



Универзитет у Новом Саду
Природно-математички факултет
Департман за физику



Њутново и балистичко клатно у настави физике

дипломски рад

Студент: Елеонора Новак

Ментор: др Ивана Богдановић

Септембар, 2022.

Овим путем желим да исказем бескрајну захвалност својој менторки др Ивани Богдановић на великој помоћи, саветима, стрпљењу и разумевању при изради овог рада.

Захваљујем се својој породици, партнеру, пријатељима, др Снежани Кецојевић, професору Славољубу Митићу кога сам игром случаја упознала на одмору и који ми је дао многе савете и идеје за израду дипломског рада.

Садржај

1	Увод.....	4
1.1	Методика наставе физике.....	6
1.2	Савремена настава.....	7
2	Закони одржања	8
2.1	Закон одржања импулса	10
2.2	Закон одржања енергије	19
3	Судари.....	24
3.1	Еластични судари	24
3.2	Централни еластични судар	25
3.3	Нееластични судари	27
3.4	Нецентрални судар при кретању тела у равни.....	28
4	Њутново клатно	29
4.1	Историјски развој	29
4.2	Примена Њутновог клатна у настави физике.....	30
4.3	Демонстрација експеримента.....	31
4.4	Занимљивости.....	33
5	Балистичко клатно	34
5.1	Историјски развој	34
5.2	Примена балистичког клатна у настави физике	36
5.3	Демонстрација експеримента.....	37
5.4	Занимљивости.....	40
6	Закључак	41
	Литература	42
	Биографија	43
	Кључна документација информација	44

1 Увод

Убрзан развој науке и технике доноси нови оквир одрастања младих генерација, што са собом носи и добре и лоше особине. Позитивно је што се на тај начин побољшавају услови живота, повећава се стандард и независност човека у односу на природу као и повећање нивоа образованости. Негативне особине су еколошка криза и криза идентитета личности.

Због тога циљ овог дипломског рада је да се деци на један занимљив, иновативан, интерактиван и подстицајан начин приближи свет око нас и начин функционисања физичких закона и природних појава, конкретно у овом случају закона одржања.

Полазимо од тога да развој високих технологија за собом повлачи и нов образовни систем.

Образовни систем треба да се базира на начину стицања знања током целог живота, односно како стварати нова знања на основу постојећег. Данашње генерације стичу знање путем различитих медија(интернета), али тако стечено знање је несистематизовано, зато је основни задатак наставника, односно школе, да ученицима омогући стицање основног интегрисаног знања и вештина на основу којих ће моћи целог живота да уче,раде и стварају.

Ово значи да наставу физике треба системски организовати у складу са основним дидактичким принципима везаним за развијање појмова, тако да размишљање, стварање потпунијег и функционалнијег знања о природним појавама постане део личности ученика.

Важну улогу у стицању знања имају и једноставни експерименти. Једноставни експерименти би требали да се уведу у свакодневну школску праксу, јер се њима поред демонстрације одређене физичке величине постиже:

- Боље разумевање појава у природи
- Уочавање и схватање узрочно-последичних веза природних појава
- Развој појмова од простог ка сложенијем
- Усвајање знања путем експеримента која су трајнија од традиционално усвојених знања
- Развијање способности анализе експерименталних ситуација
- Подстицање креативности и радозналости ученика
- Трансформисање стечених знања у вештине и навике
- Развијање одговорности ученика према очувању животне средине
- Увођење научног метода у свакодневну наставу

Да би се све ово постигло водићемо се Кинеском изреком која говори:

- Оно што чујем заборавим
- Оно што видим запамтим
- Оно што урадим разумем

Важна карактеристика једноставних експеримената је њихов мотивациони карактер, јер се у већини случајева успешно изводе и то је пропраћено осмехом и изразом задовољства како код ученика тако и код наставника.

Код једноставних експеримената наставник мора бити опрезан у избору експеримената због нивоа предзнања ученика и њихове зрелости, односно мора да води рачуна о поједностављеном образложењу појединих феномена који се демонстрирају или истражују да се не би створила погрешна слика о неким физичким појавама.

1.1 Методика наставе физике

Развој физике донео је озбиљне проблеме за методiku физике. Методика представља науку о методама, назива се још посебна дидактика. Методика се бави проблемима наставе одређених предмета или области.

