

ISSN 2406-2626

Број 6
НАСТАВА ФИЗИКЕ



**Зборник радова
са XXXVI Републичког семинара о настави физике**



Кладово 2018.

Mikovac

НАСТАВА ФИЗИКЕ

Број 6, Мај 2018

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



Часопис *Настава физике* је публикација Друштва физичара Србије. У часопису се публикују радови из методике наставе физике, историје и филозофије физике и прикази дисертација, монографских и уџбеничких публикација из области наставе физике. Намењен је наставницима физике основних и средњих школа, наставницима физике високих школа струковних студија, као и наставницима факултета који се баве истраживањима у области наставе физике.

*Гостујуће уредништво
(Комисија за Семинаре ДФС-а)*

Саша Ивковић, председник
Душанка Обадовић
Андријана Жекић
Милан Ковачевић
Стеван Јокић, Београд
Мирјана Поповић – Божић
Слађана Николић
Предраг Савић
Братислав Обрадовић

Организациони одбор Семинара

Братислав Обрадовић, председник
Нора Тркља
Иван Крстић
Никола Цветановић
Јелена Стошић
Јелена Марковић
Јована Милијановић
Марија Марковић
Ненад Грозданић
Бранка Радуловић
Владимир Марковић

*В.Д Главог и одговорног уредника
Ивана Богдановић*

*Технички уредник
Саша Ивковић
Иван Крстић*

*Наслов:
„Настава физике“*

*Поднаслов:
„Зборник радова са XXXVI Републичког
семинара о настави физике“*

*Издавач:
Друштво физичара Србије, Београд*

*Штампарија:
СЗП „Tampon-dizajn“ Панчево*

ISSN: 2406-2626

Тираж: 300

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

53

НАСТАВА физике : зборник радова са
Републичког семинара о настави физике / уредник
Ивана Богдановић. - 2015, бр. 1- . - Београд:
Друштво физичара Србије, 2015- (Панчево :
Tampon-dizajn). - 25 cm
Два пута годишње
ISSN 2406-2626 = Настава физике
COBISS.SR-ID 214910476

Максвелово клатно - прорачун и реализација

Милан С. Ковачевић

Природно-математички факултет, Крагујевац

Апстракт. Једно од најпопуларнијих учила којим се демонстрира суштина закона ротације јесте Максвелово клатно. У овом раду је најпре изложен прорачун таквог клатна, а онда је описана и једна реализација овог учила.

Кључне речи: момент импулса, енергија, закони одржања.

МОМЕНТ ИМПУЛСА

При кретању тела по орбитама или обртајући се око своје осе, јавља се читав низ необичних ефеката за које је одговоран момент импулса. На пример, бициклиста не држећи се рукама за волан, нагне се десно, али не падне већ скреће десно. Балерина испружи руке и почиње да се окреће на врховима прстију. Затим она скупља руке и изненада се њено обртање убрзава. Комета, која се налази на елиптичкој орбити, креће се врло споро док се не приближи Сунцу. Затим се она креће све брже и брже, нагло обилази Сунце и почиње да губи брзину са удаљавањем од њега у простор сунчевог система. Све те појаве произилазе из очувања физичке величине која се назива момент количине кретања, а потпуно равноправно се користи израз момент импулса.

