



Хоризонтални хитац ротирајућег тела

1. УВОД

Када се неко тело креће по подлози или се спушта низ стрму раван, долази до појаве силе трења. Ако тело **клизи** низ раван, ово трење **успорава** његово кретање. Међутим, ако је тело кружног облика (ваљак или куглица), сила трења ће довести до **ротације тела**. Ако ваљак или куглица приликом ротације не проклизава (тачка додира мирује у односу на подлогу) онда сила трења **НЕ ВРШИ РАД**, док се део енергије тела због силе трења претвара у ротациону енергију, означену са E_{rot} .

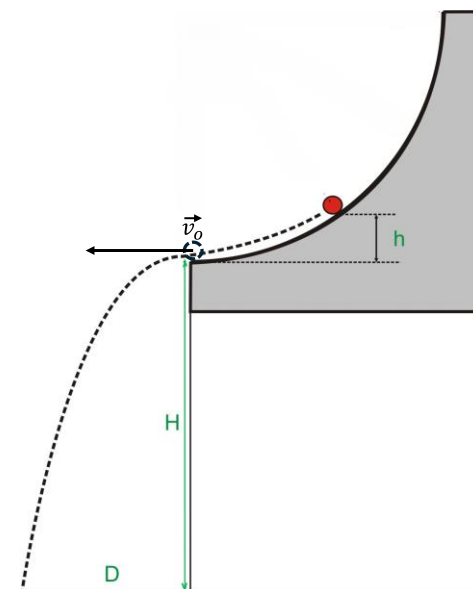
Задатак 1. [2 п] Основни закони

Експеримент изводимо на кружној стрмој равни (осенчена на слици 1.) Кружна раван нам омогућава да округло тело (куглицу) постављамо на различите висине са којих пуштамо тело (обележено са h на слици 1.), али у свим случајевима куглица са краја стрме равни слеће хоризонтално, са извесном брзином v_0 као на слици 1.

Ако куглица коју спуштамо низ кружну стрму раван (звaћемо је скакаоница надаље у тексту) не проклизава и ако знамо карактер силе трења за овакво кретање (ротација), одговарајући закон одржања који важи у тренутку пуштања куглице (E_{pot}) и крају скакаонице (тренутак када куглица напушта скакаоницу брзином v_0 и има $E_{\text{kin}} + E_{\text{rot}}$) је:

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{rot}},$$

где је E_{pot} потенцијална енергија у односу на дно скакаонице, E_{kin} кинетичка енергија транслаторног кретања на крају скакаонице и E_{rot} кинетичка енергија ротације на крају скакаонице.



Слика 1. Експериментална поставка

Задатак 1.1. [2 п] Потенцијална енергија (на овај задатак одговорите на Листу за одговоре 1)

Изразите вредност потенцијалне енергије куглице која је подигнута на скакаоници, у односу на дно скакаонице, преко мерљивих величина (користите обележавања са слике 1). Тачно дефинишите све величине. Узвођење и резултат запишите на листу за одговоре 1.

Задатак 2. [9 п] Хоризонталан хитац куглице

Како куглица, без обзира на коју смо је висину подigli, излеће хоризонтално, то куглица увек пада на тло по законима такозваног хоризонталног хица. Када куглица сиђе са скакаонице, на њеном крају, више нема додира са тлом, тако да се не мења њена ротациона енергија приликом хоризонталног хица. Док тело изводи хоризонтални хитац, његово кретање можемо поделити у кретање у вертикалном правцу и кретање у хоризонталном правцу. Како је избачено у хоризонталном правцу са скакаонице (правац x -осе), под дејством закона Инерције, куглица ће се кретати непромењеном брзином v_0 (у том правцу). У вертикалном правцу (правац y -осе), куглица ће падати под дејством силе Земљине теже, тј. доживеће слободан пад.

Задатак 2.1. [3 п] Вертикално кретање куглице (на овај задатак одговорите на Листу за одговоре 1)

Једначина кретања куглице након излетања са скакаонице у вертикалном правцу је једначина слободног пада $y = \frac{gt^2}{2}$. Ову једначину искористите да одредите време падања куглице t_p до удара о тло (користите обележавања са слике 1.). Извођење и резултат запишите на листу за одговоре 1.



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Задатак 2.2. [3п] Хоризонтално кретање куглице (на овај задатак одговорите на Листу за одговоре 1)
Једначина кретања куглице након излетања са скакаонице у хоризонталном правцу је $x = v_0 t$. Величина која се из кретања у хоризонталном правцу може мерити ја домет куглице D , слика 1. Искористите једначину хоризонталног кретања, да бисте одредили израз за почетну брзину куглице v_0 , преко домета D и времена падања t_p . Извођење и резултат запишите на листу за одговоре 1.