Методика је педагошка научна дисциплина која се бави теоријском разрадом и практичном применом општих дидактичких, педагошких и психолошких законитости у домену наставе конкретног школског предмета. Ми ћемо се бавити методиком наставе физике. Методика наставе физике је врло млада наука. У Мерању, 1905. године, се почела изучавати као засебна наука.

Методика наставе физике проучава законе, путеве и средства васпитања и образовања у процесу организованог изучавања физике.

Можемо са сигурношћу да кажемо да не постоји универзалан тип наставе у сваладавању свих области и садржаја из физике. Како се физика као наука брзо развијала ти проблеми су се превазилазили увођењем техничких помагала у једном правцу и радикалним изменама планова и програма у другом правцу. Ова два правца намећу да се мора добро познавати психологија ученика, шта је наш циљ и под којим условима је потребно организовати наставу.

Најважнији циљ наставе физике је да ученике упозна са природним законима и физичким појавама, као и да ученицима приближи свет око нас. Ако се кроз наставу физике занемарује аспект физике који је повезан са ставрањем знања, са једне стране ученицима ће остати непознати суштина проучаваног феномена, као и знања из историје физике који упућују на интелектуални развој човечанства, а са друге стране неће имати прилику да се баве истраживањем сопственог размишљања о спољашњем свету.

1.2 Савремена настава

Усклађивање ових тврдњи и претпоставки може се уобличити савременом наставом.

Савремена настава треба да представља јединствен наставно-образовни процес у коме су укључени и наставник и ученик, где они представљају активне учеснике у реализацији постављених задатака наставе.

У савременој настави наставник је тај који планира, организује, програмира, реализује, води, саветује, истражује, васпитава и верификује васпитно-образовни процес.

Задужен је за праћење промена и напретка у струци, теорији и пракси и уводи новине у свој рад.

Савремена настава физике треба да превазиђе класичну наставу, која често стимулише репродукцију дефиниција и памћење израза без разумевања.

Савременом наставом треба да се подстакне индивидуално размишљање и коришћење искуственог знања.

Искуствено знање ученика се често разликује од научног знања, а одговори које они дају су често погрешни. Да би се то кориговало ученике треба подстицати, исправљати и награђивати зарад њиховог интелектуалног развоја.

Један од дидактичких принципа који највише примењујемо код овакве наставе је **принцип повезаности теорије и праксе**.

Принцип повезаности теорије и праксе одржава баланс између теоријских знања и праксе.

Теоријским знањем се брже прилагођавамо променама, како у области материјалне средине тако и у области друштвених односа, док пракса омогућава да ученици продубљеније схвате теорију, као и да провере стечено знање кроз разне експерименте, радионице и полигоне.

Да би савремена настава добила једну компактну форму, у њу можемо увести и програме за анализу кретања, што ће наставу подићи на један виши ниво.

У савременој настави извођење неких експеримената је најлакше организовати у малим групама у којима ученици заједничким идејама, сналажљивошћу и разменом мишљења долазе до одговарајућих закључака.

Рад у групи може довести до нерада и незаинтересованости дела групе, а то можемо рећи да су недостаци оваквог приступа. Још један од недостатака је да наставник пружа велику помоћ, због тога наставници треба да припомогну уколико дође до проблема и да их наведу на прави пут да би наставили да размишљају.

2 Закони одржања

Закони одржања у физици имају важну улогу. Могу се примењивати у свим областима физике и других наука. Ови закони показују одржање вредности неких физичких величина: импулса, енергије, момента импулса...

Познавањем закона одржања у механици једноставније можемо објаснити одређене физичке појаве. Дефинисаћемо неколико појмова који су нам битни за формулацију закона одржања.

Физички систем представља скуп два или више тела која могу међусобно да интерагују или могу да учествују у некој појави. Тела која чине физички систем могу да интерагују и са телима изван тог система.

Физички систем може бити свако појединачно тело или група тела који поседују неку заједничку особину.

Унутрашње тело је тело које припада датом систему, а **спољашње тело** је тело које не припада изабраном систему.

Унутрашње силе су силе које делују између тела унутар система.

Спољашње силе су силе интеракције тела у систему са телима које не припадају систему.

Изолован (затворен) систем је систем који је изолован од спољашњих утицаја. У овом систему делују само унутрашње силе. Дејство спољашњих

сила може да се занемари, а то значи да је резултанта спољашњих сила једнака нули или су те силе доста слабије од унутрашњих.

