



2025.

Друштво физичара Србије и
Министарство просвете Републике Србије

21.05.2025.
Београд

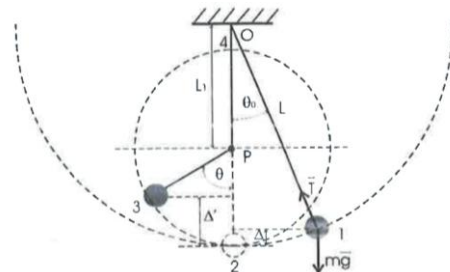
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Задатак 2. Редуковано клатно [8п.]

Редукованим клатном називамо клатна која немају исте дужине са оба стране осциловања. Најлакше је реализовати овакву апаратуру тако да се испод тачке вешања постави једна чврста препрека, која смањује ефективну дужину клатна у једној полупериоди (видети на слици 1.).

У овом експерименту нас не интересује осциловање оваквог клатна, већ ћемо испитивати како амплитуде осциловања тела са једне стране клатна утиче на другу.

Мали тег на неистегљивом канапу је окачен у тачки O (слика 1.), отклоњен за угао θ_0 и има слободну дужину L са којом се креће до тачке P на слици. У овој тачки удара у препреку и наставља кретање са дужином мањом за L_1 и пење се до угла θ , цело време са затегнутим канапом. Обележимо висине пењања (амплитудних положаја) са Δ и Δ' (слика 1.) Код редукованог клатна се уводи термин нормализоване дужине, дефинисане као $x = \frac{L_1}{L}$



Слика 1. Геометрија редукованог клатна

Задатак 1. [1п.] Услови пењања

Ако се клатно изведе из равнотежног положаја за угао θ_0 и пусти, извести једначину за угао пењања θ са друге стране. Анализу урадити за различите нормализоване дужине за случајеве да тело не прави обртање око препреке (тј. до $\theta \leq \pi$).

Задатак 2. [1п.] Обртање клатна око препреке

При неком почетном углу куглица ће достићи максималан положај. Ту ће на моменат стати и почети да пада доле. Наћи минимум почетног угла клатна да куглица када пређе горњу тачку и даље врши кружно кретање око препреке, у функцији нормализоване дужине.

Задатак 3. [3п.] Реализација мерења

Најпре извршите нивелисање клатна без препреке. Препрека је један ексер, који се заједно са угломером постави у већ направљену рупицу на стубу. За тај положај препреке одредите нормализовану дужину. Чиодом обележите угао θ на угломеру (на слици 2 је убудено за 60°). Изведите клатно из равнотежног стања и експериментално измерите почетни угао θ_0 за који је остварен задат угао θ . Углови за које се траже почетни углови су $\theta [^\circ] = 60, 90$, и 120 . За почетне углове не идите преко 90° .

Помоћ: Како је већ апаратура постављена за одређено x , урадите одмах и мерење угла из задатка 2.

Задатак 4. [2п.] Законитост пењања

На основу мерења за све углове отклоне θ покажите да важи функционална зависност добијена у задатку 1 и одредите параметре зависности. Доказ изведите графички у линеаризованом облику.

Задатак 5. [1п.] Зависност ротације

На основу експерименталних вредности добијених углова за ротацију клатна показати постојање зависности коју је дала теорија (задатак 2.). Ово исто изведите на графику у линеаризованој презентацији и одредите параметре и упоредите са теоретским.

Напомена: у задатку није потребно строго одређивање грешки, заокруживање вршите према процени реда величине грешке.

Свим такмичарима желимо успешан рад !

Задатак припремили и експеримент реализовали: Проф. др Имре Гут, Проф. др Владимир Марковић, ПМФ Крагујевац, и Проф. др Милан Ковачевић, ПМФ Крагујевац,

Рецензент: Проф. др Ненад Стевановић

Председник комисије: Проф. др Имре Гут, Департман за физику, ПМФ Нови Сад



2025.

Друштво физичара Србије и
Министарство просвете Републике Србије

21.05.2025.
Београд

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Задатак 2. Редуковано клатно

