



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКИ
ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



**Значај експерименталних вјежби у обради теме
„Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у
гимназији
- мастер рад -**

Ментор:
др Соња Скубан

Кандидат:
Ивана Љубојевић

Нови Сад, 2013.год.

Овај мастер рад је урађен под руководством менторке др Соње Скубан, те јој се захваљујем за огромну помоћ при изради рада.

Захваљујем се менторки на помоћи приликом избора теме завршног рада, током осмишљавања његове концепције и свим корисним сугестијама током израде мастер рада.

**Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у
настави физике у гимназији**

Садржај.....	1
1. Увод.....	2
2. Теоријска основа.....	6
3. Демонстрациони експерименти.....	26
3.1. Примјери осцилаторног и периодичног кретања из окружења ученика.....	26
3.2. Кретање по орбитама.....	27
3.3. Осциловање опруге.....	28
3.4. Математичко клатно I.....	29
3.5. Математичко клатно II.....	29
3.6. Закон одржања енергије.....	30
3.7. Пригушене осцилације.....	31
3.8. Принудне осцилације.....	31
3.9. Механичка резонанција.....	32
4. Лабораторијске вјежбе.....	34
4.1. Обавезни експерименти.....	34
4.1.1. Одређивање убрзања силе Зељине теже помоћу математичког клатна.....	34
4.1.2. Одређивање коефицијента еластичности опруге статичком методом.....	36
4.1.3. Одређивање периода осциловања еластичне опруге.....	37
4.1.4. Одређивање момента инерције торзионог клатна.....	38
4.2. Лабораторијске вјежбе за додатну наставу.....	39
4.2.1. Одређивање убрзања Земљине теже промјеном тачке вјешања физичког клатна.....	39
4.2.2. Одређивање фреквенције принудног осцилатора.....	42
4.2.3. Одређивање логаритамског декремента и реституционе константе пригушених осцилација.....	44
4.2.4. Одређивање фреквенције осциловања батића електричног звонца помоћу Мелдеовог вибратора.....	46
5. Симулације на рачунару.....	48
5.1. Математичко клатно I.....	48
5.2. Математичко клатно II.....	49
5.3. Осциловање еластичне опруге.....	50
6. Значај експерименталних вјежби у остваривању циљева наставе физике у обради теме „осцилације и периодично кретање“.....	51
7. Закључак.....	54
8. Литература.....	56
Кратка биографија.....	57

1. УВОД

Знања која ученици данас стичу су углавном енциклопедијска, у већој мјери површна, недовољно трајна и дубока. Из тих разлога савремена настава физике мора бити тако организована да се ученицима створе околности у чијим оквирима они самостално откривају већ откривена знања у науци. Таквим радом ученик се најчешће суочава са овим питањима: Шта си урадио? Шта си записао? Шта си запазио? Шта закључујеш? Да би нашли одговор на та и слична питања потребно је нешто израчунати, нацртати граф, размислити или урадити више експеримената. Важно је да оваквим поступком ученик пролази кроз све фазе рада карактеристичне за научно истраживање. На тај начин постиже се трајност знања, стичу радне навике и шири научни и технички видокруг ученика.

Метода лабораторијских радова постаје неопходна у наставном процесу, јер она најдиректније упућује ученика у свијет науке. Оспособити ученика да истражује проблеме, изврши нумеричку обраду резултата, изводи анализу и доноси закључке крајњи је циљ савремене наставе физике. Остварити тај циљ могуће је само онда ако се ученик привикава на самостални рад у лабораторији. Једно је објаснити некакав физички феномен, а сигурно је сасвим друго омогућити ученику да тај феномен проучава. [

Рад у лабораторији је метода у којој :

- се ученици срећу са одређеном физичком појавом;
- ученици стичу навику коришћења апаратура;
- ученици стичу умијеће планирања извођења експеримента;
- ученици стичу умијеће обраде резултата експеримента и цијелог експеримента;
- ученици стичу техничку културу;
- ученици се уче правилном посматрању објеката и појава и извођењу закључака.

Експерименте у физици дефинишемо као изазивање природних појава у вјештачким условима. У науци и настави експерименти се класификују на:

- истраживачке (изводећи их долази се до нових сазнања);
- критеријумске (циљ ових експеримената је доћи до таквих резултата који исказане претпоставке потврђују или оповргавају).

Према оствареном дидактичком циљу експерименти се дијеле на :

- демонстрационе експерименте;
- лабораторијске вјежбе ;
- лабораторијске експерименталне задатке;
- домаћи експериментални задаци;
- израда учила и апаратура. [

Демонстрациони експеримент у настави је експеримент којег показујемо ученицима тј. пред њима изводимо. Демонстрациони експеримент најчешће примјењујемо у наставном процесу када ученици стичу нова знања из физике и добијају нове информације о природним појавама, те он може имати истраживачки и илустративни карактер. Помоћу демонстрационог

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

експеримента ученици стичу исправну представу о некој физикалној величини, физикалном закону и појави. Физикалне величине и добијени подаци могу се мјерити и стављати у међусобну зависност и на основу тога ученици ће моћи самостално „откривати“ физикалне законитости.

Експеримент је један од битних поступака помоћу којих упознајемо природне појаве, те би најкорисније било да га ученик изводи сам. Но при усвајању новог градива учениково извођење мора бити врло добро организовано да би постигло свој циљ. За разлику од лабораторијских вјежби које ученик изводи сам, *демонстрациони експеримент организује и изводи сам наставник*. То је за ученика у једну руку губитак, јер га на тај начин ускраћујемо за организацијске и моторне активности. Предност демонстрационог експеримента је што његово извођење *захтијева мање времена* него експеримент којег ученици сами изводе, па уз лабораторијски рад ученика, ипак има своје оправдање.

Демонстрација физикалних експеримената намеће експериментатору тј. наставнику много различитих *захтијева*. Експериментом се мора *тачно приказати* тражена физикална појава и односи међу физикалним величинама што се при тој појави јављају. Експеримент мора бити *прегледан* и тако постављен да ученици уочавају управо оне појаве које су за тај експеримент битне и експеримент морају видјети истовремено сви ученици.

Ефекти демонстрационих експеримената морају бити довољно *уочљиви* како се они не би морали ученицима сугерисати. При приказивању неке природне законитости физикалним експериментом морамо пазити да демонстрирамо управо ту појаву и да је она, у низу других, споредних, по својим учинцима доминантна. Сви ти захтјеви, којих морамо бити свјесни у припреми експеримента, дакле прије извођења експеримента пред ученицима, намећу нам потребу да размислимо о *техници извођења* демонстрационих експеримената у настави физике у основној и средњој школи. При томе *морамо пазити да нам техника не буде циљ експеримента* и да не засјени ефекте појаве коју желимо помоћу ње демонстрирати. Иако има експеримената код којих не можемо избјећи и комплицираније технике извођења, ипак *морамо пазити да нам техника само придоније бољем извођењу експеримента*, да побољшава оне ефекте које ученици требају посматрати и на основи њих долазити до тачно одређених закључака садржаних у циљу експеримента. Основна *ученикова активност* при демонстрационом експерименту *јесте проматрање*. Треба нагласити да овдје проматрање не значи само гледање него и *активни мисаони процес*. Захваљујући томе, ученик разумије зашто експеримент изводимо, како га изводимо, те шта нам резултат експеримента каже. *Разговором и дискусијом* ученике треба наводити на одређени начин мишљења и на стварање јасних закључака да би постали активни судионици при учењу. Изводећи демонстрациони експеримент ми заједно са ученицима истражујемо природу. Ученика морамо оспособити да разумије и ријечима и математичким изразом сам изрази одговоре што нам их природа експеримента даје. *Знање* стечено на овај начин бит ће *много трајније* од знања које ученик усваја само гледањем и наставниковим излагањем. Исправно изведен демонстрациони експеримент навикава ученика на одређен начин мишљења и помаже му да развије исправан однос према природним појавама и према објективном свијету изван његове свијести уопште. █

Сви демонстрациони експерименти и лабораторијске вјежбе придоније остваривању циљева наставе из те области физике. У овом раду описат ћу

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

демонстрационе експерименте, лабораторијске вјежбе и симулације из теме „осцилације и периодично кретање“.

У оквиру наставног програма за физику, за трећи разред гимназије, за смјерове: општи и природно-математички, за тему „осцилације и периодично кретање“, дефинисани су *циљеви (исходи)* :

■ *Ученик треба да:*

- објасни основне величине које описују хармонијске осцилације на конкретним примјерима осциловања: клатна, тега окаченог о опругу, мембране звучника и слично;
- објасни разлику између идеалног и реалног осцилатора;
- изведе формуле за елонгацију, брзину и убрзање код линеарног хармонијског осцилатора;
- објасни претварање потенцијалне у кинетичку енергију (и обратно) код линеарног хармонијског осцилатора, и закон одржања енергије;
- графички представи слагање двије осцилације са истим или различитим фазама и амплитудама;
- разликује релативну и квазиеластичну силу;
- изведе и објасни формуле за период математичког и физичког клатна;
- разликује слободне, пригушене и принудне осцилације;
- наведе ефекте (корисне и штетне) механичке резонанције на примјерима;
- рјешава једноставније задатке у вези са осцилацијама са малим амплитудама;

За обраду теме осцилација предвиђено је 12 часова, а *појмове* које ученик треба да усвоји су:

- Основне величине које описују хармонијске осцилације: осцилација, период, фреквенција, елонгација, амплитуда;
- Линеарни хармонијски осцилатор. Енергија осцилатора;
- Слагање и разлагање осцилација. Спектар;
- Математичко клатно. Физичко клатно;
- Пригушене осцилације;
- Принудне осцилације;
- Механичка резонанција.

Програм наставе физике за гимназију садржи и обавезан минимум демонстрационих експеримената за сваку тематску цјелину. Осим тих експеримената, *наставник може да уведе одређена проширења, замјене и допуне* да би још више обогатио и осмислио експерименталну основу наставе физике.

Демонстрациони експерименти предвиђени у настави физике за III разред, за ученике гимназије, који физику имају четири године, у оквиру наставне теме осцилације и периодично кретање су:

- Осциловање тега окаченог о опругу;
- Осциловање клатна.

Само једна *лабораторијска вјежба* је предвиђена програмом из области осцилација и периодичног кретања и то је:

- Одређивање убрзања Земљине теже помоћу клатна;

Такође је предвиђена и једна *анимација*:

- Рушење моста у Вашингтону, 1940 год.; 

Мислим да је овај број предвиђених демонстрационих експеримената и лабораторијских вјежби недовољан, те из тог разлога у раду објашњавам девет

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

демонстрационих експеримената, четири обавезне лабораторијске вјежбе, три симулације и вјежбе које би се могле изводити на додатној настави. Демонстрациони експеримент може послужити у свим етапама наставног процеса. Настојала сам да одабрани демонстрациони експерименти покажу што више различитих наведених својстава експеримената. У њима дефинишем и питања која ученицима постављам и изводим закључке. Изводећи демонстрационе експерименте ученике припремам за извођење лабораторијских вјежби, тако да сам у овом раду обрадила и лабораторијске вјежбе, које се могу изводити у редовној настави и додатној настави. Наравно, предвидјела сам и слабију опремљеност кабинета физике, те у том случају, употребу симулација експеримената на рачунару.

2. ТЕОРИЈСКА ОСНОВА

Периодично и осцилаторно кретање

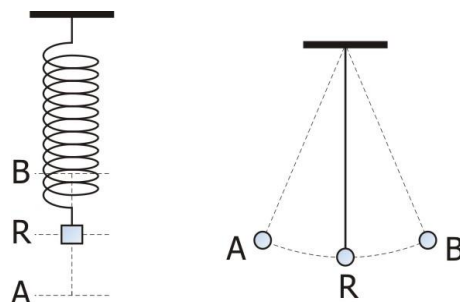
Постоји велики број кретања која се након одређених временских интервала понављају на исти начин или приближно исти начин, као што су кретања планета, осциловање клатна зидног часовника, осциловање кракова звучне виљушке, љуљање дјетета на љуљашци и слично.

Периодично кретање се након одређених временских интервала понавља на исти начин или приближно исти начин.

Један од облика периодичног кретања је осцилаторно кретање.

Осцилаторно кретање је периодично кретање које се понавља дуж једне путање.

Примјери осцилаторних кретања дати су на слици. Основне величине којима се описује осцилаторно кретање су осцилација, период, елонгација, амплитуда и фреквенција.



2-1. (а) Осциловање тега окаченог о опругу (б) Осциловање клатна.

Осцилација је један затворен циклус осцилаторног кретања послје којег се кретање понавља на потпуно или приближно исти начин. Ако тијело крене из равнотежног положаја онда је једна осцилација одређена следећим положајима тијела: R-A-R-B-R, а ако тијело крене из амплитудног положаја онда је једна осцилација одређена положајима: A-R-B-R-A.

Период је вријеме трајања једне осцилације,

$$T = \frac{t}{n}, \quad (2.1)$$

гдје је t вријеме трајања n осцилација, уз услов да осцилације једнако трају.

Елонгација је удаљеност тренутног положаја тијела од равнотежног положаја, R, и мјери се дуж путање у смјеру од равнотежног положаја.

Амплитуда, x_0 , је највећа елонгација. На слици 2-1. амплитуда је удаљеност од R до A или R до B мјерена дуж путање.

Фреквенција, f , је једнака броју осцилација у јединици времена,

$$f = \frac{n}{t}. \quad (2.2)$$

Период и фреквенција су у реципрочној зависности,

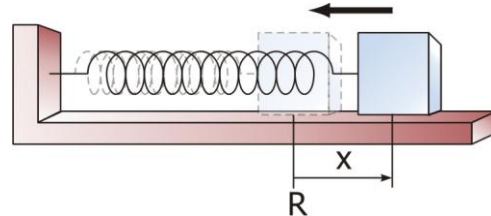
$$T = \frac{1}{f}. \quad (2.3)$$

Мјерна јединица за фреквенцију је херц, $1\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$, који је једнак једној осцилацији у секунду

Линеарни хармонијски осцилатор

Хармонијско осцилаторно кретање је осцилаторно кретање које се може представити хармонијском кривом линијом (синусоидом или косинусоидом).

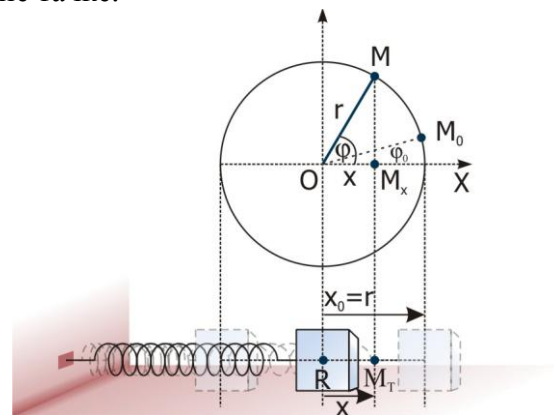
На слици је претдстављено тијело које осцилује на хоризонталном столу. Ако се занемари трење и отпор ваздуха, онда нема губитака енергије и тијело осцилује дуж праве линије, са сталном амплитудом. Може се показати да тег у таквим условим аосцилује хармонијски.



2-2. У равнотежном положају R опруга није истегнута, а x је елонгација која се мјери од равнотежног положаја.

Линеарни хармонијски осцилатор је осцилаторни систем који осцилује хармонијски. Кретање линеарног хармонијског осцилатора може се објаснити посматрањем кружног кретања материјалне тачке.

Претпоставимо да се материјална тачка M креће сталном угаоном брзином, $\omega = \text{const}$. Угаона брзина треба да буде таква да нормална пројекција тачке M на X -осу, означена са M_x , у сваком тренутку одређује тренутни положај тијела, означен са M_T . У том случају осциловање тијела је еквивалентно осциловању пројекције M_x материјалне тачке M дуж X -осе. Угао φ одређује тренутни положај тијела и може се изразити преко почетног угла и угаоне брзине: $\varphi = \omega t + \varphi_0$



2-3. Осциловање теча одређено је кретањем пројекције материјалне тачке по кружној путањи.

Полупречник кружне путање једнак је амплитуди x_0 . Формула за елонгацију слиједи са слике, $x/r = \cos\varphi$, $r = x_0$, $x = x_0 \cos\varphi$. Замјеном релације за угао φ у претходну релацију добија се једначина хармонијског осциловања тијела,

$$x = x_0 \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (2.4)$$

гдје је, φ_0 почетна фаза (угао који одређује почетни положај тијела) и $\varphi = \omega t + \varphi_0$ фаза осциловања (угао који одређује тренутни положај тијела).

Из формуле $\omega = \frac{\varphi}{t}$, угаона брзина се може изразити преко периода $\omega = \frac{2\pi}{T}$ или фреквенције $\omega = 2\pi f$. Пошто је угаона брзина пропорционална фреквенцији она се често назива и *кружна фреквенција*. Ако би тијело осциловало на вертикалном правцу једначина осциловања имала би облик, $y = y_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$. Према томе, елонгација код хармонијског осциловања мијења се по косинусном или синусном закону.