Неколико нумеричких примера

Размотримо неколико нумеричких примера. Точак обичног бицикла има масу, рецимо, 2kg и радијус 30cm. Ако замислимо да је сва маса распоређена по ободу, и да се креће брзином 4.5m/s, точак има момент импулса $2.7\text{kg m}^2/\text{s}$. У Боровом моделу атома из 1913. године, валентни електрон у атому се креће по кружној орбити око језгра као центра атома. Маса електрона је реда величине 10^{-30}kg , радијус атома је реда величине 10^{-10}m , а брзина електронна је реда 10^6m/s . Дакле, момент импулса је $10^{-34}\text{kg m}^2/\text{s}$. Овако малу величину је тешко и замислити, иако она битно управља понашањем атома. Ако сада размотримо неко крупно тело, нпр. Земљу која се обрће око своје осе са учестаношћу један обрт за 24h. Ако би густина Земље била свуда једнака, момент инерције би износио $I = (2/5)m_z R^2 = 0.4m_z R^2$, где је m_z маса Земље, а R је радијус Земље. У стварности момент инерције Земље је $0.344m_z R^2$. Момент импулса је дакле $L_z = I\omega = 6.1 \cdot 10^{33}\text{kg m}^2/\text{s}$. Видимо да је ова величина толико пута већа од јединице, колико је пута момент импулса електрона мањи од јединице. Из ових примера се види да момент импулса у разним

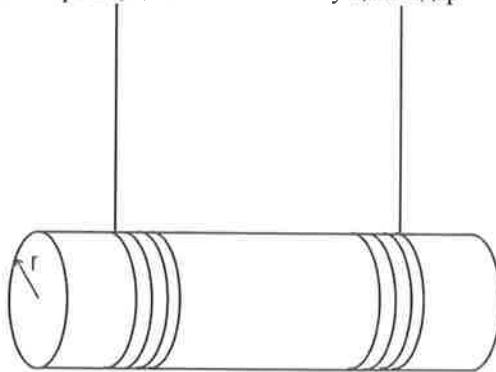
ситуацијама може имати веома различите вредности које се мењају за и до 70 редова величине у овим примерима: $L_z / L_a \approx 6 \cdot 10^{67}$.

Очување момента импулса

У изолованом физичком систему у коме не делују моменти спољашњих сила, промена момента импулса треба да буде једнака нули, или другим речима, момент импулса се одржава. Ово се записује у форми $d\mathbf{L}/dt=0$ односно $\mathbf{L} = const.$ Понекад физички систем није потпуно изолован, него је једино компонента момента силе једнака нули дуж једног правца, на пример дуж z осе. Тада је $L_z = const.$, одакле закључујемо да се закон одржања момента импулса може примењивати и за делимично изоловане физичке системе [1].

МАКСВЕЛОВО КЛАТНО

Замислимо кружни цилиндар од хомогеног материјала густине ρ , полупречника базе r и висине h . На крајеве цилиндра намотан је танки, лаки и неистегљив конач који је чврсто спојен за плафон (слика 1). Кад се цилиндар пусти да вертикално пада, конач ће се одмотавати, јавиће се кинетичка енергија ротационог и транслаторног кретања цилиндра, тело ће у доњој тачки имати максималну вредност момента количине кретања. По законима физике, цилиндар ту неће моћи да се заустави, он ће наставити да ротира, конач ће сада се намотавати и тело ће се попети до горње максималне тачке путање. Затим тело ће поново да пада. На тај начин се реализује специфично осцилаторно кретање. Амплитуда ће се временом смањивати, због дејства трења, док се на послетку цилиндар не заустави.



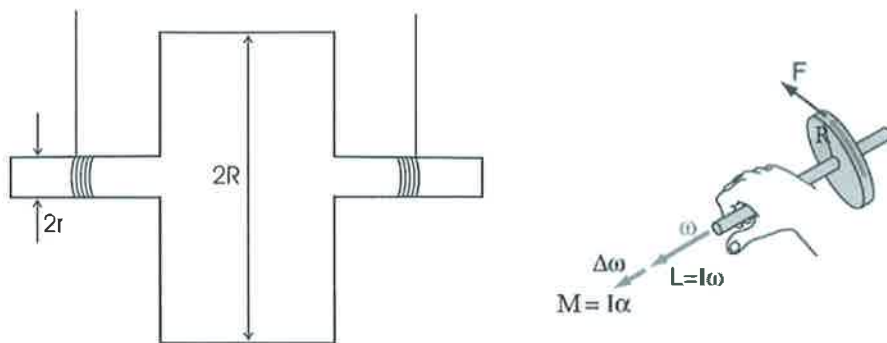
СЛИКА 1. Максвелово клатно.