Важно је да кажемо да се сви закони одржања односе на систем као целину. Тиме долазимо до закључка да се укупна вредност физичке величине у изолованом систему не мења без обзира на унутрашње промене тог система.

Овако дефинисан изоловани систем не постоји. Увек ће се наћи неко тело ван тог система које ће деловати спољашњом силом, ма колико било удаљено, и зато ће тај систем увек бити отворен.

Постоји неколико могућности да би се систем прогласио затвореним:

- Бирамо систем тако да спољашња тела буду јако удаљена. Ово радимо да можемо да прогласимо спољашње силе, по јачини, занемарљиво малим у односу на унутрашње силе. Овакав пример имамо код Сунчевог система. Нама најближа звезда- Проксима Кентаури је удаљена 4,3 светлосне године од нашег Сунчевог система. Њено гравитационо деловање на тела у Сунчевом систему у односу на утицај Сунца се занемарује.
- Бирамо систем тако да се међусобно пониште све спољашње силе које делују на њега. Овакав систем се препознаје по томе што се као целина праволинијски креће или мирује.
- Ако спољашње силе нису занемарљиве и ако се не поништавају међусобно и онда можемо дефинисати затворени систем. Дефинисање је могуће само ако нам спољашње силе нису битне за одвијање појаве коју посматрамо у том систему.
- Имамо случај да се појава дешава у веома кратком временском интервалу, онда спољашње силе немају времена да делују на систем који посматрамо и он се може сматрати затвореним.

Можемо за пример узети **систем пушка-метак**. При самом испаливању систем се сматра затвореним. Не делују ни гравитациона сила ни отпор ваздуха које спадају у спољашње силе, јер немају времена да битно утичу на сам процес.

Морамо обратити пажњу и на каснији лет метка јер ове две силе битно утичу на његово кретање и одређују му брзину и путању у односу на површину земље. При самом испаливању процес се одвија на сличан начин као у вакууму или у бестежинском стању.

Силу трења, између пушке и метка, не разматрамо је она унутрашња сила.

2.1 Закон одржања импулса

Импулс

У физици **импулс** се обележава малим словом \vec{p} . Изражава се као производ масе тела m и брзине тела \vec{v} .

$$\vec{p} = m * \vec{v}$$

Јединица за импулс је $\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Бројна вредност импулса зависи од масе и брзине тела које се креће у одређеном систему референце.

Пошто је брзина тела одређена правцем, смером и интензитетом, односно брзина је векторска величина, а импулс зависи од брзине тела можемо да кажемо да је и импулс векторска величина.

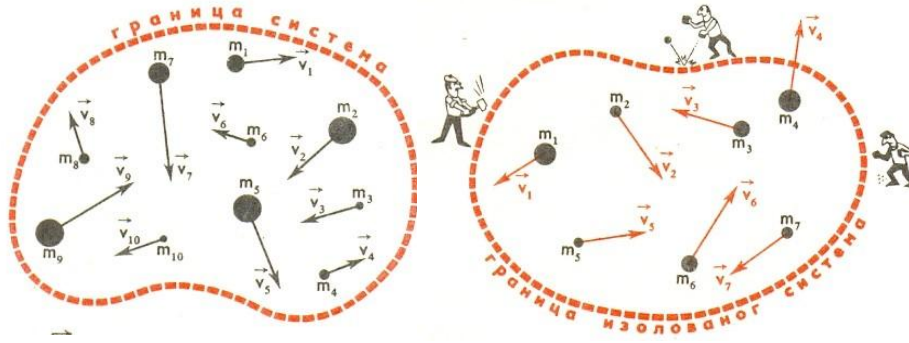
Импулс неког тела се може схватити као настојање тог тела да настави своје кретање у истом правцу и смеру ако на њега не делује нека спољашња сила. Он је природна последица Њутнових закона кретања.

Важно је напоменути да импулс зависи од референтног система, то значи да једно те исто тело има једну вредност импулса у првом систему референце, док у другом систему референце поседује неки други импулс.

Концепт импулса увели су експериментатори као што су Галилео Галилеј, Исак Њутн, Рене Декарт, Готфрид Лајбниц и други.

Импулс система тела

Укупан импулс механичког система тела је векторски збир импулса свих појединачних тела у систему.



Укупан импулс физичког система који је састављен од више тела и импулси појединачних тела који се разликују по смеру - Слика 1.

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$$

$$\vec{p} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots$$

Полазимо од Њутновог закона динамике- сила је једнака промени импулса у јединици времена.