Брзина код хармонијског осциловања

Линијска брзина, v_0 , код равномерног кружног кретања се не мијења по интензитету, али се мијења њена пројекција на Х-осу или Y-осу. Пројекција брзине на правац осциловања тијела, односно на Х-осу или Y-осу, одређује брзину тијела које хармонијски осцилује.

Релација између линијске и угаоне брзине је

$$v_0 = \omega r, \text{ односно } v_0 = \omega x_0. \text{ Са слике је}$$

$$\sin \varphi = \frac{v}{v_0}, \text{ одакле слиједи}$$

$$v = \omega x_0 \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Елонгација се мјери од равнотежног положаја а вектор брзине тијела које осцилује хармонијски усмјерен је ка равнотежном положају.

Да би се означила супротна усмјереност брзине и елонгације формула се пише са предзнаком минус,

$$v = -\omega x_0 \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (2.5)$$

Убрзање код хармонијског осциловања

Код равномерног кружног кретања материјална тачка M има центрипетално убрзање a_0 које се не мијења, али се мијења његова пројекција на Х-осу или Y-осу. Пројекција центрипеталног убрзања на правац осциловања тијела, односно на Х-осу или Y-осу, одређује убрзање тијела које хармонијски осцилује. Центрипетално убрзање материјалне тачке M је $a_0 = v^2 / r$, $a_0 = (\omega r)^2 / r$, $a_0 = \omega^2 r$,

$$a_0 = \omega^2 x_0. \text{ На слици 2-5. је очигледна релација } \cos \varphi = \frac{a}{a_0}, \text{ у којој је } a_0$$

центрипетално убрзање.

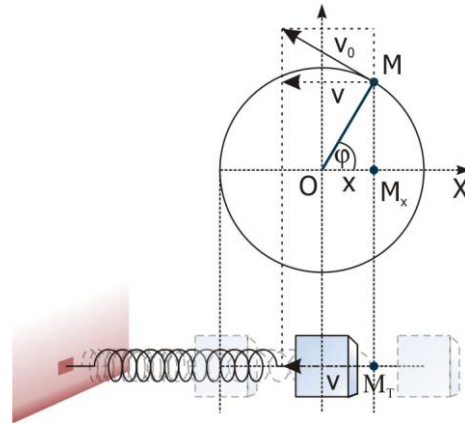
Према томе, убрзање тијела које хармонијски осцилује је

$$a = -\omega^2 x_0 \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (2.6)$$

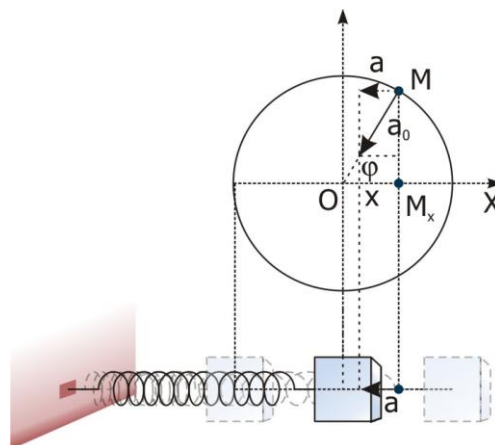
Пошто је елонгација $x = x_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ претходна формула се може написати у облику

$$a = -\omega^2 x, \quad (2.7)$$

Елонгација се мјери од равнотежног положаја, а убрзање је увијек усмјерено ка равнотежном положају. Због тога су ове величине супротног предзнака.



2-4. Пројекција брзине материјалне тачке на правац осциловања одређује брзину тијела које осцилује хармонијски.



2-5. Пројекција убрзања материјалне тачке на правац осциловања одређује убрзање тијела које осцилује хармонијски

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

Када се посматра осциловање на правцу X-осе, онда су једначине за елонгацију, брзину и убрзање:

$$x = x_0 \cos(\omega t + \varphi_0), \quad v = -\omega x_0 \sin(\omega t + \varphi_0), \quad a = -\omega^2 x_0 \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Ако је у почетном тренутку материјална тачка у амплитудном положају онда је почетна фаза $\varphi_0 = 0$, а ако је у равнотежном положају онда је $\frac{\pi}{2}$.

Сила код хармонијског осциловања

Осциловање настаје под дјеловањем неке силе. Формула за силу која је узрок хармонијског осциловања добија се на основу другог Newton-овог закона и формуле за убрзање, $a = -\omega^2 x$. Слиједи, $F = -m\omega^2 x$. При осциловању не мијењају се маса осцилатора ни кружна фреквенција. Због тога је величина $m\omega^2$ константна,

$$k = m\omega^2. \quad (2.8)$$

Увођењем константе k добија се општа формула за силу која узрокује хармонијско осциловање,

$$F = -kx. \quad (2.9)$$

Сила је директно сразмјерна елонгацији, а смјер силе супротан је смјеру елонгације. То значи да сила тежи да врати тијело у равнотежни положај (положај стабилне равнотеже). Сила која тежи да врати тијело у равнотежни положај назива се *реституциона сила*, и она има особину силе еластичности опруге. Хармонијско осциловање могу изазвати и силе које се по својој природи разликују од силе еластичности опруге. Осциловање клатна узрокује компонента силе Земљине теже, која нема особину реституционе силе. *Квазиеластичне силе* су силе које узрокује хармонијско осциловање, а по својој природи се разликују од реституционе силе.

Период код хармонијског осциловања

Формула за период добија се на основу формуле $k = m\omega^2$ и формуле за кружну фреквенцију $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Слиједи, $k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$, одакле је период

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.10)$$

гдје је, m маса осцилатора и k коефицијент који зависи од природе осцилатора (у случају опруге k је коефицијент еластичности опруге). У идеалном случају, када нема губитака енергије, осцилатор осцилује са константном амплитудом па је и период осциловања константан. На основу претходне формуле израчунава се *сопствени период* осцилатора, који осцилује слободно без спољашњег утицаја, а фреквенција која се добије из периода је *сопствена фреквенција* осцилатора. Сопствени период и сопствена фреквенција зависе само од физичких особина осцилатора.

Енергија хармонијског осцилатора

Посматраћемо осциловање тијела под дјеловањем силе еластичности опруге која се назива и реституциона сила.

Замјеном формуле за брзину у формулу $E_k = mv^2 / 2$ добија се кинетичка енергија

$$E_k = -\frac{m}{2} \omega^2 x_0^2 \sin^2 \omega t + \varphi_0. \quad (2.11)$$

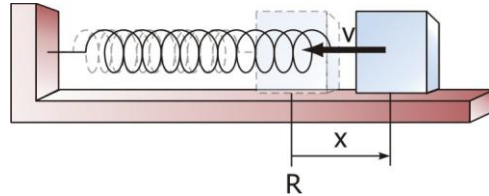
Замјеном формуле за елонгацију у формули $E_p = kx^2 / 2$ добија се потенцијална енергија

$$E_p = \frac{k}{2} x_0^2 \cos^2 \omega t + \varphi_0. \quad (2.12)$$

Кинетичка и потенцијална енергија хармонијског осцилатора су сразмјерне квадрату амплитуде. Укупна енергија хармонијског осцилатора износи $E = E_k + E_p$, одакле слиједи

$$E = \frac{1}{2} kx_0^2. \quad (2.13)$$

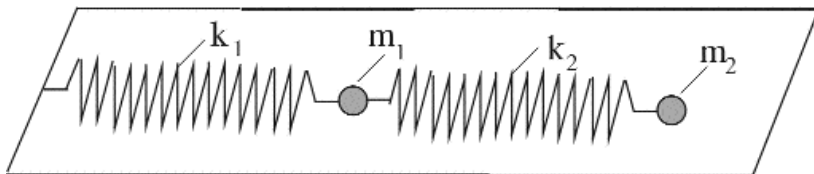
Укупна енергија идеалног хармонијског осцилатора је такође сразмјерна квадрату амплитуде и она је константа. При осциловању кинетичка енергија се трансформише у потенцијалну, и обратно, потенцијална енергија се трансформише у кинетичку.



2-6. Када се опруга истегне и пусти, тијело има кинетичку и потенцијалну енергију.

Слагање осцилација једнаких фреквенција

На слици је представљен осцилаторни систем који се састоји из двије куглице маса (m_1) и (m_2) и двије опруге са коефицијентима еластичности (k_1) и (k_2). У овом случају слагањем два хармонијска осциловања (саставне осцилације) настаје једно резултантно осциловање.



2-7. Примјер слагања осцилација

Пошто саставне осцилације имају једнаке фреквенције и резултантно осциловање има исту фреквенцију. Због тога је резултантно осциловање одређено једначином

$$x = x_0 \cos(\omega t + \varphi_0),$$

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

гдје је x_0 амплитуда и φ_0 почетна фаза. Потребно је одредити амплитуду и почетну фазу резултантног осциловања, на основу познатих амплитуда и почетних фаза саставних осцилација. На основу формуле за елонгацију, једначине саставних осцилација имају облик, $x_1 = x_{01} \cos(\omega t + \varphi_{01})$ и $x_2 = x_{02} \cos(\omega t + \varphi_{02})$. Пошто се посматра слагање осцилација на једном правцу, резултантна елонгација једнака је збиру елонгација саставних осцилација: $x = x_1 + x_2$. Из претходних релација се добија

$$x_0 \cos(\omega t + \varphi_0) = x_{01} \cos(\omega t + \varphi_{01}) + x_{02} \cos(\omega t + \varphi_{02}).$$

Изведена једначина мора да важи за сваки тренутак хармонијског осциловања. Према томе, мора да важи када се стави $\omega t = 0$ и када се стави $\omega t = \pi / 2$. Замјена $\omega t = 0$ даје једначину

$$(1) \quad x_0 \cos \varphi_0 = x_{01} \cos \varphi_{01} + x_{02} \cos \varphi_{02},$$

а замјена $\omega t = \pi / 2$ даје једначину

$$(2) \quad x_0 \sin \varphi_0 = x_{01} \sin \varphi_{01} + x_{02} \sin \varphi_{02}.$$

Добијен је систем двије једначине у којем су непознате почетна фаза φ_0 резултантног осциловања и његова амплитуда x_0 . Поступак рјешавања претходног система једначина препушта се ученицима који показују већи интерес за рјешавање сложенијих система једначина, а овдје је дато коначно рјешење система:

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{x_{01} \sin \varphi_{01} + x_{02} \sin \varphi_{02}}{x_{01} \cos \varphi_{01} + x_{02} \cos \varphi_{02}}, \text{ и } x_0^2 = x_{01}^2 + x_{02}^2 + 2x_{01}x_{02} \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01}). \quad (2.14)$$

Прво рјешење система једначина одређује почетну фазу резултантног осциловања, а друго рјешење одређује његову амплитуду.

Амплитуда резултантног осциловања зависи од разлике почетних фаза саставних осцилација $\varphi_{02} - \varphi_{01}$. Треба разликовати два гранична случаја.

- Ако је $\varphi_{02} - \varphi_{01} = 2k\pi$ гдје је k цијели број, онда је,

$$x_0 = x_{01} + x_{02}.$$

- Ако је $\varphi_{02} - \varphi_{01} = (2k+1)\pi$ гдје је k такође цијели број онда је,

$$x_0 = |x_{01} - x_{02}|.$$

У претходној релацији стављена је апсолутна вриједност због тога што је амплитуда, по дефиницији, позитивна величина. Очигледно, максимална вриједност амплитуде резултантног осциловања једнака је збиру амплитуда саставних осцилација, а минимална вриједност амплитуде резултантног осциловања једнака је, по апсолутној вриједности, разлици амплитуда саставних осцилација.

Слагање осцилација може се представити и графички. Када се на милиметарском папиру уцртају графици саставних осцилација, онда се график резултантног осциловања добија сабирањем алгебарских вриједности елонгација саставних осцилација.

Слагање осцилација блиских фреквенција

Ради једноставнијег разматрања уводе се следеће претпоставке: осциловања су хермоничка, имају једнаке амплитуде и почетне фазе су једнаке нули. Уз наведене претпоставке једначине саставних осцилација имају облик,

$$x_1 = x_0 \cos \omega_1 t \text{ и } x_2 = x_0 \cos \omega_2 t$$

Елонгација резултујућег осциловања једнака је збиру елонгација саставних осцилација,

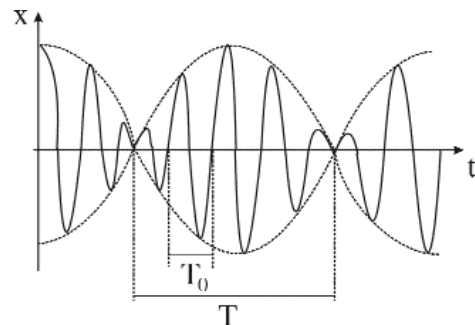
$$x = x_0 \cos \omega_1 t + x_0 \cos \omega_2 t$$

Пошто се фреквенције веома мало разликују по бројној вриједности, може се написати, $\omega_1 = \omega - \delta$ и $\omega_2 = \omega + \delta$ гдје је $\delta = (\omega_2 - \omega_1) / 2$ мали број, односно $\delta \ll \omega$. Примјеном формуле за збир косинуса добија се,

$$x = 2x_0 \cos \delta t \cdot \cos \omega t, \quad (2.15)$$

што представља једначину резултантног осциловања. Једначина хармонијског осциловања представљена је производом двије косинусне функције. Свака функција представља једно хармонијско осциловање.

Према томе, резултантно осциловање једнако је производу два хармонијска осциловања. Такво осциловање је сложено осциловање и није хармонијско. Резултантно осциловање представљено је графички на слици. Испрекидана линија на графику показује како се мијења амплитуда резултантног осциловања, а непрекидна линија представља график резултантног осциловања.



2.8. Осцилације са избијањима или ударима

График показује да се амплитуда смањује, затим повећава у одређеним временским размацима. Због тога се такво осциловање назива пулсирајуће осциловање или осциловање са избијањима или ударима. Амплитуда осциловања одређена је првим чланом производа у једначини резултантног осциловања,

$$A = |2x_0 \cos \delta t|. \quad (2.16)$$

Ако су кружне фреквенције саставних осцилација блиске, онда δ има веома малу вриједност, па се амплитуда веома споро мијења у времену. У том случају осциловање је приближно хармонијско са периодом, који се назива условни период.

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega}, \quad (2.17)$$

Условни период је временски интервал након којег се амплитуда понавља на приближно исти начин.

Амплитуда се мијења периодично у временском интервалу који је једнак половини условног периода. Осим условног периода уводи се и појам **период пулсирања** (T). То је најкраће вријеме након којег се амплитуда мијења на исти начин.

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

Са графика резултантног осциловања је очигледно да је период пулсирања (T) једнак половини периода косинусну функције, $A = |2x_0 \cos \delta t|$ која одређује амплитуду резултантног осциловања. Из математичке формуле за период косинусне функције добија се да је период пулсирања 2π . Пошто је $\delta = (\omega_2 - \omega_1)/2$ и $\omega = 2\pi f$, слиједи да је

$$T = \frac{1}{f_2 - f_1}.$$

Период пулсирања зависи од разлике фреквенција саставних осцилација. Ако је разлика фреквенција мања период пулсирања је већи. На основу претходне релације и релације $T=1/f$, добија се формула за фреквенцију пулсирања,

$$f = f_2 - f_1. \quad (2.18)$$

Фреквенција пулсирања резултантног осциловања, односно фреквенција промјене амплитуде, једнака је разлици фреквенција саставних осцилација.

Разлагање осцилација

Слагањем осцилација настаје сложено осциловање. Сложено осциловање може се посматрати на примјеру два клатна која су окачена једно о друго. Ако се посматра осциловање само једног клатна, онда је такво осциловање хармонијско. Два међусобно везана клатна изводе сложено, нехармонијско, осциловање. Ово сложено осциловање може се разложити на два проста хармонијска осциловања: осциловање клатна (1) и осциловање клатна (2).

Да би се извршила анализа сложеног осциловања неопходно је одредити из којих простих осциловања се састоји сложено осциловање. Сложено осциловање је периодично па се може, математички, представити функцијом која је периодична. Француски математичар Jean Fourier (Џан Фурије) је доказао да се свака сложена периодична функција може представити алгебарским збиром хармонијских (синусних и косинусних) функција,

$$x = A_0 + A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t + A_3 \cos 3\omega t + \dots + B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t + B_3 \sin 3\omega t + \dots \quad (2.20)$$

гдје су $A_0, A_1, A_2, A_3, \dots, B_1, B_2, B_3, \dots$ амплитуде (константе). Израз на десној страни једначине назива се *тригонометријски ред*.

