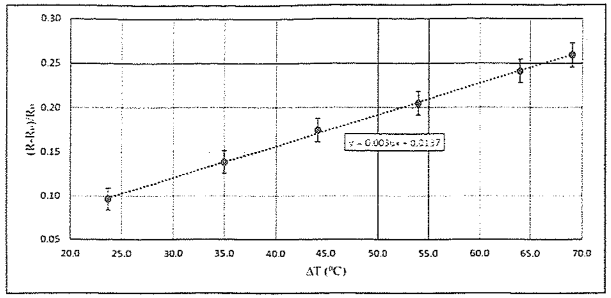
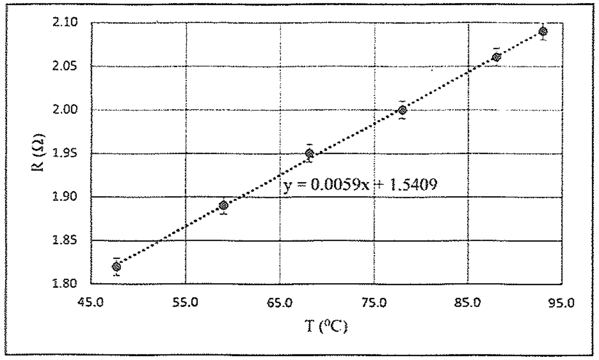



Слика 2. Зависност $\Delta R / R_0$ од $\Delta T$




Слика 3. Зависност електричног отпора $R$ од температуре $T$

## ЗАКЉУЧАК

Зависност отпорности метала од температуре користи се у разним мерним и аутоматизованим уређајима. Најважнији међу њима је отпорни термометар. Експеримент који је описан у овом раду релативно је једноставан и може се реализовати у скоро свакој средњошколској лабораторији из физике. Мерењем се добијају поуздани резултати о чему сведочи добро поклапање израчунате вредности за температурски коефицијент $\alpha$ и вредности коју налазимо у таблицама.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Henry D, 1995, Resistance of a wire as a function of temperature, *Phys. Teacher* **33** 96
2. D. Halliday and R. Resnick, Fundamentals of Physics (Wiley, New York, 1986)
3. J. Sanny, University Physics (WCB Wm. C. Brown Publishers, 2000)
4. P. Fornasini, The Uncertainty in Physical Measurements (Berlin: Springer, 2008), pp. 258–261



Настава физике, број 11, 2022, стр 139 - 142

# Експеримент са конусним клатном

Милан С. Ковачевић

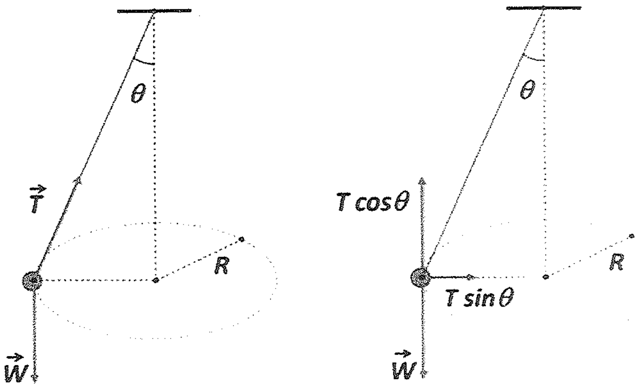
*Природно-математички факултет у Крагујевцу*

**Апстракт.** Експеримент је сјајан начин да се ученици упознају са основама физике, и визуелном демонстрацијом олакшају разумевање сложених закона и појмова. У раду је описан експеримент са куглицом која раномерно кружи у хоризонталној равни. Круг који описује куглица је база конуса, са изводницом коју чини конац о који је куглица обешена. Циљ експеримента је анализа кретања конусног клатна и анализа сила које делују на ово клатно. Мерењем дужине клатна, његове масе и периода кретања, могу се упоредити вредности силе затезања у концу измерене помоћу динамометра са резултатом који даје теоријски модел.

**Кључне речи**: кружно кретање, центрипетална сила, сила теже, сила затезања, период.

## КОНУСНО КЛАТНО

Куглица масе $m$ која је окачена о неистегљиву нит дужине $L$, која ротира око непокретне осе и описује кружницу полупречника $R$ у хоризонталној равни назива се *конусно клатно*. Дијаграм сила које делују на клатно су приказане на слици 1.




