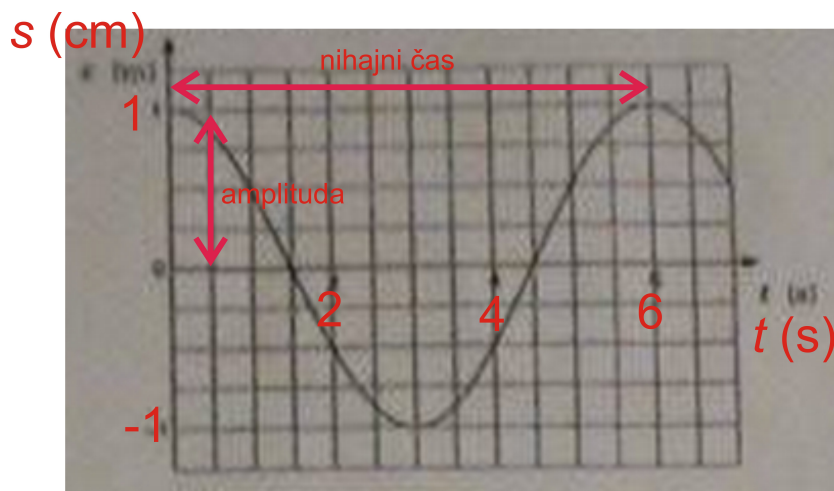


1. Na dve enako dolgi vrvi obesimo dve utezi, tako da dobimo dve enaki nihali. Graf prikazuje časovni potek nihanja prvega nihala.



Kolikšna je amplituda nihala?

Amplitudo nihala odčitamo iz slike, kakor je narisno:  $s_0 = 1 \text{ cm}$ .

Opomba: Ker je skenirana slika težko berljiva, je možno, da je enota na osi  $y$  meter in ne centimeter, kakor je zapisano z rdečo barvo. Potem se spremenijo nekateri rezultati na spodnja vprašanja.

Kolikšen je nihajni čas nihala?

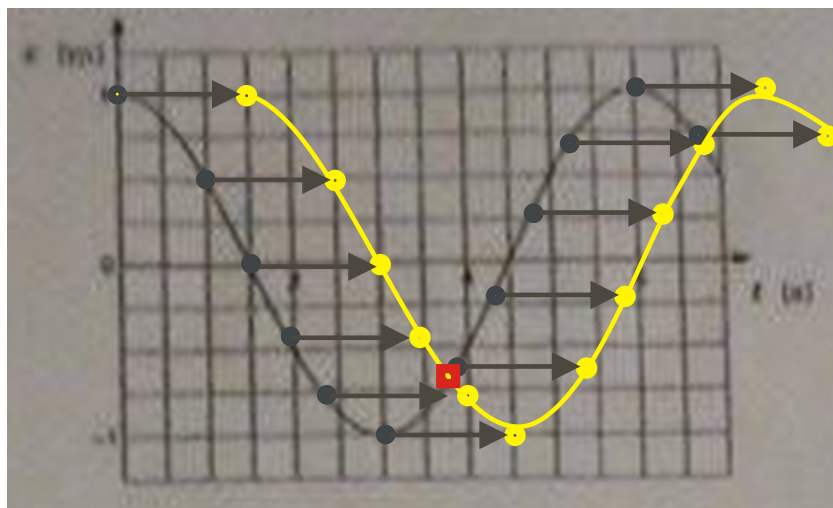
Tudi tega preberemo iz slike:  $t_0 = 6 \text{ s}$ .

Opazujemo drugo nihalo, ki niha z enako amplitudo, vendar zaostaja za prvim za četrtno nihajnega časa. V gornji graf vriši krivuljo, ki kaže odmik drugega nihala v odvisnosti od časa.

Zaostanek za četrtno nihajnega časa pomeni, da graf za drugo nihalo (rumeno na sliki) premaknemo za  $t_0/4 = 6 \text{ s}/4 = 1,5 \text{ s}$  v desno. Kako si to zapomnimo (da moramo premakniti v desno!)?