Према томе, *свако сложено периодично осциловање може се представити као алгебарски збир хармонијских осциловања различитих амплитуда и кружних фреквенција, које су цијелобројни умношци основне фреквенције*. На примјер, нека је сложено периодично осциловање дато је функцијом,

$$x = x_0 \sin \omega t + (x_0/2) \sin 2\omega t + (x_0/3) \sin 3\omega t.$$

У овом случају сложено осциловање се састоји из три хармонијска осциловања чије се амплитуде односе као бројеви $1 : (1/2) : (1/3)$ и чије се кружне фреквенције односе као цијели бројеви $1 : 2 : 3$. График сложеног осциловања може се добити тако што се на милиметарском папиру нацртају графици сва три хармонијска осциловања, а затим саберу алгебарске вриједности њихових елонгација.

Саставна осциловања која чине сложено осциловање називају се хармоници. На примјеру сложеног осциловања које се састоји из три хармоника имамо:

Први хармоник, $x_1 = x_0 \sin \omega t$ је основно осциловање са кружном фреквенцијом ω .

Други хармоник, $x_2 = (x_0/2) \sin 2\omega t$ је осциловање са двапут већом кружном

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

фреквенцијом 2ω . Трећи хармоник, $x_3 = (x_0/3)\sin 3\omega t$ је осциловање са трипут већом фреквенцијом 3ω .

Свако сложено периодично осциловање може се разложити на одговарајући број хармоника. Хармонијски спектар је скуп свих хармоника који чине сложено периодично осциловање.

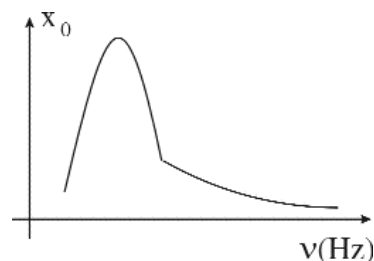
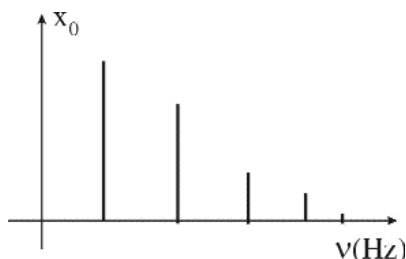
Хармонијска анализа је математичка метода која се бави развијањем периодичних функција у тригонометријске редове. Помоћу ове методе могу се одредити амплитуде сваког хармоника.

На основу формуле за енергију линеарног хармонијског осцилатора,

$$E = (1/2)m\omega^2 x_0^2$$

може се закључити да је енергија сваког хармоника директно сразмјерна квадрату кружне фреквенције, ω^2 , и квадрату амплитуде, x_0^2 .

Због тога, за графичко представљање хармонијског спектра битне величине су фреквенција и амплитуда. На првој слици дат је примјер графичког представљања линијског хармонијског спектра. Слика показује да се сложено осциловање састоји из пет хармоника различитих амплитуда и фреквенција.



2.11. Линијски спектар звука

Линијски (прекидни, дисконтинуални) спектар садржи само неке хармонике који се могу одвојити по фреквенцијама. У линијском спектру могуће је одредити фреквенцију и амплитуду сваког хармоника.

Непрекидни (континуални) спектар садржи хармонике свих фреквенција у датом интервалу фреквенција. У непрекидном спектру није могуће одвојити хармонике по фреквенцијама и амплитудама.

2.12. Континуални спектар звука

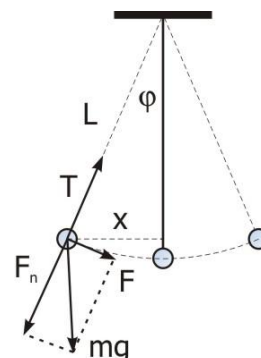
Слободне механичке осцилације

Осцилатор изводи слободне осцилације ако се могу занемарити губици енергије осцилатора у току осциловања.

Математичко клатно

Математичко клатно је систем који се састоји из куглице занемарљивих димензија, која је окачена о неистегљиву нит занемарљиве масе. Клатно је постављено тако да може да осцилује у вертикалној равни под дјеловањем гравитационе силе.

Клатно изводи слободне осцилације, ако се занемари отпор ваздуха и трење у тачки вјешања. Када се клатно изведе из равнотежног положаја R у амплитудни положај A и пусти оно започиње осциловање. У положају A тежина куглице mg је



Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

разложена у двије компоненте. Нормална компонента F_n се поништава са силом затезања нити T , а тангенцијална компонента F враћа клатно у равнотежни положај.

2.13. Узрок осциловања клатна је тангенцијална компонента силе земљине теже.

Ако клатно осцилује са малим амплитудама, онда угао отклоне клатна има малу вриједност па се може узети да је растојање x приближно једнако дужини одговарајућег лука, односно да је растојање приближно једнако елонгацији. Ако се $\sin \varphi$ изрази из већег правоуглог троугла, а затим из мањег, слиједи формула

за силу која омогућава осциловање клатна, $F = -\frac{mg}{l}x$. При осциловању клатна не мијењају се маса куглице, дужина нити и убрзање Земљине теже па се претходна формула може написати у облику,

$$F = -kx, \quad (2.21)$$

гдје је,

$$k = \frac{mg}{l} \quad (2.22)$$

Узрок осциловања клатна је сила која је директно сразмјерна

елонгацији. Предзнак минус означава да је сила усмјерено супротно елонгацији.

Период математичког клатна. Замјеном константе k у општу формулу за период добија се за период математичког клатна

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (2.23)$$

На основу формуле за период могу се извести следећи закључци.

(1) Период клатна не зависи од масе клатна. То значи да клатна једнаких дужина и различитих маса за исто вријеме начине једну осцилацију.

(2) Квадрати периода два клатна односе се као њихове дужине,

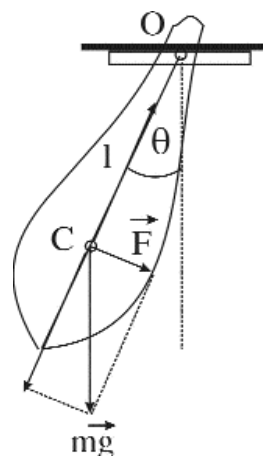
$$T_1^2 : T_2^2 = l_1 : l_2.$$

(3) Период клатна обрнуто је сразмјеран квадрату гравитационог убрзања.

Физичко клатно

Физичко клатно је свако чврсто тијело постављено тако да може да осцилује око хоризонталне осе, под дјеловањем силе Земљине теже. Од раније је познато да је чврсто тијело је идеално тијело које се не деформише под утицајем спољашњих сила произвољно великог интензитета.

На слици је представљено чврсто тијело произвољног облика које је постављено тако да може да осцилује око хоризонталне осе, која пролази кроз центар ротације (O). Тежиште тијела је нападна тачка силе Земљине теже. Тежиште тијела је у центру маса, када се тијело налази у равнотежи.



2.14. Физичко клатно; C - центар маса (тежиште) тијела; l

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

- удаљеност центра маса од центра ротације

Кретање физичког клатна је хармонијско обртно осциловање. Формуле за хармонијско обртно осциловање добијају се на основу аналогije са одговарајућим величи- нама транслационог осциловања.

Транслаторно осциловање	Обртно осциловање
Елонгација (x)	Угловни отклон (θ)
Брзина (v)	Угловна брзина (Ω)
Убрзање (a)	Угловно убрзање (α)

Написати формула за елонгацију, брзину и убрзање транслационог хармонијског осциловања добијају се формуле за угловни отклон, угловну брзину и угловно убрзање обртног осциловања. На примјер: на основу дате аналогije и раније дате формуле за елонгацију, $x = x_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$, добија се формула угловни отклон

$$\theta = \theta_m \cos(\omega t + \theta_0) \quad (2.24)$$

гдје је θ_m максимални угловни отклон и θ_0 почетни угловни отклон. На исти начин се добијају формуле за угловну брзину и угловно убрзање обртног осциловања.

Период физичког клатна

На претходној слици тежина клатна је разложена на двије компоненте. Тангенцијална компонента (F) изазива обртни момент (M) који узрокује обртно осциловање клатна. У овом случају крак силе (F) је растојање l, па је формула за обртни момент,

$$M = F \cdot l.$$

Тангенцијална компонента тежине клатна може се изразити преко његове тежине и угловног отклона, $F = -mg \sin \theta$, па је формула за обртни момент, $M = -mgl \sin \theta$. Ако клатно осцилује са малим амплитудама, онда угловни отклон има малу вриједност (вриједност синуса угла приближно је једнака вриједности угла) па је,

$$M = -mg \cdot \theta. \quad (2.25)$$

Предзнак минус означава да је смјер обртног момента супротан смјеру угловног отклона. Обртни момент узрокује обртно хармонијско осциловање, и има сличну улогу као реституциона сила,

$$F = -kx$$

која узрокује транслационо хармонијско осциловање. Упоредивањем претходних формула константа (k) се може изразити формулом, $k = mgl$. Формула за период физичког клатна добија се на основу формула за потенцијалну и кинетичку енергију.

Максимална вриједност потенцијалне енергије линеарног хармонијског осцилатора израчунава се по формули $E_{p,max} = \frac{1}{2} kx_0^2$, а максимална вриједност његове кинетичке енергије израчунава се по формули $E_{k,max} = \frac{1}{2} mv_0^2$, односно

$$E_{k,max} = \frac{1}{2} m\omega^2 x_0^2.$$

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

На основу претходних формула и аналогije између трансляторног и обртног кретања добијају се формуле за максималну потенцијалну енергију обртног осциловања, $E_{p,max} = \frac{1}{2}k\theta_m^2$, и максималну кинетичку енергију, $E_{k,max} = \frac{1}{2}I\omega^2\theta_m^2$, гдје је, I момент инерције физичког клатна у односу на центар ротације O . Ако је познат момент инерције клатна у односу на његов центар маса I_C , онда се момент инерције клатна I у односу на центар ротације O добија по формули

$$I = I_C + md^2, \quad (2.26)$$

гдје је d удаљеност између центра маса тијела и центра ротације. На основу закона одржања енергије, максимална потенцијална енергија клатна у потпуности се трансформише у његову кинетичку енергију.

На основу тога добија се формула за период осциловања клатна,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}. \quad (2.27)$$

Формула за период физичког клатна може се написати у истом облику као формула за период математичког клатна, ако се дефинише појам редуковане дужине физичког клатна (l_0) формулом,

$$l_0 = \frac{I}{ml}. \quad (2.28)$$

Редукована дужина физичког клатна једнака је дужини математичког клатна које има исти период као и физичко клатно. Формула за период физичког клатна преко редуковане дужине клатна има облик,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}}.$$

Математичко клатно је теоријски модел физичког клатна. Ако се тијело произвољног облика, које осцилује, замијени материјалном тачком, чији је момент инерције

$$I = ml^2,$$

онда из формуле за период физичког клатна слиједи формула за период математичког клатна.

Слободне електромагнетне осцилације

Механичке осцилације које изводе механички системи (математичко клатно, физичко клатно, . . .) су механички процеси у којима се неке механичке особине (елонгација, брзина, убрзање, енергија, . . .) периодично понављају у времену.

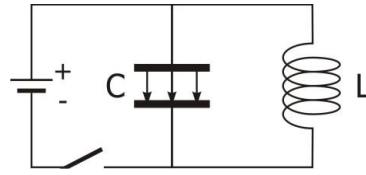
Електромагнетне осцилације су процеси у којима се неке електричне и магнетне особине система периодично понављају у времену.

Електромагнетне осцилације настају у осцилаторном колу. *Осцилаторно коло* је систем који се састоји из калема и кондензатора који су међусобно везани проводником. Кроз осцилаторно коло протиче струја промјенљиве јачине и смјера, односно наизмјенична струја. Због тога у таквом струјном колу постоје термогени, индуктивни и капацитивни отпор. Када се у осцилаторном колу занемари термогени отпор добија се *идеално осцилаторно коло*. Пошто губици енергије настају само на термогеном отпору онда се у идеалном осцилаторном колу занемарују губици енергије.

Слободне електромагнетне осцилације настају у идеалном осцилаторном колу.

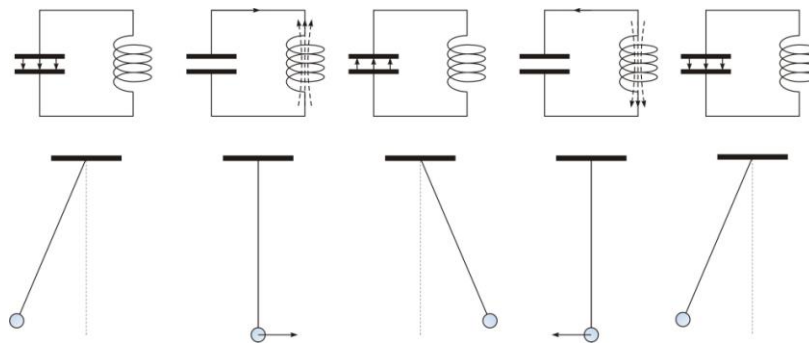
Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

Претпоставимо да се осцилаторно коло прикључи на једносмјерни струјни извор, а затим се струјни извор искључи. У почетном тренутку кондензатор је напуњен максималном количином наелектрисања и енергија његовог електричног поља је максимална. Због разлике потенцијала између плоча електрони започну кретање од негативне према позитивној плочи што чини струју кроз калем.



2.15. Идеално осцилаторно коло чине калем и кондензатор.

Енергија електричног поља кондензатора постепено се претвара у енергију магнетног поља калема. Електрони настављају кретање и пуне кондензатор у супротном смјеру. При томе енергија магнетног поља калема се претвара у енергију електричног поља кондензатора. Када се кондензатор напуни у супротном смјеру електрони започињу кретање у супротном смјеру и трансформације енергије се одвијају у супротном смјеру. Када се кондензатор напуни тако да је поларитет плоча исти као у почетном тренутку онда је завршена једна електромагнетна осцилација. Пошто нема губитка енергије осцилације се понављају на исти начин. Код математичког клатна кинетичка енергија се непрекидно претвара у потенцијалну и обрнуто, а у осцилаторном колу се енергија електричног поља кондензатора непрекидно претвара у енергију магнетног поља калема. Једној осцилацији клатна одговара једна електромагнетна осцилација.



2.16. Аналогија између слободних механичких осцилација и слободних електромагнетних осцилација

Битне величине које описују механичке осцилације су елонгација, брзина, сила, маса и коефицијент еластичности средине. Величине које описују ЕМ осцилације могу се увести по аналогији са наведеним величинама. Елонгација, x , одређује тренутну удаљеност осцилатора од равнотежног положаја. Количина наелектрисања, q , на кондензатору одређује напуњеност кондензатора у неком тренутку у односу на празан кондензатор. Брзина осцилатора, v , одређује промјену елонгације у јединици времена. Јачина струје, i , у колу одређује промјену количине наелектрисања на кондензатору у јединици времена.

Узрок осциловања механичког осцилатора је сила, F , а узрок пражњења кондензатора је напон на плочама, u . Сила је пропорционална елонгацији, $F = -kx$, а напон је пропорционалан количини наелектрисања на плочама, $u = -\frac{1}{C}q$. Маса осцилатора, m , одређује његову инертност при дјеловању силе,

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

односно маса се опире дјеловању силе. Дјеловању напона супротставља се напон самоиндукције на калему који зависи од индуктивности калема, L .

Наведена аналогија између величина омогућава да се из формула које описују механичке осцилације добију формуле које описују ЕМ осцилације.

Табела 2-1.	
Величине које описују механичке осцилације	Величине које описују ЕМ осцилације
x	q
v	i
F	u
k	$1/C$
m	L

На примјер из формуле за период слободних механичких осцилација $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ добија се формула за период слободних ЕМ осцилација $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{1/C}}$,

односно

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (2.29)$$

Употребом претходне аналогије добијају се и остале формуле које описују слободне ЕМ осцилације.

Табела 2-2.	
Формуле које описују механичке осцилације	Формуле које описују ЕМ осцилације
$x = x_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$	$q = q_0 \cos \omega t$
$v = -\omega x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$	$i = -\omega q_0 \sin \omega t$
$E_p = \frac{1}{2} kx^2$	$W_e = q_0^2 / (2C)$
$E_k = \frac{1}{2} mv^2$	$W_m = \frac{L}{2} q_0^2 \omega^2$

Тренутна вриједност енергије електричног поља кондензатора означена је са W_e а тренутна вриједност енергије магнетног поља калема означена је са W_m .

ЕМ осцилације имају много краћи период него механичке осцилације. Слиједи закључак да маса тијела које осцилује има много већу инертност него индуктивност калема.