Задатак 2.3. [3 п] Кинетичка енергија (овај задатак одговорите на Листу за одговоре 1)
Напишите израз за кинетичку енергију на крају скакаонице користећи величину брзине изражене у задатку 2.2. Извођење и резултат запишите на листу за одговоре 1.

Напомена: Када урадите Задатак 1 и Задатак 2, можете подићи руку и предати **Лист за одговоре 1** дежурном наставнику. Од њега ћете добити решења и, у случају да сте погрешили, можете наставити са експериментом користећи исправне изразе. **Ови делови задатака ће се искључиво бодовати само на основу онога што сте написали на Листу за одговоре 1.** Предајте лист када budete сигурни да сте све урадили, јер накнадно нећете моћи да вршите исправке (добићете решења).

Задатак 3. [22 п] Котрљање низ скакаоницу и хоризонтални хитац

У овом делу експеримента пуштамо куглицу са различитих висина низ скакаоницу. Висину куглице h меримо лењиром. Да би одредили тачку домета куглице (ударац у тло) на под залепимо спојене папире (3 папира су довољна) тако да један крај папира буде на поду испод краја скакаонице (мало ближе столу) а други крај развучемо у правцу падања куглице. За лепљење користити самолепљиву траку-селотејп. Место краја скакаонице, односно почетну тачку хоризонталног хица, обележимо на поду помоћу виска (плави висак се налази на централном столу) спуштајући га вертикално од краја скакаонице до папира, и обележимо положај врха виска на папиру као нулти положај. На столу Вам стоји на располагању индиго папир (пазити која страна се пресликава) са којим траба да прекријете део папира на поду на који пада куглица. Индиго папир оставља отисак на белом папиру, тако да је место домета (удара куглице у под) јасно означено на папиру као плава тачка. Како повећавате висину са које пуштате куглицу, померањем индиго папира пратите промену домета да би куглица увек пала на индиго. Предлажемо да прво спустите куглице са свих висина и после одлепите папир са пода, ставите на сто и мерите домете. Да не би било забуне који је домет за коју висину, са стране поред места пада куглица оловком напишите редни број одређене висине за коју мерите. Пошто, видећете, куглице не падају увек на исто место, домет одређујете на основу средње вредности три мерења за сваку висину.

Задатак 3.1. [2 п] Измерите масу куглице са грешком, користећи дигиталну вагу која се налази на централном столу. Резултат запишите на листу за одговоре 2.

Задатак 3.2. [3 п] Измерите вертикалну висину дна скакаонице у односу на под са грешком. На основу ове висине одредите **време падања** куглице до тла t_p . За вредност гравитационог убрзања узети $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Резултат запишите на листу за одговоре 2.

Задатак 3.3. [11 п] Реализовати експерименталну поставку (залепити папир, одредити вертикалну нулу, поставити индиго) и за три мерења по свакој висини куглице одредите средње домете и њихове грешке при мерењу. Куглицу спуштати са висина 2 cm до 20 cm (**10 мерења**, мањи број не доноси све бодове) у односу на дно скакаонице. Резултате приказати Табеларно (Табела 1 за резултате се налази на листу за одговоре 2).

Задатак 3.4. [2 п] У исту Табелу 1 из претходног задатка у следећу колону унесите вредности потенцијалних енергија на почетку спуштања куглице.

Задатак 3.5. [2 п] На основу задатка 3.2. и 3.3. одредите брзине куглице на крају скакаонице за сваку висину и израчунајте кинетичке енергије. У Табелу 1 унесите вредности брзине и кинетичких енергија на крају скакаонице.



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Задатак 3.6. [2 п] Исто тако у следећу колону Табеле 1 уврстите вредности ротационе енергије на крају скакаонице (рачунајући на основу закона одржања, Задатак 1.)

Задатак 4. [17 п] Цртање графика

На истом графику нацртајте како E_{kin} и E_{rot} зависе од потенцијалне енергије куглице пре пуштања E_{pot} (E_{kin} и E_{rot} цртати на y – оси, а E_{pot} на x – оси). Зависности су линеарне и са графика је потребно наћи везу између E_{kin} и E_{pot} , као и између E_{rot} и E_{pot} . Са графика одредите одговарајуће коефицијенте правца и израчунајте проценат потенцијалне енергије који се трансформише у кинетичку транслаторну и у ротациону енергију. Задатак 4 урадите на милиметарском папиру (график) и у вежбанкама (израчунавања).