Mislino si poljubno sivo piko na spodnji sliki. Ta prikazuje, kje je prvo nihalo ob izbranem času. Drugo nihalo bo v isti legi (os  $y$ )  $1,5 \text{ s}$  pozneje. Zato premaknemo sivo točko za  $1,5 \text{ s}$  desno. Dobimo ustrezno rumeno točko.

Enak postopek ponovimo z več točkami. Nazadnje rumene točke povežemo v krivuljo. Ta prikazuje odmik drugega nihala v odvisnosti od časa.



Kdaj sta obe nihali prvic enako oddaljeni od ravnovesne lege?

Odgovor poiščemo kar na sliki. Vidimo, da se grafa prvič sekata (takrat sta namreč odmika za obe nihali enaka) na sredi med  $3\text{ s}$  in  $3\text{ s} + 1,5\text{ s} = 4,5\text{ s}$ , torej pri času  $3,75\text{ s}$ . Točka je na sliki označena z rdečim kvadratom.

Premislimo še o tem, kako se v tem trenutku gibljeta nihali? Eno (drugo) je na poti proti amplitudi v negativni smeri, prvo se od tam že vrača. Hitrosti sta torej nasprotni.

Kolikšna je največja hitrost nihala?

Glede na vprašanje, sklepam, da ste v šoli izpeljali zvezo:

$$v_0 = s_0 \omega = s_0 \frac{2\pi}{t_0} = 1\text{ cm} \frac{2\pi}{6\text{ s}} = 1,05\text{ cm/s}.$$

Opomba: Če je na prvi sliki amplituda  $1\text{ m}$  namesto  $1\text{ cm}$ , bi bil ta rezultat enak  $1,051\text{ m/s}$ .

Masa nihala je  $2,0\text{ kg}$ . Kolikšna je celotna energija nihanja tega nihala?

Pri nihanju se energija nihala spreminja iz kinetične v potencialno in obratno. Izhodišče za merjenje potencialne energije ponavadi postavimo v ravnovesno (najnižjo pri matematičnem nihalu) lego. Če je nihanje nedušeno, je vsota kinetične in potencialne energije konstantna.

V trenutku, ko ima nihalo največjo hitrost, gre nihalo skozi ravnovesno lego in je potencialna energija enaka nič. Torej je celotna energija v tem trenutku enaka:

$$W = W_{k\text{ max}} = \frac{m v_0^2}{2} = \frac{2\text{ kg} (0,0105\text{ m/s})^2}{2} = 0,00011\text{ J}.$$

Opomba: Če je na prvi sliki amplituda  $1\text{ m}$  namesto  $1\text{ cm}$ , bi bil ta rezultat enak  $1,1\text{ J}$ .

Kolikšna je višinska razlika med najvišjo in najnižjo lego uteži?

V najvišji legi se vsa kinetična energija iz ravnovesne lege, pretvori v potencialno energijo. Zato:

$$m g \Delta h = \frac{m v_0^2}{2}$$

in

$$\Delta h = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{(0,0105\text{ m/s})^2}{2 \cdot 10\text{ m/s}^2} = 0,0055\text{ mm}.$$

Opomba: Če je na prvi sliki amplituda  $1\text{ m}$  namesto  $1\text{ cm}$ , bi bil ta rezultat enak  $55\text{ mm}$ .

2. Na vrvi prosti visi utež z maso  $10\text{ g}$ . Utež izmaknemo iz ravnovesne lege in spustimo, da zaniha.

Skiciraj časovni potek odmika od ravnovesne lege. Na sliki označi nihajni čas.

Skica je popolnoma enaka kakor prva slika pri prejšnji nalogi.

Izračunaj nihajni čas, s katerim niha utež, če je dolžina vrvice  $0,50\text{ m}$ .