Основна једначина процеса у осцилаторном колу

У осцилаторном колу се јавља струја промјенљиве јачине. Због промјенљиве јачине струје, на крајевима калема индукује се електромоторна сила самоиндукције (E_s). На основу другог Kirchhoff-овог правила за затворену струјну контуру слиједи,

$$E_s = Ri + u_c,$$

гдје је, Ri тренутна вриједност напона на укупном термогеном отпору кола и u_c тренутна вриједност напона на кондензатору. На основу формуле за

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

електромоторну силу самоиндукције $E_s = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$, и формуле за напон на кондензатору $u_c = \frac{q}{C}$ добија се *основна једначина процеса у осцилаторном колу*,

$$-L \frac{\Delta i}{\Delta t} = Ri + \frac{q}{C},$$

гдје је L индуктивност калема, R укупни термогени отпор кола и C капацитет кондензатора. Добијена једначина је диференцијална једначина. За рјешавање диференцијалних једначина користе се посебне методе које су често веома сложене. *Рјешење диференцијалне једначине је функција*. У случају идеалног осцилаторног кола, у којем се занемарује термогена отпорност ова једначина добија једноставнији облик,

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = -\frac{1}{LC}q. \quad (2.30)$$

Рјешење ове једначине је функција која даје зависност количине наелектрисања од времена. Рјешење се може одредити на основу познатог рјешења аналогне једначине код хармонијског осциловања. Једначина хармонијског осциловања је

$ma = -kx$, односно $m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -kx$ што се може написати у облику

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -\frac{k}{m}x. \quad (2.31)$$

Рјешење претходне једначине је позната функција

$$x = x_0 \cos \omega t$$

која даје зависност елонгације од времена. Ради једноставности узето је да је почетна фаза једнака нули, $\varphi_0 = 0$. Добијена једначина има исти облик као једначина за електромагнетне осцилације, ако се уведе сљедећа аналогија између одговарајућих величина: $m \rightarrow L$, $v \rightarrow i$, $k \rightarrow \frac{1}{C}$ и $x \rightarrow q$. Користећи ову аналогију из рјешења претходне једначине добија се рјешење основне једначине за електромагнетне осцилације,

$$q = q_0 \cos \omega t. \quad (2.32)$$

Из формуле за брзину код хармонијског осциловања, $v = -\omega x_0 \sin \omega t$ добија се функција која показује како се мијења јачина струје у осцилаторном колу у току времена, $i = -\omega q_0 \sin \omega t$, која се може написати у облику

$$i = i_0 \cos(\omega t + \pi/2), \quad (2.31)$$

гдје је

$$i_0 = \omega x_0 \quad (2.33)$$

максимална јачинаструје у осцилаторном колу. Према томе, у идеалном осцилаторном колу количина наелектрисања на плочама мијења се у времену по косинисном закону. Јачина струје у колу мијења се у времену, такође, по косинусном закону али су осцилације јачине струје помјерене у фази за $\pi/2$ у односу на осцилације количине наелектрисања.

Енергија у идеалном осцилаторном колу

То значи да јачина струје и количина наелектрисања не достижу истовремено своје максималне вриједности и да не постају истовремено једнаки нули. Количина наелектрисања достиже максимум, прије него јачина струје. Каже се да осцилације наелектрисања предњаче осцилацијама јачине струје фазно за $\pi/2$, односно да је фазна разлика између њих $\Delta\varphi = \pi/2$. Фазној разлици $\Delta\varphi$ одговара временски интервал Δt .

У идеалном осцилаторном колу енергија електричног поља кондензатора (W_e) периодично се трансформише у енергију магнетног поља калема (W_m). На основу формуле $W_e = \frac{q^2}{2C}$, и формуле за количину наелектрисања $q = q_0 \cos \omega t$ добија се формула за тренутну енергију електричног поља кондензатора

$$W_e = \frac{q^2}{2C} \cdot \cos^2 \omega t. \quad (2.34)$$

Из формуле $W_m = \frac{1}{2} Li^2$ и формуле за јачину струје $i = i_0 \cos(\omega t + \pi/2)$ добија се формула за тренутну вриједност енергије магнетног поља калема,

$$W_m = \frac{1}{2} Li_0^2 \cos^2(\omega t + \pi/2). \quad (2.35)$$

Максимална вриједност енергије електричног поља кондензатора је,

$$W_{e,\max} = q_0^2 / (2C),$$

а максимална вриједност енергије магнетног поља калема је,

$$W_{m,\max} = \frac{L}{2} q_0^2 \omega^2.$$

Сопствени период осцилаторног кола

У идеалном осцилаторном колу нема губитака енергије, па је на основу закона одржања енергије,

$$W_{e,\max} = W_{m,\max},$$

односно,

$$q_0^2 / (2C) = \frac{L}{2} q_0^2 \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

одакле је сопствени период осцилаторног кола,

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (2.35)$$

а његова сопствена фреквенција је,

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (2.36)$$

Пригушене механичке осцилације

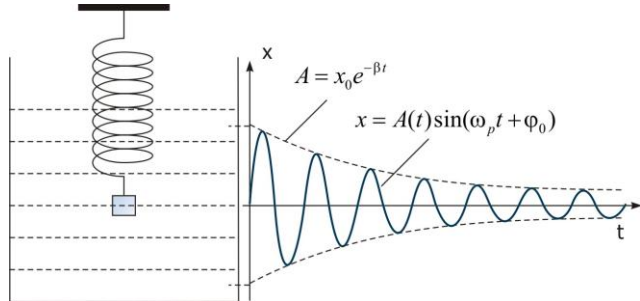
Математичко клатно је идеалан осцилатор који осцилује без губитка енергије. Укупна енергија идеалног хармонијског осцилатора се одржава. Међутим, ако се

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

физичко клатно заосцилује и препусти само себи оно ће се након извјесног времена зауставити. Енергија се губи на отпору ваздуха и због унутрашњег трења у систему који осцилује.

У току сваког периода осцилатор губи дио енергије. Пошто је енергија осцилатора пропорционална квадрату амплитуде, онда губитак енергије у току сваког периода доводи до смањења амплитуде осциловања. Амплитуда се смањује по експоненцијалном закону.

На слици је представљен осцилатор који изводи слободне осцилације под дјеловањем силе еластичности $F = -kx$, а када се стави у неки флуид јавља се сила отпора, $F = -\mu v$, која је пропорционална брзини осцилатора, гдје је μ коефицијент отпора средине.



2-17. Амплитуда пригушених осцилација се смањује по експоненцијалном закону.

Према другом Newton-овом закону једначина кретања осцилатора је

$$ma = -kx - \mu v, \text{ односно } m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -kx - \mu \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Претходна једначина написана у диференцијалном облику назива се диференцијална једначина а њено опште рјешење има облик

$$x = x_0 e^{-\beta t} \sin(\omega_p t + \varphi_0), \quad x = A(t) \sin(\omega_p t + \varphi_0) \quad (2.37)$$

гдје је (2.38) $A = x_0 e^{-\beta t}$ амплитуда осциловања која се смањује по експоненцијалном закону у времену, (2.39) $\beta = \frac{\mu}{2m}$ коефицијент пригушења, (2.40)

$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - кружна фреквенција пригушених осцилација, ω_0 сопствена кружна фреквенција осцилатора, и φ_0 почетна фаза. Треба се подсјетити да је сопствена фреквенција једнака фреквенцији којом би осциловао осцилатор без спољашњег утицаја.

Код пригушених механичких осцилација, у току сваке осцилације осцилатор губи дио енергије који се трансформише у унутрашњу енергију осцилатора и средине у којој осцилује. Када осцилатор потроши енергију, коју је имао у почетном тренутку, осцилације престају.

Пригушене електромагнетне осцилације

Код електромагнетних осцилација, у току сваке осцилације осцилаторно коло губи дио енергије, који се трансформише у топлоту на термогеном отпору и у енергију електромагнетних таласа које зрачи осцилаторно коло. Када се потроши почетна енергија електромагнетне осцилације престају. Употребом аналогije са једначином за пригушене механичке осцилације, $m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -kx - \mu \frac{\Delta x}{\Delta t}$, може се

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

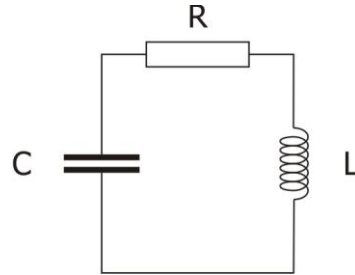
написати једначина за пригушене ЕМ осцилације $L \frac{\Delta i}{\Delta t} = -\frac{1}{C}q - R \frac{\Delta q}{\Delta t}$ чије је опште рјешење

$$q = q_0 e^{-\beta t} \sin(\omega_p t + \varphi_0), \quad (2.41)$$

гдје је (2.42) $\beta = R / 2L$ коефицијент пригушења и (2.43) $q_0 e^{-\beta t}$ амплитуда која се смањује по експоненцијалном закону.

Q-фактор осцилатора

У сваком реалном осцилатору губи се енергија. Квалитет осцилатора мјери се степеном пригушења. Q-фактор или *фактор доброт* осцилатора одређује степен пригушења. Осцилатор који има већи Q-фактор је квалитетнији јер има мањи степен пригушења губи мање енергије.



2-18. Пригушене електромагнетне осцилације настају у осцилаторном колу са термогеним отпором

Q-фактор механичког осцилатора једнак је количнику интензитета максималне силе еластичности и интензитета максималне силе отпора средине. Формула за Q-фактор, $Q = F_{el,max} / F_{отр,max}$, може се написати у облику $Q = kx_0 / \mu \nu_0$,

$Q = \frac{kx_0}{\mu \omega x_0}$. Пошто је $k = m\omega_0^2$ добија се

$$Q = \frac{1}{\mu} \sqrt{mk}. \quad (2.44)$$

Употребом аналогије између величина које описују механичке осцилације и величина које описују ЕМ осцилације добија се Q-фактор за осцилаторно коло,

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.45)$$

Осцилаторно коло са великим термогеним отпором има велико пригушење и малу вриједност Q-фактора па у таквом колу ЕМ осцилације се не могу појавити. Што је отпор мањи осцилаторно коло има већи Q-фактор, у њему су губици енергије мањи и оно је квалитетније.

Принудне осцилације

У физичким уређајима су потребни осцилатори који могу да одржавају осциловање дуже вријеме. Да би се то постигло реалном осцилатору је потребно доводити у току сваке осцилације, односно у току сваког периода, онолико енергије колико губи тако да му се не би смањивала амплитуда осциловања. Дакле, потребно је да нека спољашња сила принуђује осцилатор на осциловање.

Принудне механичке осцилације настају када на осцилатор дјелује спољашња сила која се периодично мијења у времену. Равномјерним обртањем ручице угаоном брзином ω на осцилатор дјелује периодична сила која принуђује осцилатор на осциловање (слика 2-19).

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

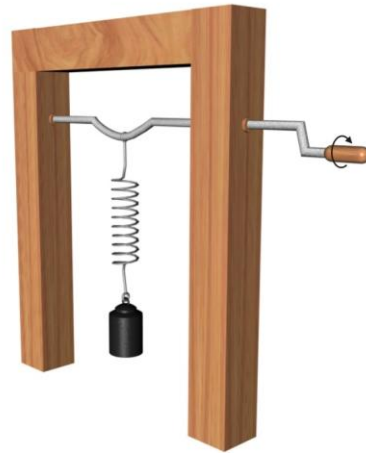
У општем случају на осцилатор дјелују три силе: спољашња сила F , сила еластичности опруге $F = -kx$ и сила отпора средине $F = -\mu v$. Претпоставимо да се спољашња сила мијења по косинусном закону, $F = F_0 \cos(\omega t)$, онда се једначина кретања може написати у облику $ma = F - kx - \mu v$, односно

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = F_0 \cos(\omega t) - kx - \mu \frac{\Delta x}{\Delta t}. \quad (2.46)$$

Опште рјешење претходне диференцијалне једначине има веома сложен облик а из општег рјешења слиједи израз за амплитуду принудних осцилација,

$$x_0 = \frac{F_0 / m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}. \quad (2.47)$$

Очигледно, амплитуда зависи од разлике сопствене фреквенције осцилатора $\omega_0 = 2\pi f_0$ и фреквенције принудне силе, $\omega = 2\pi f$. Добијена функција има максималну вриједност за $\omega = \omega_0$, односно $f = f_0$, када је фреквенција принудне силе једнака сопственој фреквенцији осцилатора.

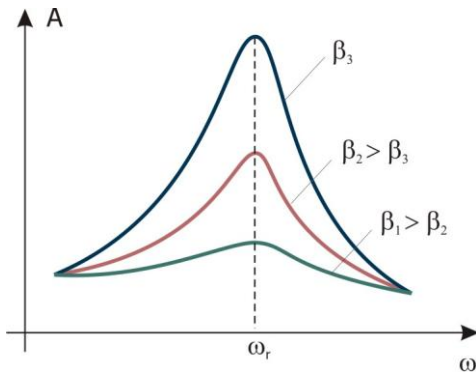


2-19. Окретањем ручице спољашња сила изазива принудно осциловање тега

Резонанција је појава која настаје при изједначавању фреквенција принудне силе и сопствене фреквенције осцилатора, а њена последица је максимална амплитуда принудних осцилација.

Да ли ће резонантна амплитуда бити већа или мања зависи од степена пригушења β . При већем степену пригушења резонантна амплитуда је мања и обрнуто (слика 2-20). Једноставни примјер резонанције је љуљање дјетета на љуљашци (слика 2-21). Ако дијете гурамо фреквенцијом која је једнака сопственој фреквенцији љуљашке онда ће се амплитуда постепено повећавати, а ако гурамо дијете мањом или већом фреквенцијом њено кретање неће бити осцилаторно и амплитуда се неће повећавати.

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији



2-20. Ако је пригушење осцилатора мање онда је амплитуда при резонантној фреквен- цији већа

2-21. Примјер механичке резонанције

Тесла је направио механички осцилатор који је након укључења произвео љуљање блиских грађевина, које су грађани осјетили као земљотрес. Да би зауставио љуљање објеката Тесла је разбио осцилатор.

Оперски пјевач може гласом произвести осциловање зидова кристалне чаше, при чему долази до повећања амплитуде осциловања што доводи до пуцања стакла.

У новембру 1940. године вјетар који је долазио у налетима произвео је осциловање моста у Вашингтону (The Tacoma Narrows Bridge). Мост дужине 1810 метара срушио се под налетима вјетра.

Осциловање жица музичких инструмената изазива осциловање ваздушног стуба у резонаторској кутији инструмента.

Принудне електромагнетне осцилације настају у осцилаторном колу које се напаја из извора наизмјеничне струје одговарајуће фреквенције. Резонанција омогућава селективну моћ осцилаторног кола у радио пријемнику, да из великог броја електромагнетних таласа који падају на антену одабере онај чија је фреквенција једнака сопственој фреквенцији осцилаторног кола. █

3. ДЕМОНСТРАЦИОНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ

3.1. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА: Примјери осцилаторног и периодичног кретања из окружења ученика.

ПРИБОР:

-апаратура у кабинету;

ПОСТУПАК:

3.1.1. Ученицима сам демонстрирала покрете који се понављају користећи апаратуру која је на располагању у кабинету физике:



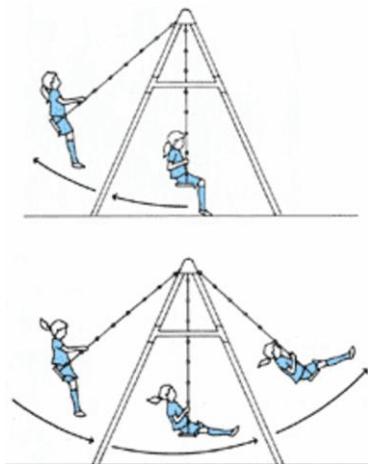
- **куглица у олуку** (ако ставимо лоптицу у најнижу тачку округлог олука она ће мировати, јер је ту у равнотежи, а гурнемо ли је улијево она ће се кретати по дну олука –наизмјенично улијево и удесно око равнотежног положаја)

-**лустер** (ако мало гурнемо лустер који виси са плафона, лустер ће се љуљати тј. кретаће се наизмјенично лијево-десно око свог најнижег положаја тј. око положаја равнотеже).

3.1.2. Ученицима сам показала макете: сата са клатном, љуљачке и столице за љуљање, а можемо искористити и илустрације наведених примјера.