Расположива опрема:

- скакаоница
- куглица
- лењир
- висак (централни сто)
- селотејп (централни сто)
- маказе (централни сто)
- индиго папир
- бели папир (три спојена листа)
- метар (централни сто)
- дигитална вага (централни сто)

Свим такмичарима желимо успешан рад !

Задатак припремио: Проф. др Владимир Марковић, ПМФ Крагујевац и Проф. др Имре Гут, Департман за физику, Нови Сад

Рецензент: Марко Милошевић, ПМФ Крагујевац

Председник комисије: Проф. др Мићо Митровић, Физички факултет, Београд



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Ученик (име) _____

Лист за одговоре 1

Задатак 1.1. Потенцијална енергија

$$E_{\text{pot}} =$$

Задатак 2.1. Вертикално кретање куглице

$$t_p =$$

Задатак 2.2. Хоризонтално кретање куглице

$$v_o =$$

Задатак 2.3. Кинетичка енергија

$$E_{\text{kin}} =$$

Напомена. Када урадите овај део, подигните руку и предајте овај папир дежурном наставнику. Од њега ћете добити тачна рашења и, у случају да сте погрешили, можете наставити са експериментом користећи исправне изразе. **Ови делови задатака ће се искључиво бодовати само на основу онога што сте написали на овом листу.**



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Ученик (име) _____

Лист за одговоре 2

Задатак 3.1.

$m = (\quad \pm \quad)$ _____

Задатак 3.2.

$H = (\quad \pm \quad)$ _____

$t_p =$ _____

Задатак 3.2. до 3.6

Табела 1. Приказ мерених и рачунатих величина са куглицом

Р.бр.	h []	D_1 []	D_2 []	D_3 []	D_{sr} []	ΔD []	v_o []	E_{pot} []	E_{kin} []	E_{rot} []
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Напомена: Овај лист предајете на крају рада. Читко попуните табеле, јер ће се овај лист прегледати.



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

РЕШЕЊЕ задатака 1 и 2
(дати ученику када преда Лист за одговоре 1)

Задатак 1. Основни закони

Задатак 1.1. Потенцијална енергија

$$E_{\text{pot}} = mgh$$

где је m маса куглице, g гравитационо убрзање а h почетна висина куглице.

Задатак 2. Хоризонталан хитац куглице

Задатак 2.1. Вертикално кретање куглице

$y = \frac{gt^2}{2}$, и када куглица падне на тло биће $y = H$ и $t = t_p$. Заменивши ове услове у једначину добијемо:

$H = \frac{gt_p^2}{2}$ одакле је време падања куглице $t_p = \sqrt{\frac{2H}{g}}$. Треба приметити да је за сва мерења време падања константно.

Задатак 2.2. Хоризонтално кретање куглице

$x = v_0 t$, на тлу ће бити: $D = v_0 t_p$ тако да је $v_0 = \frac{D}{t_p}$

Задатак 2.3. Кинетичка енергија

$$E_{\text{kin}} = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mD^2}{2t_p^2}$$



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

РЕШЕЊЕ

Задатак 1.1. [2 п] Потенцијална енергија

$$E_{\text{pot}} = mgh \text{ [2п].}$$

где је m маса куглице, g гравитационо убрзање а h почетна висина куглице.

Задатак 2. [9 п] Хоризонталан хитац куглице

Задатак 2.1. [3 п] Вертикално кретање куглице

$y = \frac{gt^2}{2}$, и када куглица падне на тло биће $y = H$ и $t = t_p$. Заменивши ове услове у једначину добијемо:

$H = \frac{gt_p^2}{2}$ одакле је време падања куглице $t_p = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ [3п]. Треба приметити да је за сва мерења време падања константно.

Задатак 2.2. [3 п] Хоризонтално кретање куглице

$x = v_0 t$, на тлу ће бити: $D = v_0 t_p$ тако да је $v_0 = \frac{D}{t_p}$ [3п].

Задатак 2.3. [3 п] Кинетичка енергија

$$E_{\text{kin}} = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mD^2}{2t_p^2} \text{ [3п].}$$

Задатак 3.1. [2 п] $m = (5,37 \pm 0,01) \text{ g}$ [2п].

Задатак 3.2. [3 п] $H = (84,3 \pm 0,1) \text{ cm}$ [2п]. Тако је $t_p = \sqrt{\frac{2H}{g}} = 0,415 \text{ s}$ [1п].