Nihajni čas matematičnega (pravimo mu tudi *nitno*) nihala je

$$t_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,5\text{ m}}{10\text{ m/s}^2}} = 1,4\text{ s}.$$

Za kakšen faktor in kako se spremeni nihajni čas nihala, če se dolžina vrvice trikrat poveča?

Označimo novo dolžino  $l_2 = 3l$ . Potem je nov nihajni čas:

$$t_{02} = 2\pi \sqrt{\frac{l_2}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{3l}{g}} = \sqrt{3} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = \sqrt{3} \cdot t_0 = \sqrt{3} \cdot 1,4\text{ s} = 2,4\text{ s}.$$

Odgovora: Novi nihajni čas je za faktor  $\sqrt{3}$  večji od prejšnjega. Novi nihajni čas je enak 2,4 s.

Kolikšna je največja hitrost uteži, če utež, preden jo spustimo, dvignemo za 1,0 cm, ko jo izmaknemo iz ravnovesne lege (glej sliko)?

Podobno kakor smo premislili pri prejšnji nalogi, se pri nedušenem nihanju vsa sprememba potencialne energije spremeni v kinetično energijo:

$$m g \Delta h = \frac{m v_0^2}{2}.$$

Sledi:

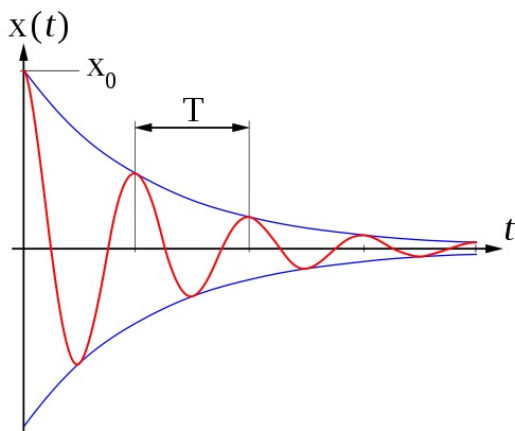
$$v_0 = \sqrt{2 g \Delta h} = \sqrt{2 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 0,01 \text{ m}} = 0,45 \text{ m/s}.$$

S kolikšno frekvenco bi morali vsiljevati nihanje temu nihalu, da bi prislo do resonance?

Do resonance pride, če je frekvenca s katero vzbujamo nihalo, enaka lastni frekvenci nihala:

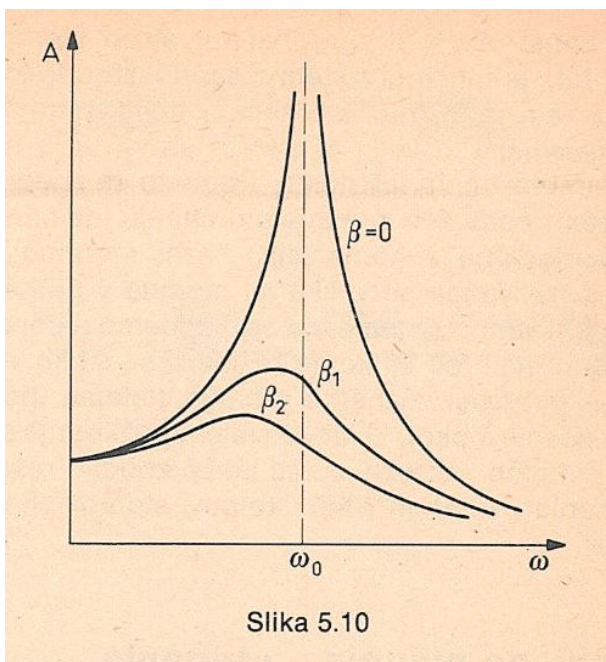
$$\nu_0 = \frac{1}{t_0} = \frac{1}{1,4 \text{ s}} = 0,7 \text{ s}^{-1}.$$

Skiciraj časovni potek odmika uteži od ravnovesne lege za to nihalo, če bi bilo nihanje dušeno.



