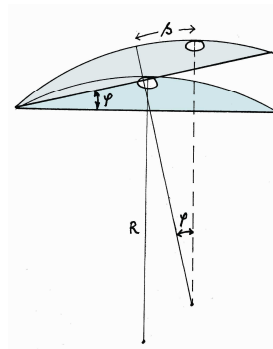
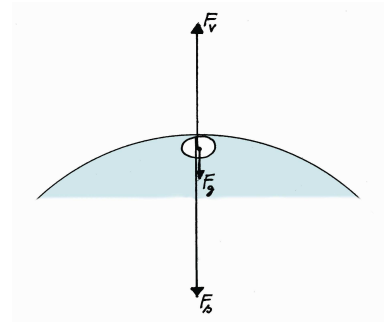
REŠITVE S KOMENTARJI IN RAZLAGAMI

1. Pravilni odgovor : C
2. Ukrivljena stena ampule; ampula v kateri je mehurček ima sodčasto obliko.
3. Če izmerimo/ocenimo notranji premer ampule na najožjem in najširšem mestu, ter dolžino ampule, lahko izračunamo krivinski radij stene z uporabo Pitagorovega izreka.



$$R = \frac{c^2 + d^2}{2d}, \text{ kjer je } d = b - a$$

4. Narišemo krog na papir, položimo nanj libelo in se prepričamo, da se krivulji pokrijeta.
5. Sile na mehurček kaže slika na desni. Teža plina v mehurčku F_g je v resnici zanemarljiva v primerjavi z vzgonom F_v in silo stene F_s (razmerje med velikostjo vzgona in teže je enako razmerju med gostoto tekočine v ampuli in plina v mehurčku, torej okrog 1000.)
6. Ob sliki izpeljemo izraz: $s = R\varphi$



7. Enakomerno gibanje: mehurček je v sredini; pospeševanje in zaviranje: mehurček se pomakne v smeri kot kaže pospešek (obratno kot bi mislili npr. na podlagi sil, ki jih sami čutimo pri pospešenem gibanju v avtu).

8. Možna izvedba poskusa je prikazana na fotografiji. Teoretična velikost pospeška gibanja vozička je v tem primeru $a = g \frac{m}{m+M}$ (m je masa pospeševalne uteži, M pa skupna masa vozička in libele). Zaradi trenja in zračnega upora je dejanski pospešek je nekoliko manjši.

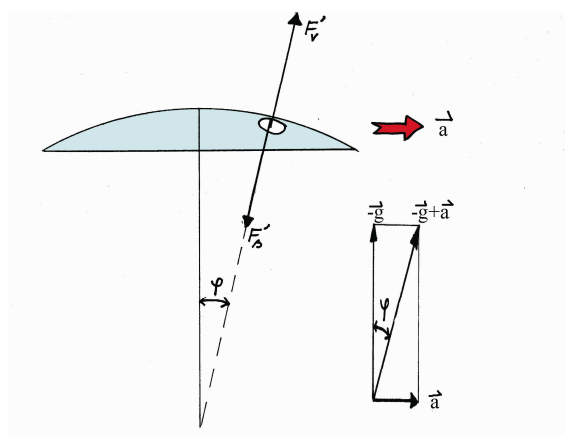


Še k vprašanju 8:

Ko stojimo v avtobusu se naše telo odziva na gibanje avtobusa. Če avtobus pospešuje, se nagnemo naprej, če zavira pa nazaj. Če vozi s stalno hitrostjo stojimo vzravnano. Podzavestno spreminjamo lego našega telesa tako, da ne pademo ne naprej ne nazaj. Telo se vedno postavi tako, da je v smeri vektorske vsote težnega pospeška in pospeška Zemlje glede na avtobus (ta je enak negativnemu pospešku avtobusa glede na Zemljo). Naše telo torej ne loči med silami zaradi gravitacijskega privlaka in silami zaradi pospeševanja. V resnici to ne velja le za naše telo, pač pa gre za splošno veljavno zakonitost. Do tega spoznanja se je prvi dokopal Albert Einstein l. 1907 in ga imenoval ekvivalenčni princip. Po Ekvivalenčnem principu je delovanje gravitacije povsem nerazločljivo od pospeška, ki ga povzročajo kakšne druge (recimo mehanske) zunanje sile.

Na vsak del libele, ki se giblje pospešeno s pospeškom torej deluje navidezni težni pospešek. Posledica tega je, da deluje na mehurček sila vzgona, ki kaže v smer vektorske vsote (glej sliko na desni; upoštevali smo, da deluje vzgon v nasprotni smeri teže).

Na primer, če libela pospešuje v desno, deluje na mehurček sila, ki ga prav tako vleče v desno. Pod vplivom te sile se mehurček premika, dokler ne obstane v legi v kateri je vsota sil enaka 0. Morebitno nihanje zaduši viskozni upor tekočine. Iz primerjave zgornje slike in slike pri vprašanju 6 je razvidno, da je premik mehurčka v libeli, ki se giblje s stalnim pospeškom a enak kot v mirujoči libeli, ki je nagnjena



za kot $\varphi = \arctan \frac{a}{g} \approx \frac{a}{g}$ proti vodoravnici (v obeh primerih opazujemo iz laboratorijskega sistema). Iz premika mehurčka s lahko torej določimo pospešek s katerim se »vodoravna« libela giblje po ravni podlagi: $a = g \frac{s}{R}$.

9. Pravilni odgovor je A.
10. Voziček se giblje po klancu navzdol s pospeškom, t.j. s komponento težnega pospeška \vec{a}_d , ki ima smer vzporedno s klancem in velikost $g \sin \varphi$. Navidezni težni pospešek, ki deluje na voziček je torej $\vec{g} - \vec{a}_d$, to pa je vektor, ki je pravokoten na klanec, saj smo od vektorja \vec{g} odšteli njegovo komponento, ki je s klancem vzporedna. Mehurček na libeli, ki pospešuje po klancu navzdol bi torej moral stati na sredini ampule. V resnici je mehurček nekoliko premaknjen iz sredine proti vrhu klanca, saj je pospešek vozička in libele zaradi trenja in upora nekoliko manjši kot $g \sin \varphi$. Sami razmislite kakšna je situacija v primeru, ko voziček z libelo sunemo po klancu navzgor in opazujemo mehurček preden doseže voziček najvišjo točko.
11. Občutljivost libele pove za koliko se premakne mehurček pri dani spremembi naklonskega kota. Če merimo naklonski kot v radianih, je občutljivost libele enaka krivinskemu radiju stene ampule.
12. Namig k prvemu vprašanju: ko se mehurček giblje v desno mora voda ob njem teči v levo.