Задатак 3.3. [11 п] Резултати су у Табели 1.

Табела 1. Приказ мерених и рачунатих величина са куглицом (бодовати 10 тачака са укупним поенима датим у заглављу табеле)

Задатак		3.3.	[3п]		[4п]	[4п]		3.4. [2п]	3.5. [2п]	3.6. [2п]
Р.бр.	h [cm]	D_1 [cm]	D_2 [cm]	D_3 [cm]	D_{sr} [cm]	ΔD [cm]	v_0 [m/s]	E_{pot} [mJ]	E_{kin} [mJ]	E_{rot} [mJ]
1	2,0	19,6	19,6	19,7	$\begin{smallmatrix} 19,633 \\ 19,63 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,0666 \\ 0,07 \end{smallmatrix}$	0,47	1,05	0,60	0,45
2	4,0	26,8	26,7	26,6	$\begin{smallmatrix} 26,7 \\ 26,70 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,1 \\ 0,10 \end{smallmatrix}$	0,64	2,11	1,11	0,99
3	6,0	32,7	32,8	32,5	$\begin{smallmatrix} 32,666 \\ 32,67 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,167 \\ 0,17 \end{smallmatrix}$	0,79	3,16	1,67	1,49
4	8,0	37	36,9	37,2	$\begin{smallmatrix} 37,033 \\ 37,03 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,167 \\ 0,17 \end{smallmatrix}$	0,89	4,21	2,14	2,07
5	10,0	39,5	40,5	40,6	$\begin{smallmatrix} 40,2 \\ 40,2 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,7 \\ 0,7 \end{smallmatrix}$	0,97	5,27	2,52	2,74
6	12,0	43,8	43,9	44,2	$\begin{smallmatrix} 43,967 \\ 44,0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,233 \\ 0,3 \end{smallmatrix}$	1,06	6,32	3,02	3,30
7	14,0	45,2	46,4	46,6	$\begin{smallmatrix} 46,066 \\ 46,1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,8667 \\ 0,9 \end{smallmatrix}$	1,11	7,38	3,32	4,06
8	16,0	48,6	48,8	49,3	$\begin{smallmatrix} 48,9 \\ 48,9 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,4 \\ 0,4 \end{smallmatrix}$	1,18	8,43	3,74	4,69
9	18,0	51,5	51,6	52	$\begin{smallmatrix} 51,7 \\ 51,7 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,3 \\ 0,3 \end{smallmatrix}$	1,25	9,48	4,18	5,31
10	20,0	52,6	52,8	53,1	$\begin{smallmatrix} 52,833 \\ 52,8 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0,2666 \\ 0,3 \end{smallmatrix}$	1,27	10,54	4,36	6,18

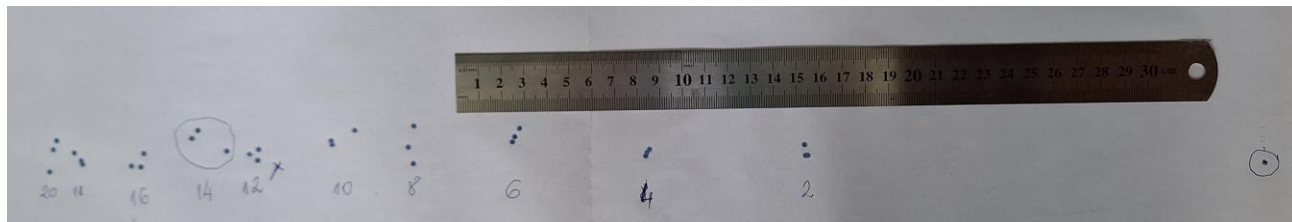
Задатак 3.4. [2 п] У Табели 1. колона E_{pot}