Слика 1. Дијаграм сила које делују на конусно клатно. Векторски збир тежине тела $\bar{W}$ и силе затезања $\bar{T}$ једнак је центрипеталној сили $F_{ctp} = m\bar{a}_{ctp}$. Сила затезања $T$ разложена је на компоненте, вертикалну и радијалну, $T\cos\theta$ и $T\sin\theta$, редом.

Куглица се креће равномерно описујући кружницу у хоризонталној равни. Укупна сила која делује на куглицу једнака вектроском збиру тежине тела $\vec{W}$ и силе затезања $\vec{T}$ одговара ценрипеталној сили $\vec{F}_{ctp} = m\vec{a}_{ctp}$ . Овде је $m$ маса куглице и $\vec{a}_{ctp}$ центрипетално убрзање. Ако резултанта свих сила које делују на тело има правац полупречника кружнице, и ако је усмерена ка центру кружне путање, тело има само центрипетално убрзање, креће се равномерно. У случају кетања приказаног на слици 1 имамо

$$\vec{F} = \vec{T} + \vec{W} = T\sin\theta\,\vec{e}_r + (T\cos\theta - W)\,\vec{e}_z \qquad (1)$$

и

$$\vec{a} = a_{ctp}\vec{e}_r + a_z\vec{e}_z \qquad (2)$$

Пошто се тело креће само у хоризонталној равни, $a_z = 0$ . Одавде следе једначине $W = T\cos\theta$ и $ma_{ctp} = T\sin\theta$ . Интензитет центрипеталног убрзања износи $a_{ctp} = \omega^2 R$ где је $\omega$ кружна фреквенција и $R$ полупречник кружнице. Комбиновањем ових формула, уз $W = mg$ , лако се изводи веза између угла $\theta$ , кружне фреквенције $\omega$ и полупречника путање $R$ :

$$tg\theta = \frac{\omega^2 R}{g} \qquad (3)$$

Интересантно је испитати како се мења интензитет силе затезања од угла $\theta$ . Применом једноставне алгебре долазимо до израза за силу затезања у функцији од угла $\theta$ :

$$T = \frac{m\omega^2 R}{\sin\theta} \qquad (4)$$

Узимајући за $\sin\theta = R/L$ и $\omega = 2\pi/\tau$ где је $\tau$ период клатна, добија се израз за силу $T$ у функцији од периода кретања клатна $\tau$ :

$$T = \frac{4\pi^2 mL}{\tau^2} \qquad (5)$$

За реализацију експериментам потребно је измерити масу клатна, дужину клатна и период кретања. Сила затезања се затим израчунава помоћу формуле (5), и та вредност силе се упоређује са вредношћу коју показује динамометар.

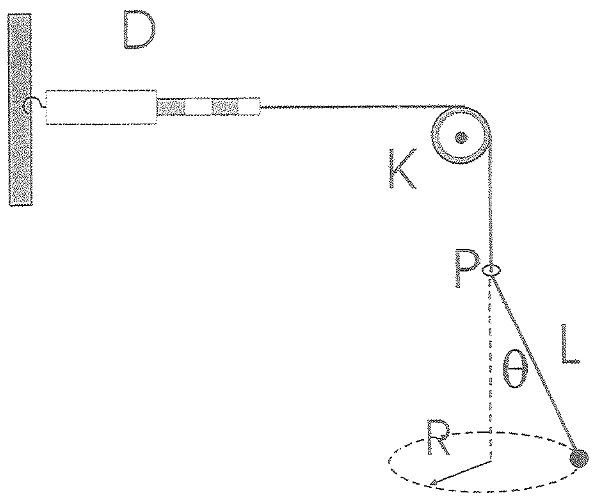




## ЕСКПЕРИМЕНТ

Скица експеримента је приказана на слици 2. Метална куглица је преко танког неистегљивог конца, који пролази кроз мали прстен P и преко лаганог котура K, повезан са динамометром D. Систем је стабилизован сетом стега и металних шипки. Период кретања куглице се мери штоперицом. Маса клатна се бира у складу са расположивим динамометром и његовим мерним опсегом. Може се користити динамометар са оспегом од 2,0 N и најмањим подеоком на скали од 0.2 N, или динамометар са мерним опсегом 5 N. Избор динамометра зависи од масе куглице, и обрнуто. Приближна вредност угла $\theta$ бира се на основу израза $W = T\cos\theta$ , предвиђајући 30% увећање силе затезања приликом кретања куглице у поређењу са силом затезања у стању мировања. У стању мировања (вертикални положај конца) имамо да је $T = (1/\cos\theta)W = 1,3W$ . Одавде се лако налази вредност за угао отклона клатна, $\cos\theta = 1/1,3 = 0,707$ односно $\theta \approx 40^\circ$ . Ако леву страну релације (3) препишемо у функцији од периода кретања клатна $\tau$ , добија се

$$tg\theta = \left(\frac{4\pi^2}{g}\right)\frac{R}{\tau^2} \qquad (6)$$




Слика 1. Скица експерименталне поставке (D - динамометар, K - котур, P- прстен)