УПУТСТВО за састављање апаратуре

1. Поставити сталак на сто испред себе (предња страна горе) и измерити редуковане дужине клатна L_1 за све положаје препреке (засад само рупе на сталку).
2. Кроз рупу у центру угломера на папиру са четвртином угломера провуците шраф са куком, и исти уврните у горњу рупу до краја навоја. Кука треба да вири према вама. Папир засад оставите да виси.
3. Имате две плоче од стиродура на којима су са једне стране налепљене обострано лепљиве траке. Одстраните заштитну фолију са лепљиве траке. Дужу плочу лепите на стуб са леве стране доле (видети слику), тако да је плоча доле наслоњена на подножје, а предња површина плоче је поравната са предњом страном стуба. Исто урадите и са мањом плочом, стим да је лепите десно горе, да предња површина буде поравната а горња страна у нивоу врха стуба.
4. Узмите оловно тело, вежите на канап, а канап горе за шраф (или обрнуто). Одаберите такву дужину клатна да доњи део олова, када виси, стоји око 2-3 cm изнад подножја.
5. Нивелишите стуб да буде у вертикалном положају. Уколико то није, подметните нешто испод ћошкова или залепите двострано лепљивом траком сталак за сто.
6. Сада окрените угломер тако да нула скале буде у вертикалном положају и фиксирајте га (селотејп, чиода са стране-снађите се)
7. На полукружном угломеру на 1,5 cm од ознаке 0 и 180 има једна помоћна линија, савијте остатак папира по тој линији под 90° надоле.
8. Узмите дебелу жицу са ушицама (личи на жицу за роштиљ), провуците кроз рупу на средини полукружног угломера и заједно гурнете у неку од рупа на сталку. Запамтите, када померате жицу (мењате дужину редукованог клатна), заједно померате и угломер.
9. Савијени део угломера поравнајте са десном страном стуба, проверите да ли је нула вертикална и можете забести чиоду на први угао који се мери, а то је нпр. 60° . Лепљива трака која држи стиродур није свемогућа, тако да са задње стране увек придржите руком плочу док забадате чиоду.



Слика 2. Изглед апаратуре

Уређај је спреман за мерење. Успешан рад....



2025.

Друштво физичара Србије и
Министарство просвете Републике Србије

21.05.2025.
Београд

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

РЕШЕЊЕ

Задатак 1. [1п.] Услови пењања

У овом делу експеримента клатно, када дође у највишу тачку пењања, на моменат застаје и има само потенцијалну енергију. Како куглица и у тренутку пуштања мирује, закона одржања потенцијалне енергије у крајњим тачкама клатна гласи $mg\Delta = mg\Delta'$ [0,1п]. Како је $\Delta = L - L \cdot \cos\theta_0$, а $\Delta' = (L - L_1) - (L - L_1) \cdot \cos\theta$ [0,2+0,2п]. Добија се $1 - \cos\theta_0 = \left(1 - \frac{L_1}{L}\right)(1 - \cos\theta)$ односно $1 - \cos\theta_0 = (1 - \cos\theta)(1 - x)$ [0,3п]. На крају угао пењања се може изразити као $\theta = \arccos\left(\frac{\cos\theta_0 - x}{1 - x}\right)$ [0,2п].

Задатак 2. [1п.] Обртање клатна око препреке

У овом случају тело на највишој тачки мора да се креће, да би канап био затегнут [0,1п]. Закон одржања енергије гласи $mgL(1 - \cos\theta_0) = 2mg(L - L_1) + \frac{1}{2}mv^2$ [0,4п]. У крајњој тачки на тело вертикално делују гравитациона сила, сила затезања конца и центрифугална, које су у равнотежи $mg + T = \frac{mv^2}{L - L_1}$ [0,2п]. Најмању брзину при обрту ће имати тело када је сила затезања клатна нула. Тада је кинетичка енергија куглице $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mg(L - L_1)$ [0,1п]. Уврштањем у енергетску једначину добијамо $1 - \cos\theta_0 = \frac{5}{2}(1 - x)$, односно $\cos\theta_0 = \frac{5}{2}x - \frac{3}{2}$ [0,2п].

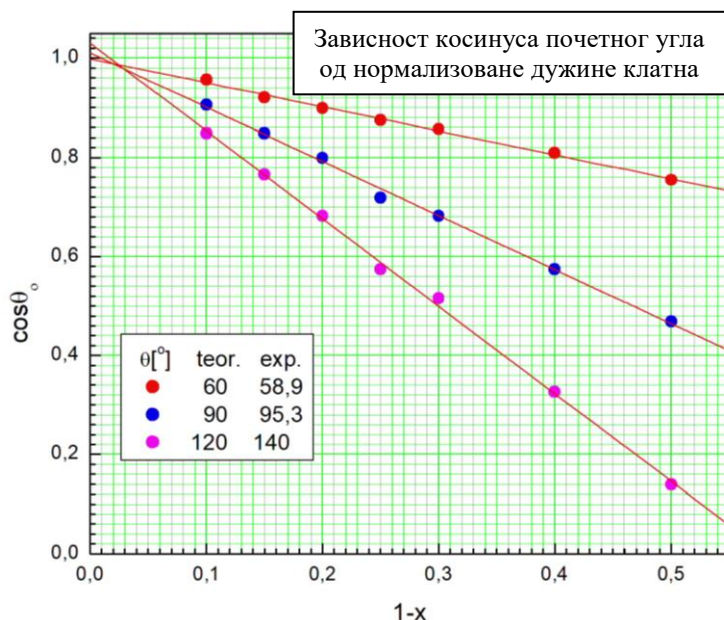
Задатак 3. [2,5п.] Реализација мерења Резултати су дати у Табели 1. Одређени и приближно тачни углови за пењање [2п], одређени углови за окрет [0,5п].