сат



љуљачка



столица за љуљање

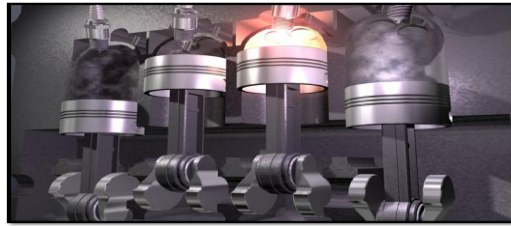
3.1.3. Ученицима сам демонстрирала, користећи симулације на интернету и гитару из кабинета музичке културе, још неколико примјера осциловања:

-**вибрирајући музички инструменти** (гитара-жице на гитари осцилују око свог равнотежног положаја),

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији



гитара



рад клипова мотора



рад срца

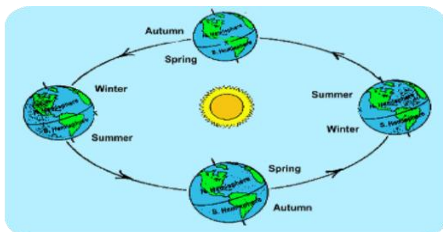
-**рад срца:** срце се састоји од двије коморе које имају функцију пумпе. Лијева комора узима крв из организма, а десна комора испушта ту крв назад у организм. То кретање се стално понавља.

-**Њутново клатно** (примјер за закон одржања енергије, тј. ако се прва куглица покрене на осциловање и остале почињу осциловати, јер им она преда енергију)

ЗАКЉУЧАК: ученици закључују да у нашој околини постоји безброј примјера осцилаторног кретања, те је код ученика побуђено интересовање за тему „осцилације и периодично кретање“.



3.2. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА: Кретање по орбитама



ПРИБОР:

- конопац;
- кугла мале масе;

ПОСТУПАК: Куглицу закачимо за конопац и заротирамо као на слици.

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

ПИТАЊА:

Шта се креће по орбиталним путањама?

Који су докази да се планете крећу по орбитама?

ЗАКЉУЧАК: Ротирање куглице је примјер орбиталног кретања, слично кретању планета по орбитама око Сунца. Вријеме потребно да се опише једна орбита тј. елипса је период кретања. Узимамо примјер Земље. Она врши два кретања: 1. око своје осе за 24 сата (смјена дана и ноћи) 2. око Сунца за 365 дана (смјена годишњих доба).

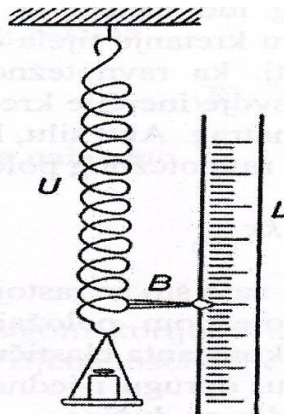
3.3. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА: Осциловање опруге

ПРИБОР:

-опруга;

-тегови маса по 100 g;

-динамометар или сталак дуж кога се налази лењир;



ПОСТУПАК: Објесимо тег на опругу, повучемо према доле из равнотежног положаја и пустимо. Тег се креће према равнотежном положају, а растојање му се смањује од максималног до нуле, пролази кроз равнотежни положај до почетне тачке. Тако тег направи једну потпуну осцилацију и кретање се наставља. Кажемо да тег осцилује, тј. креће се горе доле увијек пролазећи кроз равнотежни положај. Прије пуштања опруге у осциловање измјеримо максимално истезање опруге. Након пуштања у осциловање мјеримо вријеме штоперицом и бројимо осцилације

за одређено вријеме. Израчунамо период осциловања помоћу формуле: $T = \frac{t}{n}$,

гдје је n број осцилација. Наравно, ако знамо константу еластичности опруге можемо израчунати периоде, за различите масе тегова користећи следећу

формулу: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

Поновимо мјерење за три различите масе, додајући тегове.

ПИТАЊА:

Како називамо положај када је осцилаторни систем у стању мировања?

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

Које силе дјелују у осцилаторном систему? (можемо тражити да ученик нацрта силе)

Шта ће се промијенити у систему ако тег подигнемо или помакнемо према доле?

Како називамо положај тега када није у равнотежи, а како на максималној удаљености од равнотежног положаја?

Како називамо такво кретање тијела око равнотежног положаја?

Од чега зависи период осциловања опруге?

ЗАКЉУЧАК: Доказујемо зависност осциловања опруге од масе тега који је окачен о опругу. Што је већа маса то је већи период осциловања. $T \propto \sqrt{m}$

3.4. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА: Математичко клатно I

ПРИБОР:

- сталак;
- кугла мале масе;
- штоперица;
- лењир;

ПОСТУПАК: Куглицу окачимо на конопц који је причвршћен на сталак. Повучемо куглицу 20 cm од равнотежног положаја и пустимо је да осцилује. Мјеримо вријеме и бројимо осцилације, те израчунамо период осциловања користећи формулу: $T = \frac{t}{n}$, а затим поновимо мјерење. Сада пустимо куглицу са 40 cm удаљености и поновимо мјерење.

ПИТАЊА:

Шта је математичко клатно?

Како израчунавамо период осциловања клатна?

Од чега зависи осциловање клатна?

Од чега не зависи осциловање клатна?

ЗАКЉУЧАК: Примјетићемо да је период исти ,без обзира са које висине пустили куглицу(тј. удаљености од равнотежног положаја). Доказујемо да осциловање клатна зависи од других величина. $T \propto \sqrt{l}$



3.5. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА: Математичко клатно II

ПРИБОР:

- сталак;
- кугла мале масе;
- штоперица;
- лењир;

ПОСТУПАК: Одређујемо период осциловања математичког клатна за различите дужине клатна. У демонстрационом експерименту користим куглу

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

малих димензија, тако да се димензије кугле као нпр. маса могу занемарити у односу на дужину клатна. Ако је угао φ довољно мали, након мјерења времена трајања 20 осцилација хронометром, период осциловања се одређује помоћу релације : $T = \frac{t}{n}$. Поступак мјерења се понавља за различите дужине клатна .

ПИТАЊА:

Од чега не зависи осциловање клатна?

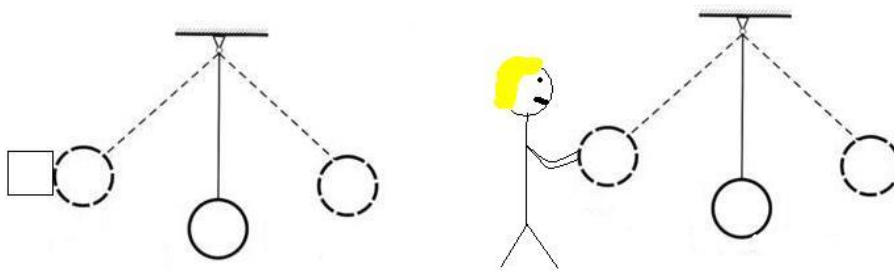
Како израчунавамо период осциловања, ако знамо дужину клатна?

ЗАКЉУЧАК: Доказујемо да је дужина клатна сразмјерна квадрату периода тј. да је период осциловања сразмјеран квадратном коријену дужине клатна. Доказана је релација: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, тј. ако је већа дужина клатна онда је период осциловања већи. $\square$

3.6. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА: Закон одржања енергије

ПРИБОР:

- кугла масе 2kg;
- неистегљива жица дужине 2,5 m;
- комад лима или стакла;



ПОСТУПАК: Кугла масе 2 kg причвршћена је на жицу дужине 2,5 m, чији је други крај окачен за куку на плафону, у кабинету физике. На један зид учионице (на висини 1,7m) поставим комад лима (због сигурности ученика не употребљавам стакло, иако би био бољи ефекат) и гурнем куглу из амплитудног положаја, са висине (1,7m), тако да кугла удари лим и направи оштећење (удубљење) на лиму. Након тога станем испред лима и пустим куглу да осцилује, са исте висине. Ученици очекују да ће ме кугла ударити, али како сам је само пустила, без додавања енергије и због закона одржања енергије, кугла дође до амплитудног положаја који је тик испред мог лица и настави осциловање.

ПИТАЊА:

Које врсте механичке енергије постоје?
Зашто је кугла ударила у лим, а не у моју главу?
Како гласи закон одржања енергије?

ЗАКЉУЧАК: Кугла клатна има сталну енергију у изолованом систему (без трења). Занемарујемо губитак енергије и доказујемо закон одржања енергије. Потенцијална енергија кугле је највећа у амплитудном положају, а најмања у равнотежном положају. Кинетичка енергија је најмања у амплитудном положају, а највећа у равнотежном положају. Како куглу нисм гурнула и на тај начин предала енергију, већ само пустила, због з.о.е. неће осциловати са већом амплитудом и неће ме повриједити. Овакве демонстрације дуго се памте и препричавају, а закон одржања енергије постаје очигледнији, лакши и разумљивији. █

3.7. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА: Пригушене осцилације

ПРИБОР:

-сталак;
-кугла мале масе;

ПОСТУПАК: Као и у претходним демонстрационим огледима посматрамо осциловање клатна .

ПИТАЊА:

Шта се мијења при осциловању клатна?
Шта су пригушене осцилације?

ЗАКЉУЧАК: Можемо видјети како клатно губи енергију због отпора ваздуха и смањује амплитуду осциловања са временом. Ако не додајемо енергију клатно ће престати да осцилује. Примјер за пригушене осцилације је љуљање дјетета на љуљачи. Ако не гурнемо дијете престаће се љуљати, јер му не додајемо енергију. █

3.8. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА: Принудне осцилације

ПРИБОР:

-диск са електромотором;
-еластични конац;
-двије опруге; -колица;

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

СЛИКА:



ПОСТУПАК: Колица, спојена опругама са два граничника на столу, представљају осцилатор. Један крај еластичног гуменог конца везан је за колица, а други за жљеб на малом ваљку причвршћеном за диск. Помоћу електромотора диск се равномјерно врти, а колица при томе осцилују лијево-десно са истом фреквенцијом са којом се обрће диск.

ПИТАЊА:

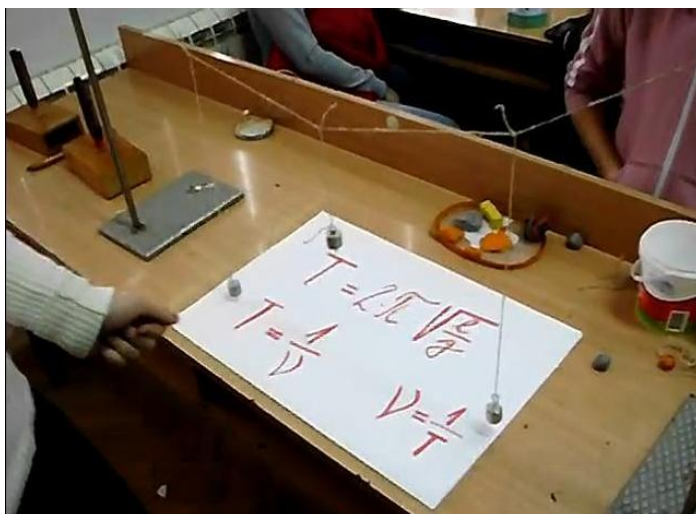
Шта се дешава при укључењу електромотора?

Шта су принудне, а шта слободне осцилације?

Које силе дјелују при раду електромотора?

ЗАКЉУЧАК: Сила која доводи до принудног осциловања колица је еластична сила гумене нити-та сила се мијења периодично зато што се, при обртању диска, дужина конца мијења периодично.

3.9. НАЗИВ ДЕМОНСТРАЦИОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА : Механичка резонанција



Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

ПРИБОР:

- три математичка клатна;
- затегнути конопц;

ПОСТУПАК: Окачимо три клатна на затегнути конопц, као на слици.

Прво и друго клатно су исте дужине, а треће је краће. Прво и друго клатно имају исти период осциловања и фреквенцију, а то доказујемо формулом за период :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ а за фреквенцију: } \nu = \frac{1}{T}.$$

Прво клатно покренемо на осциловање и треће почне да осцилује, јер се енергија осциловања преноси са првог клатна на треће. Друго клатно само подрхтава због подрхтавања конопца. Онда прво клатно осцилује до максималне амплитуде, а треће стане, а онда прво стане, а треће осцилује до максималне амплитуде.

ПИТАЊА:

Шта је механичка резонанција?

Које је услове потребно остварити за настанак механичке резонанције?

ЗАКЉУЧАК: На овај начин утврђујемо услове за преношење енергије осциловања с једног клатна на друго. Механичка резонанција је пренос енергије осциловања клатна са једног на друго тијело под условом да имају исту сопствену фреквенцију. □

4.ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ

4.1. ОБАВЕЗНЕ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ

4.1.1. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Одређивање убрзања силе Земљине теже помоћу математичког клатна

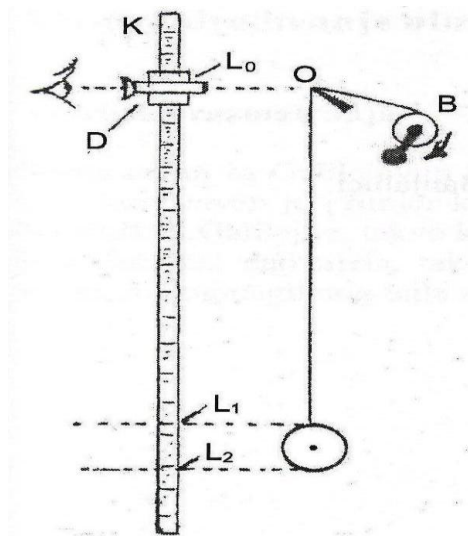
ЗАДАТАК ВЈЕЖБЕ:

Одредити убрзање силе Земљине теже помоћу математичког клатна одређујући период његовог осциловања за различите дужине клатна.

ПОТРЕБАН ПРИБОР:

- клатно учвршћено на дасци, М;
- подешавач дужине нити, О;
- специјални лењир са нонијусом, К;
- хронометар, Н;

СЛИКА :



ПОСТУПАК:

- измјерити масу куглице и окачити је о клатно;
- лењиром измјерити дужину клатна од тачке вјешања до тежишта објешеног тијела тј.куглице;
- укључити хронометар и одбројати 30 осцилација, те зауставити хронометар;

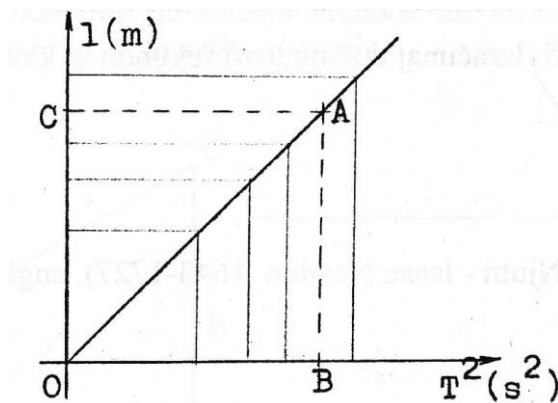
Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

- израчунати период осциловања: $T = \frac{t}{n}$, тј. подијелити измјерено вријеме са бројем осцилација;
- поступак поновити за различите дужине клатна;
- користећи релацију $g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$ израчунава се убрзање Земљине теже, за различите дужине;
- резултате представити табелом, па нацртати график $l(m) = f(T^2(s^2))$;

ТАБЕЛА 1.

Број мјерења	Дужина клатна $l(m)$	Вријеме трајања осциловања $t(s)$	Број осцилација n	Период осциловања $T(s)$
1.				

ГРАФИК



- На основу градијента функције одредити убрзање силе земљине теже тј. користећи формулу $g = 4\pi^2 \frac{OB}{OC}$;

АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТА:

У експерименту се користи тијело малих димензија, тако да се димензије тијела (нпр. маса) могу занемарити у односу на дужину клатна. Ако је угао φ довољно мали, након мјерења времена трајања 30 осцилација хронометром, период осциловања се одређује помоћу релације : $T = \frac{t}{n}$. Поступак мјерења се понавља

за различите дужине клатна. Користећи релацију $g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$ израчунава се убрзање Земљине теже, за различите дужине клатна. Резултати мјерења се могу приказати графички и на основу градијента функције се одређује убрзање силе земљине теже. Експериментално је доказано да је дужина клатна сразмјерна

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

квадрату периода тј. да је период осциловања сразмјеран квадратном коријену дужине клатна. Доказана је релација: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

4.1.2. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Одређивање коефицијента еластичности опруге статичком методом

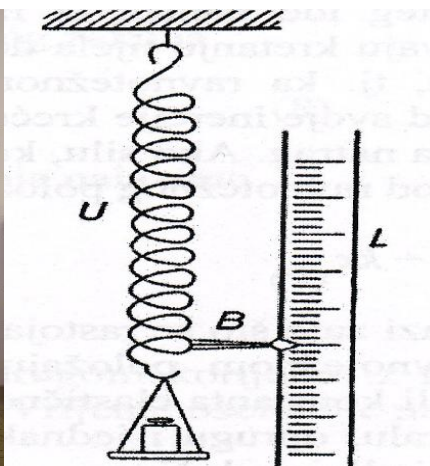
ЗАДАТАК ВЈЕЖБЕ:

Одредити коефицијент еластичности спиралне опруге мјерењем њеног издужења и силе којом је опруга истегнута. Коефицијент одредити уз помоћ графика.