Задатак 3.5. [2 п] У Табели 1. колона E_{kin}

Задатак 3.6. [2 п] У Табели 1. колона E_{rot}



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК



Слика 1. Изглед папира са отиснутим дометима

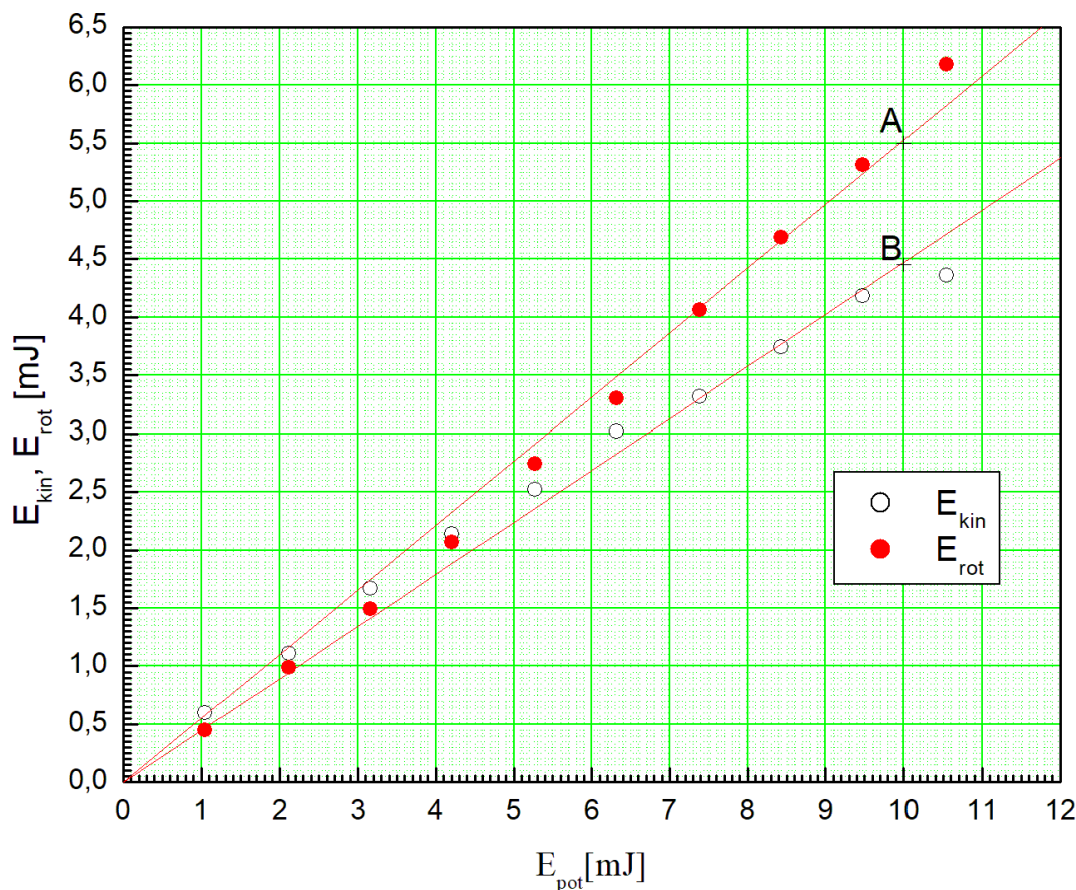
Задатак 4. [17 п] Цртање графика

Како су графици линеарни и праве пролазе кроз нулу, везе су:

$$E_{\text{kin}} = k_1 E_{\text{pot}} \text{ и } E_{\text{rot}} = k_2 E_{\text{pot}}$$

Коефицијенти праваца се одређују на основу скинуте вредности координата две тачке са графика (између претпоследње и последње тачке). За први график је вредности тачке $A=(10; 4,45)$ у mJ [1п], тако да је $k_1 = \frac{y_A}{x_A} = 0,445$ (0,4-0,5 [2п]; 0,35-0,55 [1п]). За други график је $B=(10; 5,5)$ [1п] па је $k_2 = \frac{y_B}{x_B} = 0,55$ (0,5-0,6 [2п]; 0,45-0,55 [1п]) У кинетичку транслаторну енергију се трансформише 45% [0,5п], док у ротациону 55% [0,5п] почетне потенцијалне енергије. **График 10п [5+5п]**

Зависност кинетичке и ротационе енергије куглице од потенцијалне



Негативни поени за график, између осталог за:

- Нису уцртане све тачке – 0.5 за тачку
- Без наслова -1
- Лоша размера -2 (график заузима мање од 1/4 простора папира)
- Осе нису обележене -2
- Унете су мерене бројне вредности на осе -2
- Ако 1. и 2. изабрана тачка није између 1. и 2. односно претпоследње и последње експерименталне -2
- Изабране тачке нису у мереном опсегу -2

- Лоша размера подеока -2 (1 mm на милиметарском папиру може да одговара ... 0.05; 0.1; 0.2; 0.4; 0.5; 1; 2; 4; 5; 10 ... јединица величине која се приказује)

Негативни поени за рачун, између осталог за:

- Лоша размера – за коефицијент правца 50% предвиђених бодова
- Ако нису изабране добре тачке са графика – за тражене величине 50% предвиђених бодова

Коришћење експерименталних тачака уместо тачака са графика не доноси поене.