)V isti koordinatni sistem skiciraj resonančni krivulji za malo dušeno in močno dušeno nihanje tega nihala. Pravilno označi količini na oseh.

Pogledamo v učbeniku: R. Kladnik, Fizika za srednje sole ali Visokosolska fizika.

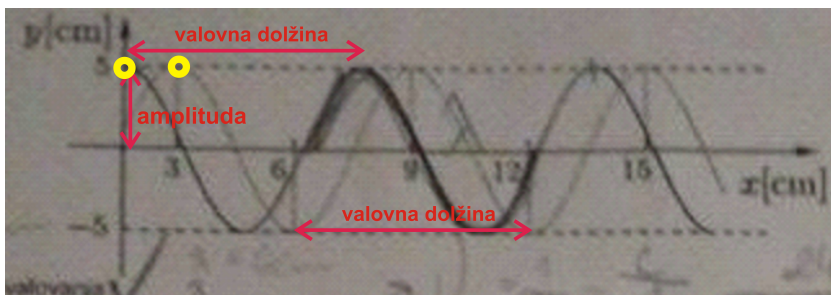


Količini na oseh sta:  $A$  je amplituda nihala,  $\omega = 2\pi\nu$  je krožna frekvenca nihala.  $\omega_0$  je lastna krožna frekvenca nedušenega nihala.

Krivulja z  $\beta = 0$  je resonančna krivulja za nedušeno nihalo,  $\beta_1$  in  $\beta_2$  pa za dušeno in še bolj dušeno nihanje.

Vidimo, da se resonančna frekvenca (maksimum krivulje na grafu) z večanjem dušenja premika v levo, to je k manjšim frekvencam.

3. Na napeti vrvi opazujemo potujoče transversalno valovanje v desno. Prikazani sta dve trenutni sliki valovanja. Prekinjena črta prikazuje trenutno sliko valovanja 0,50 sekunde kasneje kot polna črta.



Odgovore na vsa vprašanja najdete tudi na naslovu

[http://si.openprof.com/wb/potujo%C4%8De\\_transverzalno\\_valovanje?ch=333](http://si.openprof.com/wb/potujo%C4%8De_transverzalno_valovanje?ch=333)

Kolikšna je hitrost valovanja?

Hitrost izračunamo potem, ko razumemo, kaj vidimo na sliki. Opazujmo npr. hrbet valovanja pri  $x = 0$  (leva rumena pika). Hrbet se v pol sekunde, kakor piše v tekstu naloge zgoraj, premakne za 3 m v desno (desna rumena pika), kar vidimo na sliki.

Sledi, da je hitrost valovanja:

$$c = \Delta x / \Delta t = 3 \text{ m} / 0,5 \text{ s} = 6 \text{ m/s}.$$

Kolikšni sta amplituda in valovna dolžina valovanja?

Oboje odčitamo iz slike.

Valovna dolžina je  $\lambda = 6\text{ m}$ . Najbolje vidimo med dvema dolinama pri 6 m in 12 m.

Amplituda valovanja je  $s_0 = 5\text{ cm}$ .

Kolikšna je frekvenca valovanja?

Za vsa valovanja velja zveza

$$c = \lambda \nu.$$

Frekvenca valovanja je

$$\nu = c/\lambda = 6\text{ m s}^{-1}/6\text{ m} = 1\text{ s}^{-1} = 1\text{ Hz}.$$

Kolikšna je hitrost valovanja na vrvi, če je vrv napeta s silo 50 N, masa vrvi je 0,5 kg, dolžina vrvi pa 3,0 m?

Hitrost valovanja na vrvi je

$$c = \sqrt{\frac{F}{S\rho}} = \sqrt{\frac{Fd}{m}} = \sqrt{\frac{50\text{ N} \cdot 3\text{ m}}{0,5\text{ kg}}} = 300\text{ m/s}.$$

Upoštevali smo, da je gostota vrvi enaka  $\rho = m/V = m/(Sd)$  in se je prečni presek vrvi  $S$  pokrajšal.