ПОТРЕБАН ПРИБОР:

- Опруга која је једним крајем причвршћена за сталак;
- сталак дуж ког се налази лењир;
- тегови разних маса;

СЛИКА:



ПОСТУПАК:

- Измјерити дужину опруге у недеформисаном стању;
- Измјерити масу тега и окачити га о опругу;
- Измјерити дужину опруге када је о њу окачен тег;
- Израчунати издужење опруге $x = |l - l_0|$;
- Додати други тег па поступак поновити;
- Резултате представити табелом, па нацртати график $F=f(x)$;
 - На основу градијента функције одредити коефицијент опруге $F=-kx$;

АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТА:

Када на опругу дјелујемо неком силом она се деформише: истегне се или сабије у зависности од смјера дјеловања силе. Колика ће та деформација бити зависи од материјала од ког је опруга направљена. Експериментално је доказано да је сила еластичности сразмјерна истезању опруге. $F = kx$

4.1.3. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Одређивање периода осциловања еластичне опруге

ЗАДАТАК ВЈЕЖБЕ:

Одредити периоде осциловања две опруге добијене теоријски и експериментално па их упоредити. коефицијенте еластичности две спиралне опруге мјерењем њиховог издужења а затим за 10 осцилација израчунати експерименталне вриједности периода осциловања. и силе којом је опруга истегнута. Коефицијент одредити уз помоћ графика.

ПОТРЕБАН ПРИБОР:

- двије опруге причвршћене за сталак;
- сталак дуж ког се налази лењир;
- штоперица;
- тегови разних маса.

ПОСТУПАК:

- Одредити коефицијенте еластичности две спиралне опруге мјерењем њиховог издужења као у претходном задатку k_1 и k_2 ;
- Оптеретити прву опругу тегом масе m па је пустити да осцилује и измјерити вријеме за које начини 10 осцилација;
- Уз помоћ формуле за период $T = \frac{\tau}{n}$ одредити експерименталну вриједност периода;
- Поступак поновити за другу опругу;
- Користећи вриједности добијене за k одредити теоријске вриједности периода $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ и резултате унијети у табелу;
- Добијене теоријске и експерименталне вриједност упоредити.

ТАБЕЛА 1.

$m \text{ kg}$	$\tau \text{ s}$	$T_{\text{exp}} \text{ s}$	$T_{\text{teor}} \text{ s}$

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТА:

Резултати добијени експерименталним и теоријским путем се прилично слажу. Грешка се јавља јер осцилације опруге нису у потпуности хармонијске и вријеме трајања осцилација није једнако.

4.1.4. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Одређивање момента инерције торзионог клатна

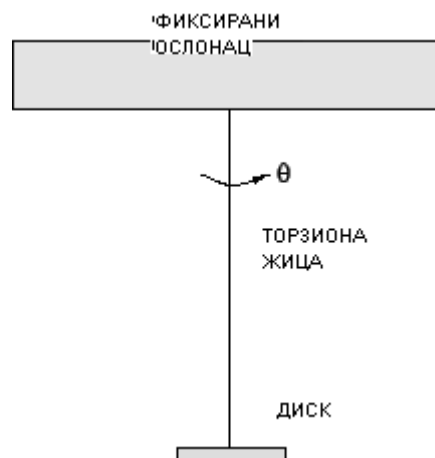
ЗАДАТАК ВЈЕЖБЕ:

Одредити момент инерције тијела помоћу торзионог клатна.

ПРИБОР:

- торзионо клатно са постољем и жицом;
- тијело чији момент инерције одређујемо;
- метално хомогено тијело правилног облика нпр. Ваљак;
- штоперица;
- помично мјерило.

СЛИКА:



ПОСТУПАК:

- Израчунати момент инерције тијела правилног облика (ваљка) мјерећи његову масу и полупречник основе: $I_v = \frac{1}{2} mr^2$;
- Окачити тијело о торзионо клатно и одредити вријеме за које клатно направи 20 осцилација па израчунати период осциловања: $T_v = \frac{\tau}{n}$;
- Скинути тијело познатог момента инерције и окачити тијело чији момент инерције одређујемо;

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

- Поступак одређивања периода осциловања поновимо са тијелом чији момент инерције одређујемо и добијемо T_x ;
- Податке унесемо у табелу;
- Користећи формулу $I_x = I_v \frac{T_x^2}{T_v^2}$ одредимо непознати момент инерције;

ТАБЕЛА 1.

$m \text{ kg}$	$r \text{ m}$	$I_v [kgm^2]$	$T_v \text{ s}$	$T_x \text{ s}$

АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТА:

Ако се користи жица познате торзионе константе c момент инерције тијела се може одредити и на основу једначине $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{c}}$. Торзиона константа жице зависи од материјала од ког је жица направљена. Она се може одредити уз помоћ тијела чији је момент инерције познат или се може лако одредити нпр.мјерењем масе тијела и његових димензија. Грешке су:

$$\delta I_v = \frac{\Delta m}{m} + 2 \frac{\Delta r}{r}$$

$$\delta I_x = \delta I_v + 2 \left(\frac{\Delta T_x}{T_x} + \frac{\Delta T_v}{T_v} \right) \quad \mathbf{I}$$

4.2.ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ ЗА ДОДАТНУ НАСТАВУ

4.2.1. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Одређивање убрзања Земљине теже промјеном тачке вјешања физичког клатна

ЗАДАТАК ВЈЕЖБЕ:

Одредити убрзање Земљине теже мјерећи вријеме потребно за n осцилација физичког клатна у различитим тачкама вјешања. Одредити редуковану дужину физичког клатна те на основу ње израчунати g .

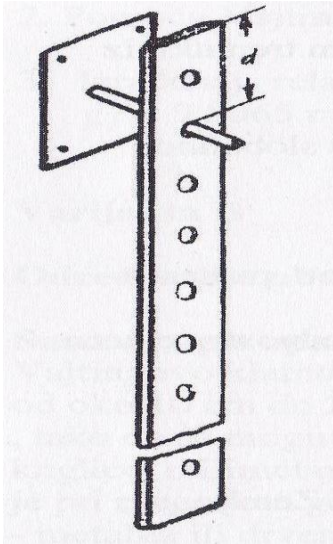
ПРИБОР:

- физичко клатно (штап од месинга правоугаоног пресјека, дуж кога се тачка вјешања може лако помјерати);
- сталак са држачем (призмом) на који се вјеша физичко клатно;

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

- лењир;
- хронометар.

СЛИКА:



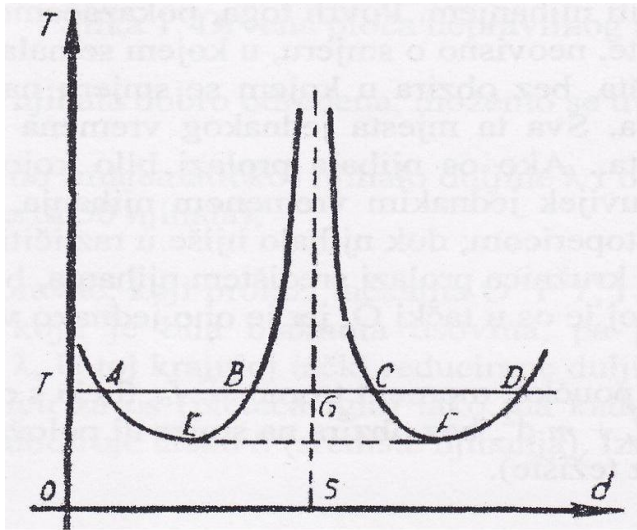
ПОСТУПАК:

- измјерити дужину физичког клатна;
- клатно поставити на први отвор и пустити да осцилује са амплитудом мањом од 1 cm;
- укључити хронометар и одбројати 30 осцилација, те зауставити хронометар;
- израчунати период осциловања за прву тачку вјешања: $T = \frac{t}{n}$, тј. подијелити измјерено вријеме са бројем осцилација;
- клатно поставити на други отвор и поновити мјерење;
- понављати мјерења помјерајући тачку вјешања дуж цијеле дужине клатна;
- резултате представити табелом, па нацртати график $T=f(d)$;

ТАБЕЛА 1.

Број мјерења	d(m)	t(s)	T(s)
1.			

ГРАФИК:



- на графику нацртати праву паралелну са d осом на растојању које одговара вриједности T_1 (округла вриједност), она сјеће добивену криву у четири тачке А, В, С и D, а то су тачке са истим периодом осциловања T_1 ;
- растојања AC и BD представљају редуковану дужину клатна l_0 , за одговарајући период T ;
- користећи релацију $g = 4\pi^2 \frac{l_0}{T^2}$ израчунава се убрзање Земљине теже;
- последња три корака се могу поновити, те наћи средњу вриједност редуковане дужине и онда израчунати убрзање Земљине теже;

АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТА:

У експерименту се употребљава физичко клатно због његових предности у односу на математичко клатно. Оно је стварно клатно те се не користе апроксимације као код математичког клатна и неистегљиво је. Користећи физичко клатно добијају се тачнија мјерења убрзања Земљине теже. Мјерећи вријеме потребно за осцилација физичког клатна и израчунавјући периоде осциловања физичког клатна у различитим тачкама вјешања и након цртања графика $T=f(d)$, одређује се редукована дужина клатна. Уочава се зависност периода осциловања од тачке вјешања физичког клатна. Користећи одређену редуковану дужину клатна израчунава се убрзање Земљине теже. [1]

4.2.2. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Одређивање фреквенције принудног осцилатора

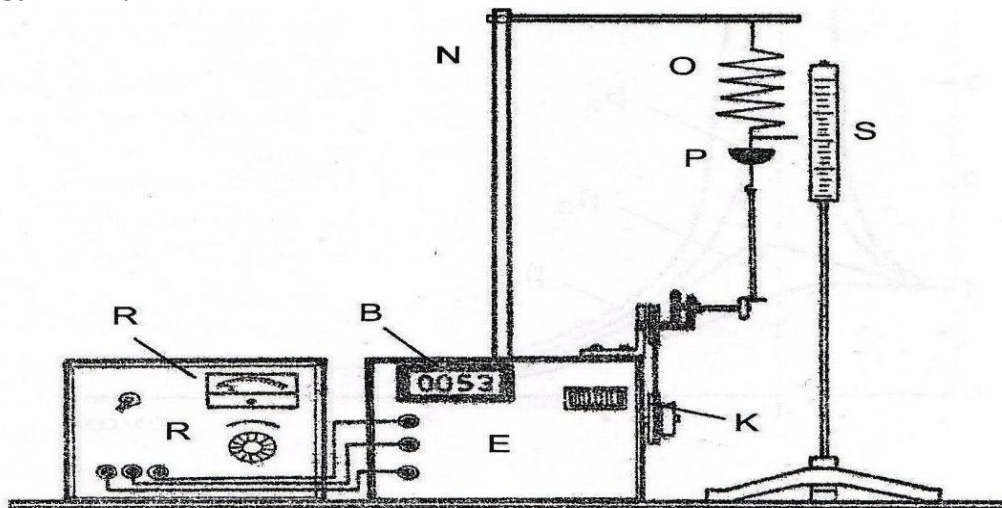
ЗАДАТАК ВЈЕЖБЕ:

Одредити фреквенцију принудног осцилатора мјерећи број обртаја електромотора у јединици времена.

ПРИБОР:

- спирална опруга, O;
- електромотор, E;
- гумена ременица-каиш, K;
- бројач обртаја, B;
- сет тегова, P;
- лењир, L;
- хронометар, T;
- реостат, R;
- сталак са скалом, S;

СЛИКА :



ПОСТУПАК:

- измјерити масу тега и окачити га о опругу;
- очитати почетни положај опруге са тегом P на скали S;
- извести опругу из равнотежног положаја и потаћи је да врши сопствене осцилације фреквенције $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ која зависи од масе тега;
- укључити електромотор и изазвати принудне осцилације опруге;

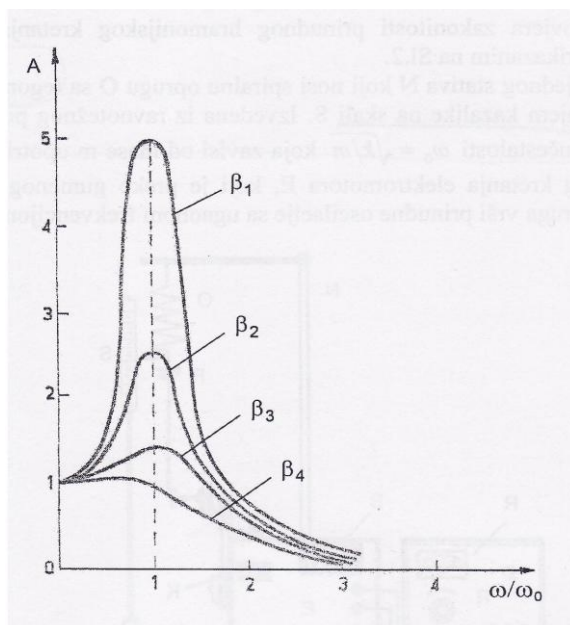
Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

- након времена t очитати број обртаја мотора на бројачу обртаја, на оси електромотора ($n = n_2 - n_1$);
- израчунати фреквенцију принудне силе тј. електромотора $\omega = 2\pi \frac{(n_2 - n_1)}{t}$;
- додати друге тегове различитих маса, па поступак поновити;
- за тегове различитих маса наћи фреквенције сопствених осцилација, мјерећи вријеме трајања t за 20 осцилација тј. $\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi m}{t}$;
- добијене вриједности сопствених фреквенција упоредити са вриједностима добијеним обрасцом $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$;
- мјерити амплитуду осциловања опруге у зависности од угаоне фреквенције принудне силе;
- резултате представити табелом и нацртати график $A = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$;

ТАБЕЛА 1.

Бр.мјерења	m(kg)	n	t(s)	T(s)	$\omega_0 = \frac{2\pi m}{t}$	$\omega_0 = \frac{k}{m}$	$\omega = \frac{2\pi(n_2 - n_1)}{t}$	A(m)
1.								

ГРАФИК:



АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТА:

Након извршених мјерења трајања 20 осцилација опруге, те читавања броја обртаја на бројачу електромотора израчунавају се сопствене и принудне фреквенције опруге, за различите масе тегова. Експериментом се доказује зависност принудног кретања (издужења опруге) од принудне силе. Табеларно и графички се доказује зависност амплитуде принудног осциловања од угаоне фреквенције принудне силе тј. електромотора. Амплитуда осциловања такође зависи од амплитуде принудне силе F_0 и коефицијента пригушења β система. [1]

4.2.3. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Одређивање логаритамског декремента и реституционе константе пригушених осцилација

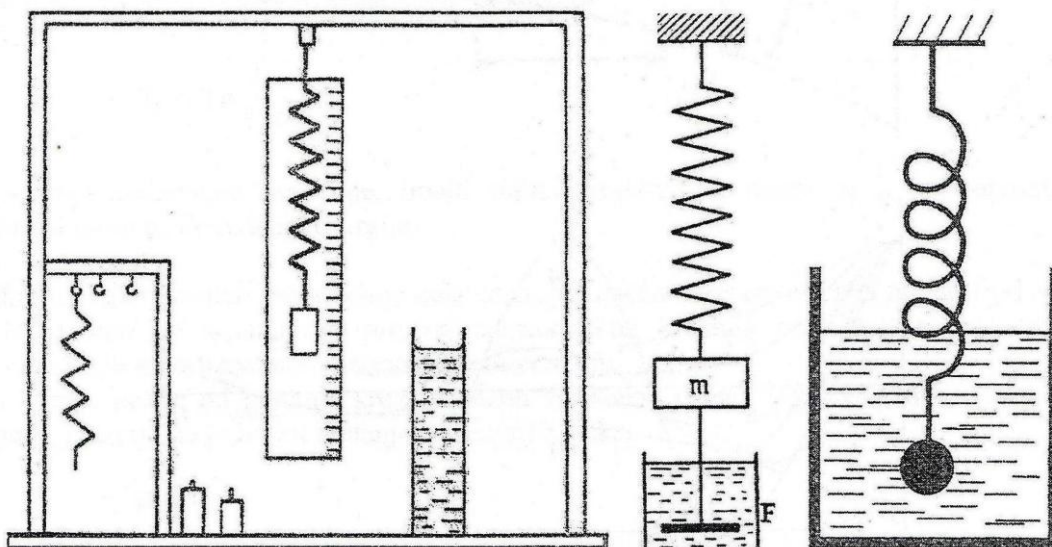
ЗАДАТАК ВЈЕЖБЕ:

Одредити логаритамски декремент пригушених осцилација одређујући период пригушеног осциловања опруге и одредити реституциону константу мјерећи истезање опруге, са теговима различитих маса.

ПРИБОР:

- осцилатор;
- сет утега –тијела-Т;
- лењир-L;
- лабораторијске чаше-M;
- сет разних течности;
- сет спиралних опруга-Z;
- пластична тацна;
- хронометар-Н.