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F},$$

Када је систем у равнотежи онда је промена импулса у јединици времена једнака нули:

$$\vec{F} = 0$$

Следи: $\Delta \vec{p} = 0$ тј. $\vec{p} = const.$

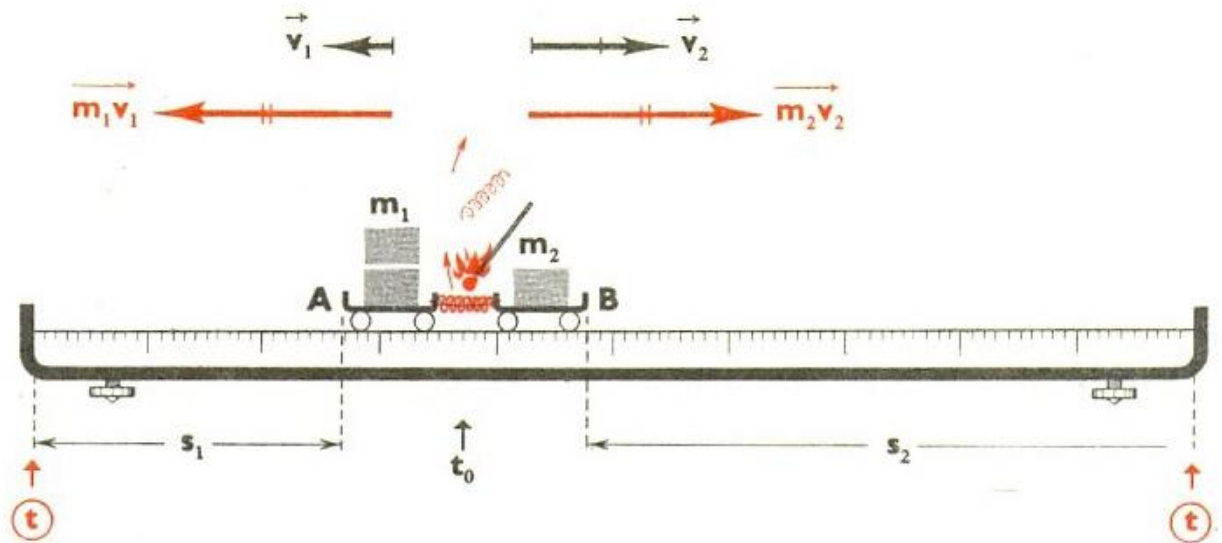
Ако је маса тела константа, онда силу можемо изразити као $\vec{F} = m * \vec{a}$.

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = m * \vec{a} = 0$$

Закон одржања импулса

У инерцијалном систему референце укупан импулс изолованог система се не мења у току времена.

Ово можемо да покажемо на примеру колица која су везана канапом, а између њих се налази еластична сабијена опруга.



Приказ апаратуре помоћу које се доказује да се укупан импулс изолованог система не мења у току времена - Слика 2.

Колица А имају масу m_1 , а колица Б имају масу m_2 . Када се канап пресече, еластична опруга ће покренути колица и саопштити им брзине \vec{v}_1 и \vec{v}_2 .

У изолованом систему колица - опруга, на почетку је укупан импулс система био једнак нули:

$$\vec{p} = m * \vec{v} = 0$$

То за собом повлачи да и после истезања опруге, збир импулса колица мора бити једнак нули. Ово мора бити испуњено да би важио закон одржања импулса.

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = 0$$

Ово ће важити ако импулси колица имају једнаке интензитете и правац, а супротне смерове.

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

Колнца за исто време прелазе путеве:

$$s_1 = v_1 * t \quad \text{и} \quad s_2 = v_2 * t$$

Одавде добијамо да је однос пређених путева обрнуто сразмеран њиховим масама.

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{s_2}{s_1}$$

Ако се апаратура на самом почетку експеримента постави на овај начин тако да колица у исто време ударе у граничнике, важиће закон одржања импулса.

Закон одржања импулса – Узмак

Узмак представља појаву која је последица унутрашњих сила изолованог система.

Анализираћемо појаву узмака на узмаку оружја:

Када се испаљује пројектил, оружје великом брзином креће у назад. О овоме воде рачуна ловци, војници и стрелци јер кундак пушке морају поставити уз раме и тиме се повећава маса система, а брзина узмака ситема кундак-тело смањује. Артиљерци воде рачуна да им топ буде добро причвршћен како не би кренуо у назад.