Време од почетка кретања до момента кад се конач дужине H потпуно одмота износи $\Delta t = \sqrt{2\theta/\alpha}$ где је угаони померај $\theta = H/r$. Из другог Њутновог закона налазимо угаоно убрзање $\alpha = M/I$. Активни момет силе изазива тежина цилиндра делујући на краку величине полупречника цилиндра, тј. $M = mgr$. Укупни момент

инерције се израчунава применом Штајнерове теореме, и тако добијамо $I = mr^2/2 + mr^2$. Коначно имамо да је $\Delta t = \sqrt{3H/g}$. Ово време је половина периода осциловања у идеализованом случају неамортизованих осцилација. Тако долазимо до периода осциловања Максвеловог клатна $T = 2\sqrt{3}\sqrt{H/g}$. У овој упрошћеној реализацији, период не зависи од геометрије цилиндра, нити од густине његовог материјала, већ само од дужине конца (слично математичком клатну).

ПРАКТИЧНА РЕАЛИЗАЦИЈА

У практичној реализацији Максвеловог клатна пожељно је да се смањи момент силе а повећа момент инерције. То се постиже тиме што се на танки цилиндар полупречника r наглави дебели, масивни цилиндар полупречника R (слика 2).



СЛИКА 2. Практична реализација Максвеловог клатна.

Лако се показује да је у овом случају период осциловања дат формулом $T = 2\frac{R}{r}\sqrt{H/g}$. Период осциловања се повећава јер је $R > r$. Конкретно клатно је направљено од дрвеног цилиндра полупречника $R = 8\text{ cm}$. Конац је намотан на цилиндар полупречника $r = 2\text{ cm}$.

Максвелово клатно се може користити за демонстрацију и одржања енергије и момента импулса. Када је конач намотан, точак се налази на висини H и поседује потенцијалну енергију $E_p = mgH$ где је m маса клатна. Када пустимо точак из стања мировања да слободно пада, канап се одмотава, потенцијална енергија се трансформише у кинетичку енергију транслације и кинетичку енергију ротације. У идеализованом случају важи закон одржања

$$mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}. \quad (2)$$

Када се канап одмота до краја, у најнижој тачки клатно има максимални момент импулса, и на основу закона одржања импулса, точак ту неће стати, наставља да ротира, пење се, при чему се кинетичка енергија ротације претвара у кинетичку

енергију транслације и потенцијалну енергију. Уколико не би било губитака енергије овај процес би се понављао неограничено дуго. Међутим, после извесног времена, услед трења и отпора ваздуха, точак се зауставља. Дакле, у реалном случају, закон одржања енергије даје

$$mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + W \quad (3)$$

где је W члан који описује расипање енергије (топлотна енергија) услед трења и отпора средине.

ЗАКЉУЧАК

Клатно описано у овом раду је једноставно и моћно наставно средство за демонстрирање основних закона и принципа физике. Учило функционише сасвим солидно и погодно је да се на часу из руке, демонстрира осциловање као и закони одржања енергије и момента импулса. Уз мале модификације, апаратура се може искористити и за друге експерименталне активности, на пример за мерење брзине точка $v(t)$, а затим линеаризацијом графика може се израчунати и момент инерције самог точка.

ЛИТЕРАТУРА

В. М. Дерябин, Законы сохранения в физике, Издательство Просвещение, Москва 1982.

Maxwell's pendulum - calculation and realization

Milan S. Kovačević

Faculty of Science, Department of Physics, Kragujevac, Serbia

Abstract: One of the most popular experimental setup to demonstrate conservation energy and angular momentum is Maxwell's pendulum. In this paper, the calculation of this experimental set up and procedure of its practical realization is described.