СЛИКА:



Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

ПОСТУПАК:

- Измјерити дужину опруге без тега l_0 ;
- Измјерити масу тега и окачити га о опругу;
- Измјерити дужину опруге када је о њу окачен тег l_1 и одредити истезање опруге $\Delta l = l_1 - l_0$;
- Поновити мјерења са теговима различитих маса и израчунати константу релативне силе формулом $k = \frac{mg}{\Delta l}$ и податке унијети у табелу;
- Известити тег из равнотежног положаја, пустити га да осцилује и хронометром мјерити вријеме потребно за 20 осцилација и израчунати период $T_0 = \frac{t}{n}$;
- Вриједност константе к релативне силе израчунати помоћу израза $k = 4\pi^2 \frac{m}{T_0^2}$;
- Мјерења поновити са теговима различитих маса, а податке унијети у табелу;
- Потопити опругу са тегом у течност која је насута у посуду М и измјерити истезање опруге тј. амплитуду x_0 ;
- Известити тег у течности из равнотежног положаја и мјерити вријеме осциловања t све док амплитуда не опадне до 1/10 полазне амплитуде;
- Мјерења поновити са теговима различитих маса, а податке унијети у табелу;
- Израчунати логаритамски декремент користећи формулу: $\delta = \frac{T_0}{t} \ln 10 = 2,3 \frac{T_0}{t}$;
- Одредити релативне константе $k(N/m)$ за различите опруге;
- Одредити период сопствених осцилација T_0 , те логаритамске декременте појединачно, за сет опруга;
- Резултате представити табелом и графиком $T_0^2 = f(k)$

ТАБЕЛА 1.

Бр.мјерења	Маса тега(kg)	Δl (m)	t(s)	n	$T_0 = \frac{t}{n}$ (s)	δ
1.						

ТАБЕЛА 2.

Бр.мјерења	Маса тега(kg)	x_0 (m)	t(s)	δ
1.				

АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТА:

Реално осцилаторно кретање је праћено присуством сила трења тако да се умјесто простог хармонијског кретања практично, увијек ради о пригушеном или амортизованом хармонијском кретању. Експериментом се одређују особине пригушених осцилација тј. логаритамски декремент, као бездимензионална и

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

константна величина и релативна константа. Графиком се доказује зависност периода сопствених осцилација од релативне константе. 

4.2.4. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Одређивање фреквенције осциловања батића електричног звонца помоћу Мелдеовог вибратора

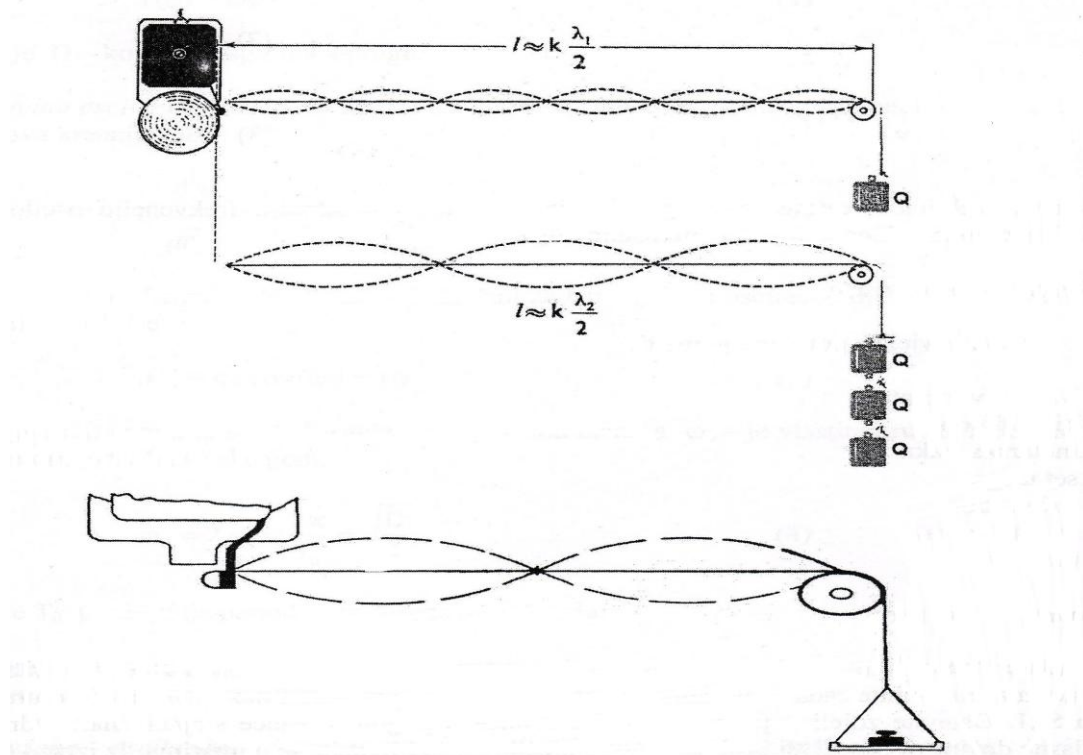
ЗАДАТАК ВЈЕЖБЕ:

Одредити фреквенцију осциловања батића електричног звонца помоћу Мелдеовог вибратора.

ПРИБОР:

- Мелдеов вибратор;
- хируршки конач;
- лењир;
- сет утега;
- стробоскоп;
- аналитичка вага;
- утези за вагу;

СЛИКА:



Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

ПОСТУПАК:

- Извагати 1 m дужине нити и картонску здјелицу на аналитичкој ваги, тежину здјелице изразити у Њутнима;
- Разапети нит између батића електричног звонца и неког штапа или котура као на слици;
- Оставити здјелицу празну и покренути звонце, настаје стојећи талас;
- Одредити таласне дужине одредивши број чворова стојећих таласа и изразити је у метрима;
- Користећи теоријску основу и формуле: $v = \sqrt{\frac{F}{m}}$; $v = \lambda \nu$; долазимо до формуле за фреквенцију осциловања батића: $\nu = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{F}{m}}$;
- Поновити мјерење за различите F које се добијају кад на здјелицу стављамо различите утеге;

ТАБЕЛА 1.

Бр.мјерења	Маса тега (kg)	F (N)	$\lambda(m)$	$\nu(Hz)$
1.				

АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТА:

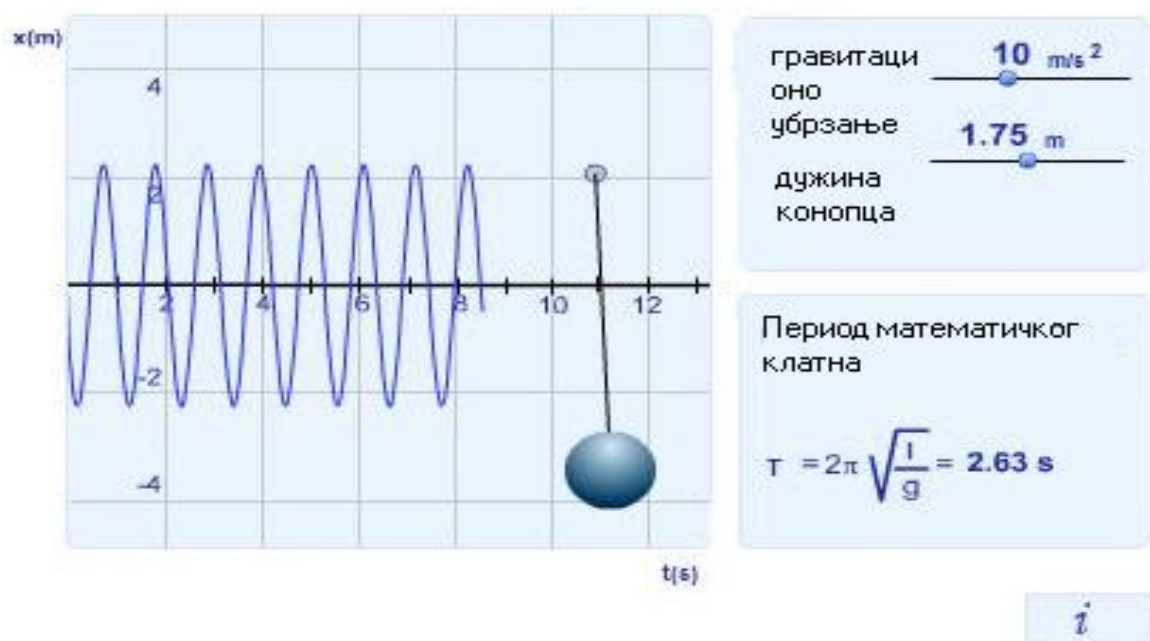
Користећи Мелдеов експеримент одређујемо фреквенцију осциловања котве електричног звонца тј. формирањем стојећих таласа на затегнутој жици. Котва је извор трансверзалног таласа, батић титра, побуђује на осциловање нит и дуж ње се шири талас. Он са рефлектованим таласом, који се рефлектовао од котура, створити стојећи талас. Појавиће се трбуси и чворови. Удаљеност између два сусједна чвора је $\lambda/2$, гдје је λ дужина таласа од којег је стојећи талас настао. Одређујући број чворова и користећи теоријску основу долазимо до фреквенције осциловања батића звонца, односно фреквенције осциловања. 

5. СИМУЛАЦИЈЕ НА РАЧУНАРУ

5.1. НАЗИВ СИМУЛАЦИЈЕ: Математичко клатно I

АНАЛИЗА СИМУЛАЦИЈЕ И ПОСТУПАК КОРИШЋЕЊА СИМУЛАЦИЈЕ:

Симулацијом је приказано осциловање математичког клатна помоћу куглице објешене на конопца. Можемо мијењати дужину конопца и гравитационо убрзање. Симулација омогућава да видимо зависност периода осциловања математичког клатна од дужине конопца и гравитационог убрзања. [0]



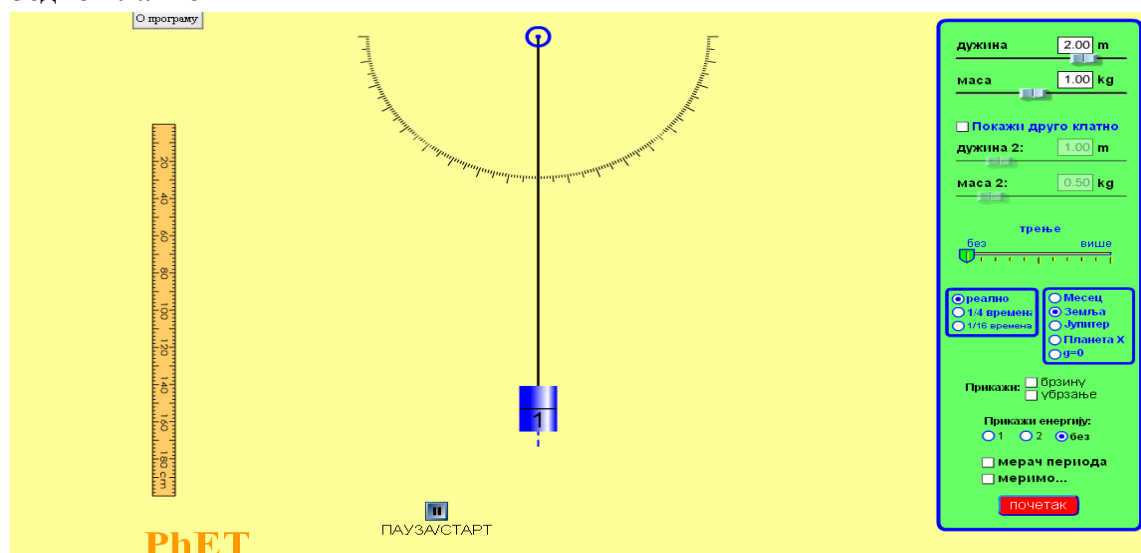
5.2. НАЗИВ СИМУЛАЦИЈЕ: Математичко клатно II

АНАЛИЗА СИМУЛАЦИЈЕ И ПОСТУПАК КОРИШЋЕЊА СИМУЛАЦИЈЕ:

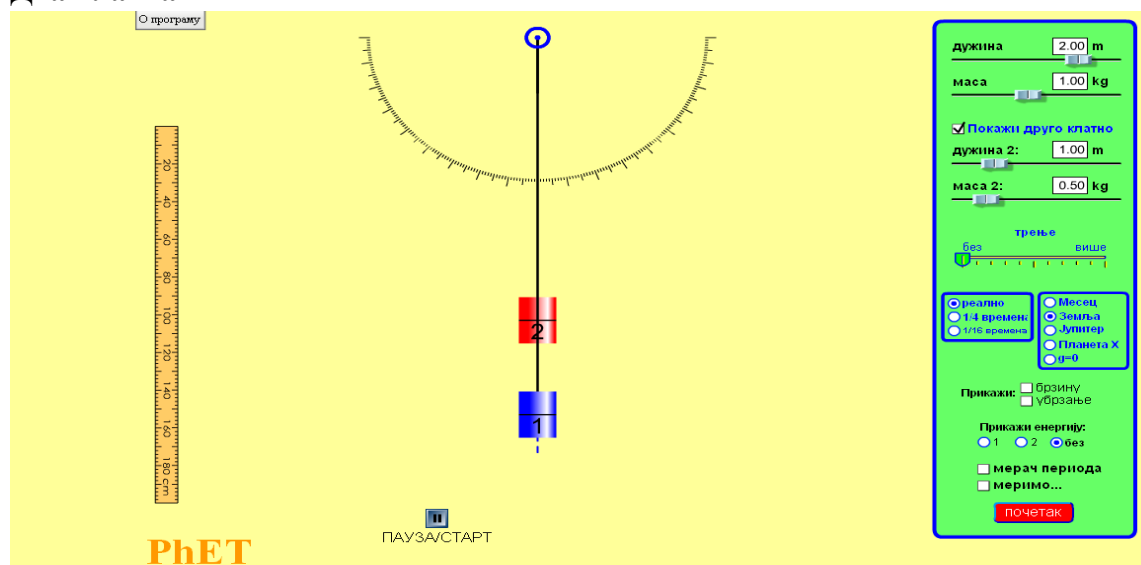
Симулацијом је приказано осциловање математичког клатна помоћу тегова објешених на конопц. Можемо мијењати дужину конопца, масу тегова и гравитационо убрзање. Ова симулација дозвољава посматрање још једног клатна. Поређењем њиховог осциловања се могу донијети добри закључци и научити карактеристичне особине математичког клатна. Симулација омогућава да видимо зависност периода осциловања математичког клатна од дужине конопца и гравитационог убрзања. Ученици такође могу закључити да период клатна не овиси о маси тегова. [1]

СЛИКА:

Једно клатно



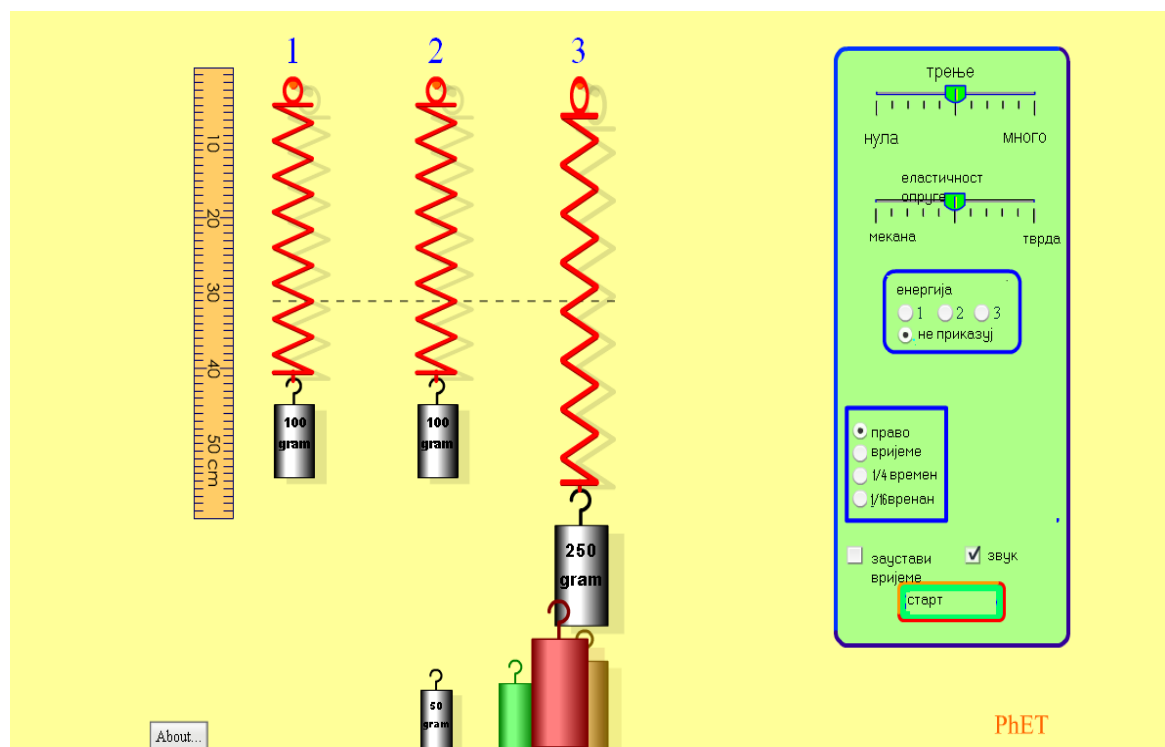
Два клатна



5.3. НАЗИВ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ: Осциловање еластичне опруге

АНАЛИЗА СИМУЛАЦИЈЕ И ПОСТУПАК КОРИШЋЕЊА СИМУЛАЦИЈЕ:

Симулацијом је приказано осциловање еластичне опруге. Приказани су тегови различитих маса и три опруге о које се могу окачити тегови. Окачимо тегове на опруге и подесимо еластичност опруга и трење. Можемо мијењати вријеме трајања симулације, те успорити или убрзати вјежбу. Посматрамо осциловање тегова. Могуће је добити и графикон који приказује кинетичку, потенцијалну, а и топлотну енергије за сваку опругу. [1]



6. ЗНАЧАЈ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ВЈЕЖБИ У ОСТВАРИВАЊУ ЦИЉЕВА НАСТАВЕ ФИЗИКЕ У ОБРАДИ ТЕМЕ „ОСЦИЛАЦИЈЕ И ПЕРИОДИЧНО КРЕТАЊЕ“

У оквиру наставног програма физике дата су *општа дидактичка упутства и препоруке*.