Узимајући у обзир везу између полупречника путање и дужине клатна $R = L\sin\theta$ , релација (6) постаје:

$$\cos\theta = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right)\frac{\tau^2}{L} \qquad (7)$$

Једном када се фиксира угао $\theta$, потребно је измерити период кретања клатна и дужину клатна (ово директно имплицира полупречник путање клатна).

## ЗАДАЦИ

1. Нацртати дијаграм сила које делују на конусно клатно, и извести формулу за силу затезања $T$.
2. Поставити експерименталну поставку према скици која је приказано на слици 1.
3. Измерити масу клатна $m$ и његову дужину $L$.
4. Измерити силу затезања $T_0$ помоћу динамометра када куглица мирује (вертикални положај клатна). Упоредити ову вредност силе са тежином $W = mg$.
5. Измерити период клатна $\tau$, и применом израза (5) израчунати вредност силе затезања $T$. Ову вредност упоредити са силом коју показује динамометар када је клатно у стању кретања.
6. На основу вредности сила $W$ и $T$ приближно одредити угао $\theta$ ($\cos\theta = W/T$).
7. Проценити апсолутну грешку $\Delta T$.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Б. Николић, Физичка механика (Физички факултет, Београд, рецензирана скрипта).
2. S.S. Tongaonkar, V.R. Khadse R. Cross, Experiment with conical pendulum, *Eur. J. Phys. Education* **2** (1) (2011) ISSN1309 7202.
3. The Conical Pendulum Problem, https://www.cheenta.com/conical-pendulum/
4. R. Cross, A conical pendulum model of a rotating chain, *Eur. J. Phys.* **42** 035007 (2021).
5. The conical pendulum, https://www.thinkib.net/physics/page/4144/optional-practical-the-conical-pendulum




Настава физике, број 11, 2022, стр 143 - 146

# Одређивање коефицијента трења котрљања применом закона одржања енергије

Милан С. Ковачевић, Марко М. Милошевић, Љубица Кузмановић

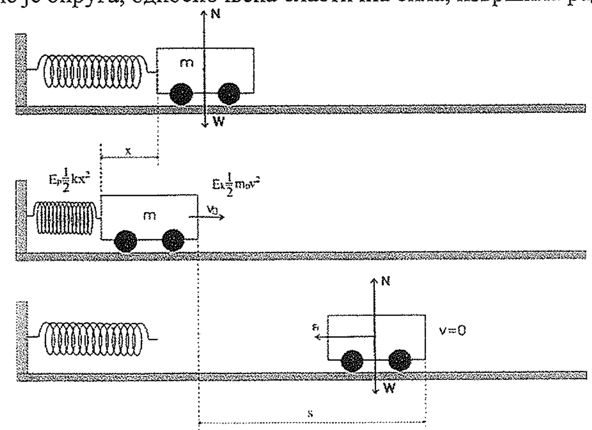
*Природно-математички факултет у Крагујевцу*

**Апстракт.** У раду је описан експеримент за одређивање коефицијента трења котрљања применом закона одржања механичке енергије. На основу израчунатих вредности закључујемо да је вредност коефицијента трења котрљања релативно мала, и да маса колица утиче на силу трења, али не утиче на вредност коефицијента трења котрљања. Осим одређивања коефицијента трења котрљања, описани експеримент се може користити и за проверу другог Њутновог закона механике.

**Кључне речи:** трење, котрљање, закон одржања механичке енергије

## ТЕОРИЈСКА ОСНОВА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАВКА

Колица масе $m$ су закачена за један крај хоризонтално постављене опруге. Дужина опруге у опуштеном, несабијеном стању је $x_0$. У равнотежном положају, тежина колица је једнака нормалној сили реакције подлоге (слика 1). Када се опруга сабије за дужину $x$ у односу на своју дужину у деформисаном стању, потенцијална енергија сабијене опруге коефицијента еластичности $k$ износи $E_p = (1/2)kx^2$. Када се опруга ослободи, делује њена еластична сила која гура колица и колица се покрећу. Тиме је опруга, односно њена еластична сила, извршила рад на колицима.




Слика 1. Поставка за мерење коефицијента трења котрљања.