Табела 1. Резултати експерименталног мерења

$x \rightarrow$	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
θ [°]	θ_0 [°]						
60	41	36	31	29	26	23	17
90	62	55	47	44	37	32	25
120	82	71	59	55	47	40	32
окрет			78	69	62	54	45

Задатак 4. [2,5п.] Законитост пењања

На основу резултата мерења и добијене теоретске зависности $\cos\theta_0 = 1 - (1 - \cos\theta)(1 - x)$, цртају се линеаризоване зависности, где су нове променљиве $\cos\theta_0$ и $(1 - x)$ [0,3п]. Резултати се налазе у Табели 2. [0,7п]. и на слици 1 [1п]. Слободан члан линеарне зависности је свугде близу 1 [0,2п], а на основу коефицијената правца можемо одредити експерименталне вредности за крајње углове $\theta_n = \arccos(1 + k_n)$. Добијене експерименталне вредности се налазе у легенди на слици 1. Приближно добијени углови према задатима носе [0,3п]. Приметно је да се теорија и експеримент изузетно добро слажу за мале углове отклона, боље речено за углове до 90°, тј. за ситуације када се куглица не диже изнад вешања. За већи угао већ при реализацији експеримента се примећује да, када се куглица пење високо, крај неће бити увек затегнут, а у извођењу теорије ово нам је била основна



Слика 1. Линеаризована зависност почетног угла од нормализоване дужине



2025.

Друштво физичара Србије и
Министарство просвете Републике Србије

21.05.2025.
Београд

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

претпоставка.

Табела 2. Линеаризација резултата мерења

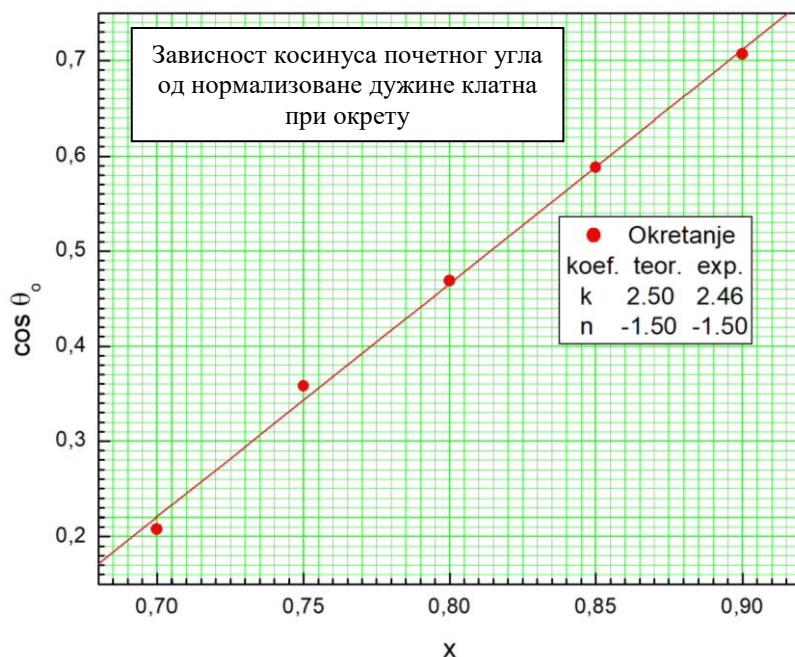
Задатак 5. [1п.] Зависност ротације

На основу мерења минималне висине за пун окрет (последњи ред у Табели 1 и теорије, линеаризован облик на основу изведене једначине је $\cos\theta_0 = \frac{5}{2}x - \frac{3}{2}$. За нове непознате узет е су $\cos\theta_0$ и x . [0,2п]. Резултати се налазе у Табели 3. [0,2п] и на слици 2. [0,4п]. Законитост је линеарна, док коефицијенти законитости (израчунати методом најмањих квадрата) се налазе у легенди на слици 2. [0,1+0,1п]. Ученици неће имати могућност примене рачунара, али се очекује и код њих добро слагање коефицијената са теоријом.

θ [°] →	60	90	120
$1-x$	$\cos\theta_0$ [°]		
0,5	0,755	0,469	0,139
0,4	0,809	0,574	0,326
0,3	0,857	0,682	0,515
0,25	0,875	0,719	0,574
0,2	0,899	0,799	0,682
0,15	0,921	0,848	0,766
0,1	0,956	0,906	0,848

Табела 3. Линеаризација
услова окрета

x	$\cos\theta_0$
0,7	0,208
0,75	0,358
0,8	0,469
0,85	0,588
0,9	0,707



Слика 2. Линеаризација услова окрета