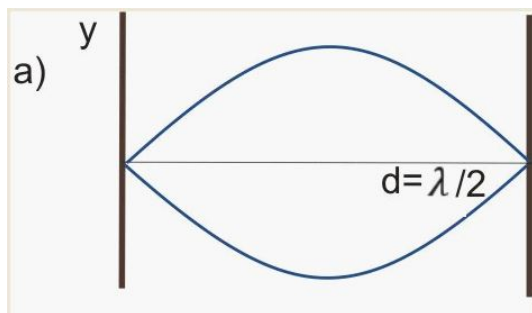
Na napeti vrvi lahko nastane tudi stoječe valovanje. Kolikšna je najmanjša (osnovna) frekvenca stoječega valovanja na tej vrvi?

Piše, da je vrv napeta. To pomeni, da je vpeta na obeh koncih. Tam morata biti vozla stoječega valovanja, tam vrv ne niha.

Spodnja slika je s strani

<http://si.openprof.com/wb/stoje%C4%8De-transverzalno-valovanje?ch=334>

in natanko ustreza vprašanju pri tej nalogi:



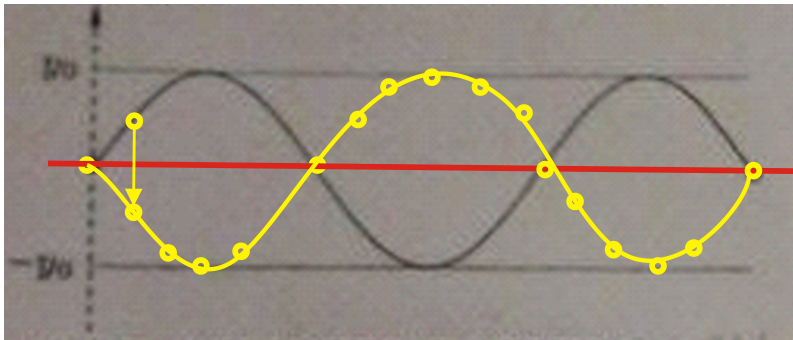
S slike vidimo, da je valovna dolžina, ko vrv niha z osnovno frekvenco, enaka  $\lambda = 2d = 2 \cdot 3\text{ m} = 6\text{ m}$ .

Frekvenco izračunamo iz zveze  $c = \lambda \nu$ :

$$\nu = c/\lambda = 300\text{ m s}^{-1}/6\text{ m} = 50\text{ Hz}.$$

Na sliki je prikazano stoječe valovanje. Na sliko doriši trenutno sliko valovanja, ki je za to sliko zakasnjena za polovico nihajnega časa, s katerim nihajo posamezni delci vrvi!

Narisano z rumeno. Pomagamo si tako, da nekaj točk preslikamo preko ravnovesne lege (rdeča črta), ker moramo narisati ravno za pol nihaja pozneje.



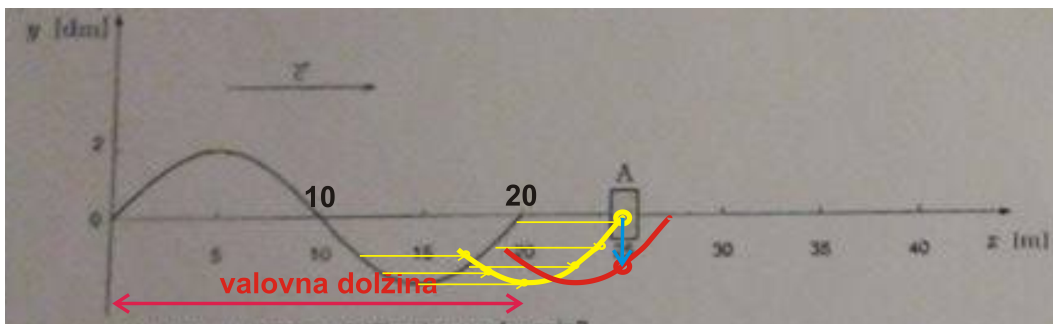
Kako imenujemo mesta na vrvi, ki ne nihajo?