Број часова за поједине тематске цјелине дат је оријентационо, а за тему осцилација предвиђено је 12 часова.

Циљеви и задаци наставе физике остварују се кроз следеће основне фазе:

1. излагање садржаја теме уз одговарајуће демонстрационе експерименте и рачунарске симулације,
2. рјешавање квалитативних и квантитативних задатака,
3. лабораторијске вјежбе,
4. коришћење и других начина рада који доприносе бољем разумијевању садржаја теме (домаћи задаци, реферати, семинарски радови, пројекти...)
5. систематско праћење рада сваког ученика.

Важно је да наставник током реализације прва три облика наставе наглашава њихову обједињеност у јединственом циљу: расвјетљавање и формулисање физичких закона и њихова примјена. Да би се циљеви и задаци наставе физике остварили, потребно је да ученици активно учествују у свим облицима наставног процеса.

Поред општих дидактичких упутстава и препорука, у оквиру наставног програма физике, дефинисана су и *методичка упутства за излагање садржаја теме*. У свакој тематској цјелини предвиђено је извођење демонстрационих експеримената.

Методички поступак рада (учења) када се изводи демонстрациони експеримент је:

- (1) ученик описује појаву коју посматра или демонстрира на нивоу личног разумијевања;
- (2) након тога наставник дефинише појмове (величине) термилошки јасно и прецизно;
- (3) прелази се на представљање закона у математичком облику.

У неким случајевима могуће је кориштење проблемске наставе. Наставник поставља ученицима проблем (по могућности) изражен на занимљив начин и стимулише ученике да они самостално, у паровима или групно дођу до рјешења. Улога наставника је да усмјерава ученика постављајући им питања и подсјећајући их на нешто што су учили и што треба да примијене.

Погодне теме ученици реализују самостално кроз радионице или припремањем реферата (презентација), које презентују појединачно или у паровима. Наставник ће ученицима за овај начин рада дати упутства и омогућити им да искажу властиту креативност.

Сви наставни програми садрже и *упутства за извођење лабораторијских вјежби*.

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

Лабораторијске вјежбе су саставни дио редовне наставе. За сваку вјежбу предвиђена су два школска часа. Методичка припрема за реализацију лабораторијске вјежбе је следећа:

- наставник даје упутства цијелом одјељењу за руковање потребном апаратуром, посебно водећи рачуна о мјерама сигурности ученика и начину мјерења физичких величина;
- наставник дијели одјељење у групе за извођење вјежби.

Број група одређује се на следећи начин. Ако кабинет има само једну апаратуру за једну вјежбу, што је најчешћи случај, онда наставник треба да одреди колико времена траје постављање вјежбе и мјерење потребних физичких величина. Пошто је планирано вријеме за једну вјежбу 90 минута, онда се број група добија дијељењем 90 минута са временом трајања једне вјежбе. На примјер један од начина је следећи. Пошто се већина вјежби може урадити за 15 минута онда се одјељење може подијелити у 6 група. Према томе, ако одјељење има 30 ученика онда се оно дијели у 6 група по 5 ученика. Пошто су за вјежбу планирана два школска часа, то значи да у току једног часа вјежбу изводе 3 групе по 5 ученика. Ако кабинет физике има двије апаратуре за исту вјежбу онда би број група био 12.

Дијељењем одјељења на групе омогућено је извођење више лабораторијских вјежби, те на тај начин веће учешће ученика у наставном процесу.

Податке добијене мјерењем ученик записује у школску свеску, а обавезан је да напише извјештај за сваку урађену вјежбу. Извјештај се предаје наставнику на дволисту формата А4. Ако се извјештај ради кориштењем рачунара, онда ученик треба тај документ да одштампа и залијепи на дволист формата А4.

Ако кабинет физике нема потребну опрему за планирану вјежбу, а има опрему за другу вјежбу која се односи на програмске садржаје за трећи разред, наставник може урадити ту вјежбу као замјену за планирану. У случају да наставник не може извести вјежбу нити наћи одговарајућу замјену онда је обавезан да нађе (на Интернету, у уџбенику или приручнику за експерименталне вјежбе) неку урађену експерименталну вјежбу са табеларним подацима који су добијени мјерењем одговарајућих физичких величина. На основу тих података ученик пише извјештај.

Извјештај (поред имена и презимена ученика и датума израде) треба да садржи:

- теоријски дио;
- опис апаратуре;
- методе мјерења потребних величина са табеларним приказом података;
- обраду резултата мјерења која подразумева да се коначни резултат прикаже са максималном апсолутном грешком мјерења;
- анализу и закључке.

Ако ученик не преда извјештаје за вјежбе онда остаје неоцијењен из физике на крају школске године.

Наставник треба да сваком извјештају додијели одређен број бодова који у одређеном проценту учествују у коначној ојени из физике.

Ученици општег и природно-математичког смјера су обавезни да ураде лабораторијске вјежбе које су предложене у програмским садржајима или одговарајуће замјене. Ученичке извјештаје о урађеним вјежбама наставник чува у школи и након завршетка школске године до краја те календарске године.

На овај начин демонстрациони експерименти и лабораторијске вјежбе постају незамјењив дио наставног процеса и процеса оцјењивања ученика.

Ако се наставник држи дидактичких, методичких и упутстава за извођење демонстрационих експеримената и лабораторијских вјежби загарантован је

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

успјех ученика у усвајању и разумијевању теме осцилација и периодичног кретања. За разумијевање појава које проучава ова тема, није довољно ослонити се на класичну наставу. Ученицима треба што је чешће могуће, показати (демонстрирати) појаве из природе на које се односило градиво са циљем што боље имплементације наученог. Физика је експериментална наука и сам поступак мјерења је драгоцијено и незамјењиво искуство за ученике. █

7. ЗАКЉУЧАК

Наставни план и програм, за наставу физике у гимназији, предвиђа само дванаест часова за обраду теме „осцилације и периодично кретање“. Након ове теме слиједе значајне теме, „таласи“ и „наизмјенична струја“, те сматрам да је тема „осцилације и периодично кретање“ веома битна и незамјењива за разумијевање наведених тема. Из властитог искуства мислим да је теоријски дио преобиман и да би га требало смањити. Неке наставне јединице као нпр. слагање и разлагање осцилација се могу обрадити у оквиру додатне наставе или се могу задати ученицима као домаћи задатак. Наиме, за њихово усвајање је потребан, уз упутство наставника, само математички апарат, који већина гимназијалаца добро познаје. Погодне наставне јединице ученици могу реализовати самостално, кроз радионице или припремањем реферата (презентација), које презентују појединачно или у паровима. Ученицима, за овај начин рада, дајем упутства и омогућавам им да на тај начин искажу властиту креативност.

Очигледно је да је по наставном плану и програму број предвиђених *демонстрационих експеримената*, обавезних лабораторијских вјежби и симулација веома мали. Како *наставник може да уведе одређена проширења*, замјене и допуне, ја дајем предност демонстрационим експериментима и лабораторијским вјежбама у односу на неке наставне јединице и на тај начин покушавам да обогатим наставу физике.

Демонстрациони експерименти би требали бити више заступљени у настави како би се остварили циљеви наставе физике. Посебно истичем улогу демонстрационог експеримента у уводном дијелу наставног процеса, али морам нагласити да се он нажалост врло ријетко појављује у нашој школској пракси. Метода демонстрационог експеримента је неопходна и незамјењива у наставном процесу, јер она најдиректније упућује ученика у свијет науке. У раду сам објаснила *девет* демонстрационих експеримената, који се могу демонстрирати за вријеме обраде теме „осцилације и периодично кретање“.

Наглашавам и значај *лабораторијских вјежби* у остваривању циљева наставе физике са нагласком на развијању ученикових радних способности. У раду сам објаснила четири лабораторијске вјежбе карактеристичне за тему „осцилације и периодично кретање“. Такође сам објаснила и четири лабораторијске вјежбе које су сложеније и које нису предвиђене наставним планом и програмом. Како се квалитет и квантитет знања ученика мора повећавати са њиховим узрастом сматрам да би се те вјежбе могле радити у гимназији, ако не у редовној настави онда бар у оквиру додатне наставе физике.

Поред демонстрационих експеримената и лабораторијских вјежби навела сам и три *симулације* са интернета умјесто једне, предвиђене наставним планом и програмом, које се могу користити у обради наведене теме.

Резултати тестирања мојих ученика, из дате теме, показују да ученици најбоље усвајају теорију која је повезана са демонстрационим експериментима или лабораторијским вјежбама. Изузетно добро усвојено градиво је и градиво везано за приказане симулације на рачунару, јер данашњи ученици, односно њихов велики проценат, најлакше прихватају податке и информације користећи рачунар и савремену технологију.

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

Који су још разлози за што већу заступљеност демонстрационих експеримената, лабораторијских вјежби и симулација у настави физике?

Свака лабораторијска вјежба доноси нешто ново (нови захтјеви, нови циљеви, нова апаратура итд.), те се повећава интерес ученика за предмет. Ученици се морају трудити повезати све научене физичке појмове, физичке величине и законе. Ако уложени труд уроди плодом тј. експеримент успије ученици осјећају посебно задовољство. Ученици се осјећају способним савладати све веће проблеме, јер се способност рјешавања проблема развија током рада у лабораторији.

Наравно, треба имати у виду и интерес и потребе ученика. Демонстрациони експерименти, лабораторијске вјежбе и анимације освјежавају наставни процес и знатно олакшавају ученицима да схвате сложеније проблеме и обезбјеђују трајније усвајање школског знања. Мислим, да и неким једноставнијим експериментима, из стварног живота, физика постаје ученицима занимљивија и интересантнија. Мијења се негативан однос ученика према физици, као предмету. Када ученици схвате да физика није само учење теорије и рјешавање задатака и да они, изводећи експерименте, могу да разумију физику и физикалне законе, расте њихова заинтересованост за физику. Овако се мијења статус физике у односу на остале предмете.

Нагласила сам предност за ученике, али мислим да је заједничка предност и наставницима и ученицима у повећању заинтересованости за физику као природну науку. Наиме, ученици често добијају оцјене на основу сувог теоријског знања. Да би стечено знање остало трајно учениково власништво, потребно је у настави вјежбати и понављати, те на разне начине провјеравати у којем је степену то знање резултат ефикасности наставног процеса. Веома је важно утврдити да ли су постављени циљеви доиста и остварени и у којој мјери. Потребно је дакле, са ученицима валоризирати заједнички рад. Сви демонстрациони експерименти и лабораторијске вјежбе могу послужити за понављање и утврђивање градива, те тако и на крају наставног процеса. На овај начин ученици ће понављати и утврђивати познавање величина и њихових односа који се јављају. Такође, ученици су због оцјењивања извјештаја о лабораторијским вјежбама више заинтересовани и мотивисани за рад. Ученицима се дефинишу захтјеви које морају задовољити у извјештајима о лабораторијским вјежбама. На тај начин и ученици са лошијим оцјенама добијају могућност да добију боље оцјене. Ова два начина оцјењивања омогућавају већу објективност. На тај начин ученик добија адекватну оцјену из одређене области физике. Тако су сви задовољнији и наставници и ученици. Практикујући више овакав начин оцјењивања физика ће имати задовољавајући положај у средњим школама.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. „Проблемско развојна настава физике“, Томислав Петровић, Просвета, Београд, 1988. год.
2. „Дидактика физике-теорија наставе физике“, Томислав Петровић, Београд, 1993. год.
3. „Методички приручник за наставнике“, Рудолф Крсник, Школска књига, Загреб, 2001. год.
4. <http://www.rpzrs.org>
5. „Физика за 3. разред гимназије“, Владимир Паар, Школска књига, Загреб, 1999. год.
6. „Демонстрациони покуси“, Антун Кунтарић, Школска књига, Загреб, 1975. год.
7. „Лабораторијски приручник за физику“, Завод за школску опрему, Загреб, 1980. год.
8. „За радозналост ђака физика је лака“, Наташа Чалуковић, Бојана Никић, Круг, Београд 2005. год.
9. „Експерименталне вјежбе из физике, механика“, др. Иван Томљеновић, Бања Лука, 2010. год.
10. <http://www.svetnauke.org/5011-simulacija-matematickog-klatna>
11. <http://phet.colorado.edu/>

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

Кратка биографија

Ивана Љубојевић



Рођена 09.05.1974.год. у Бања Луци. 1992.год. завршила Гимназију у Бања Луци. Након завршених студија на Педагошкој академији (одсјек математика-физика) , запошљава се и заснива породицу. 1999.год. уписује Природно-математички факултет (наставни смјер) . 2003.год. дипломирала на ПМФ-у и стекла стручни назив, професор физике.

Запослена у Гимназији, у Бања Луци, као професор физике. Ради и у програму међународне матуре (IB program).

**Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у
настави физике у гимназији**

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Master rad

VR

Autor:

Ivana Ljubojević

AU

Mentor:

dr Sonja Skuban

MN

Naslov rada:

Značaj eksperimentalnih vježbi u obradi teme „Oscilacije i periodično kretanje“ u nastavi fizike u gimnaziji

Jezik publikacije:

srpski (ćirilica)

JP

Jezik izvoda:

srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Srbija

ZP

Uže geografsko područje:

Vojvodina

UGP

Godina:

2013

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa:

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

Fizika

NO

Naučna disciplina:

Eksperimenti u mehanici i termodinamici

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

oscilacije,periodično kretanje

PO

UDK

Čuva se:

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU

Važna napomena:

nema

VN

Izvod:

IZ

U radu su obrađeni demonstracioni eksperimenti ,laboratorijske vježbe i simulacije koje se mogu koristiti pri obradi teme „oscilacije i periodično kretanje“ u gimnaziji. Analizirana je uloga i značaj navedenih dem.eksperimenata,lab.vježbi i simulacija u nastavi fizike u gimnaziji.

Datum prihvatanja teme od NN veća:

02.09.2013.

DP

Datum odbrane:

23.09.2013.

DO

**Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у
настави физике у гимназији**

Članovi komisije:

KO

Predsjednik:

dr Zeljka Cvejic, vanredni profesor

član:

dr Imre Gut, vanredni profesor

član:

dr Sonja Skuban, vanredni profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Master paper

CC

Author:

Ivana Ljubojević

AU

Mentor/comentor:

Ph.D. Sonja Skuban

MN

Title:

Importance of exercises in treating the subject „Oscillations and periodic motion " in physics in high school

Language of text:

Serbian (Cyrillic)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2013

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

Physical description:

PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Experiments in mechanics and thermodynamics

SD

Subject/ Key words:

Oscillations, periodic motion,

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Значај експерименталних вјежби у обради теме „Осцилације и периодично кретање“ у настави физике у гимназији

Abstract:

AB

The paper discribed the demonstration experiments, laboratory exercises and simulations that can be used in treating the subject „oscillations and periodic motion” in high school. The role and significance of demonstration experiments, laboratry exercises and simulations in teaching physics in high school is analysed..

Accepted by the Scientific Board: 02.09.2013.

ASB

Defended on:

23.09.2013.

DE

Thesis defend board:

DB

President: dr Zeljka Cvejic, associate professor

Member: dr Imre Gut,associate professor

Member: dr Sonja Skuban,associate professor