Mesta, ki pri stoječem valovanju ne nihajo, imenujemo *vozli valovanja*.

4. Na odprtem, mirnem morju plava plutovinasti zamašek. Oddaljena ladja povzroči nastanek transverzalnih valov, ki se s hitrostjo  $8,0 \text{ m/s}$  približujejo zamašku. Graf kaže trenutno sliko valovanja ob času  $t = 0$ . V tem trenutku je zamašek v točki A.

Kolikšna je valovna dolžina tega valovanja?

Valovno dolžino odčitamo s slike, kakor pri prejšnji nalogi.



Valovna dolžina je  $\lambda = 20 \text{ m}$

Na grafu označi smer, v katero se začne gibati zamašek, ko se valovanje razširi do točke A.

Na grafu smo narisali sliko valovanja v trenutku, ko valovanje doseže zamašek (rumena črta) in malenkost pozneje (rdeča črta). Z rumeno in rdečo piko je označena lega zamaška v obeh trenutkih. Vidimo, da se je zamašek premaknil navzdol, kakor je narisano z modro puščico

S kolikšnim nihajnim časom niha zamašek?

Podana je hitrost valovanja  $c = 8,0 \text{ m/s}$  in ugotovili smo, da je valovna dolžina  $\lambda = 20 \text{ m}$ .

Iz zveze, ki smo jo uporabili že pri prejšnji nalogi,  $c = \lambda \nu$ , izračunamo

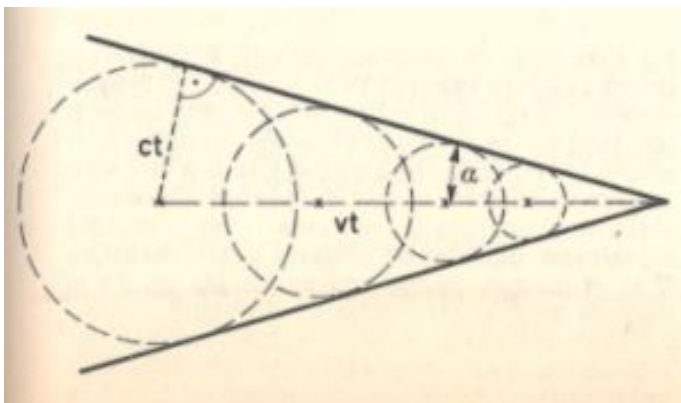
$$\nu = c/\lambda = 8,0 \text{ m s}^{-1}/20 \text{ m} = 0,4 \text{ s}^{-1}$$

in nihajni čas

$$t_0 = 1/\nu = 1/0,4 \text{ s}^{-1} = 2,5 \text{ s.}$$

5. Kolikšen bo kot pri vrhu Machovega stožca, ki nastane za nadzvočnim letalom, če je hitrost letala dvakratnik hitrosti zvoka. Hitrost zvoka je  $340 \text{ m/s}$ . Skiciraj in označi ključne razdalje. Kolikšna pa je hitrost letala, če je ta kot  $40$  stopinj?

Spodnja slika iz R. Kladnik, Visokošolska fizika, valovni pojavi.



Iz slike odčitamo, da je  $\sin \alpha = \frac{ct}{vt} = \frac{c}{v}$ , kjer je  $c$  hitrost valovanja,  $v$  pa hitrost letala.

Pri danih podatkih je  $\sin \alpha = \frac{c}{2c} = 0,5$  in  $\alpha = 30^\circ$ .

Če je  $\alpha = 40^\circ$ , je

$$v = \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{340 \text{ m/s}}{\sin 40^\circ} = 529 \text{ m/s}.$$