Узмак се може објаснити законом одржања импулса.

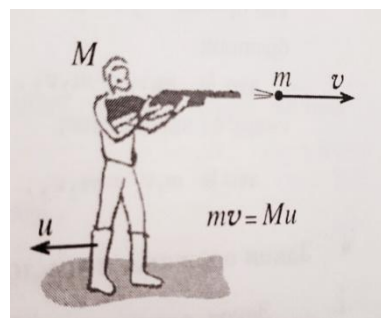
Пре него што се повуче окидач импулс система „оружје-пројектил“ једнак је нули. Унутрашње силе које се јављају када се активира оружје су изузетно јаке и оне су јаче од спољашњих (трење, отпор средине). Овај систем ће бити изолован у кратком временском интервалу док траје пуцањ. Онда је импулс и непосредно након излетања пројектила једнак нули.

Узећемо пример када ловац стоји на залеђеном језеру, испали метак из пушке и он почиње да клизи у супротном смеру - Слика 3. Ако испали неколико метака за редом могао би да стигне и до обале.

Уколико не би било трења, после првог хитца би отклизио до обале.

Ако пројектил излети из цеви оружја са импулсом \vec{p} , онда оружје мора имати импулс $-\vec{p}$.

Оружје се креће у супротном смеру од смера излетања пројектила.



Приказ испаљивања хитца - Слика 3.

Закон одржања импулса у одређеном правцу

Закон одржања импулса важи и у векторском облику, а то значи да важи и за компоненте импулса у било ком правцу.

Посматрамо изолован систем од n тела у Декартовом координатном систему и важи:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \text{const.}$$

Ову једначина се може заменити са три скаларне једначине које се односе на пројекције вектора импулса дуж координатних оса:

$$\vec{p}_{1x} + \vec{p}_{2x} + \dots + \vec{p}_{nx} = \text{const.}$$

$$\vec{p}_{1y} + \vec{p}_{2y} + \dots + \vec{p}_{ny} = \text{const.}$$

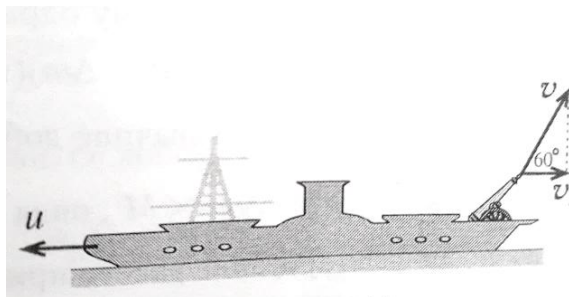
$$\vec{p}_{1z} + \vec{p}_{2z} + \dots + \vec{p}_{nz} = \text{const.}$$

У неким сумама одређене пројекције импулса се узимају са позитивним предзнаком уколико су у смеру осе, а неке са негативним предзнаком уколико су у супротном смеру од координатне осе.

Овде имамо да збир спољашњих сила у једном правцу може бити једнак нули, док у другом правцу није једнак нули. То значи да ће се одржавати компонента импулса у оном правцу дуж којег не делује спољашња сила.

Посматрамо брод који мирује на мору, цев топа нагнута је под углом од 60° према хоризонту и из ње се испалује граната.

Посматрамо систем „брод-топ-граната“ и према „Слици 4.“, закон одржања импулса важи само у хоризонталном правцу.



Систем брод – топ – граната - Слика 4.

Овде је присутна спољашња сила отпора, али је она занемарљива у односу на силе које се јављају приликом интеракције граната и топ за време испаливања хитца.

У вертикалном правцу делује сила потиска воде на брод и она не дозвољава вертикални узмак брода. Пошто је сила потиска спољашња сила и због њеног деловања, импулс система се неће одржати у вертикалном правцу.

Пре него што се граната испали, импулс система „брод-топ-граната“ је једнак нули. Граната има хоризонтални импулс непосредно пре него што излети из цеви топа:

$$\vec{p}_{1h} = m * v_h$$

$$v_h = v \cos(60^\circ) = \frac{v}{2}$$

Брод има импулс $p_2 = M * u$, али у супротном смеру.

Укупан импулс система у хоризонталном правцу је онда:

$$p = p_{1h} - p_2 = m * \frac{v}{2} - M * u = 0$$

Овај импулс једнак је нули, као и пре испаливања гранате:

$$m * \frac{v}{2} = M * u$$

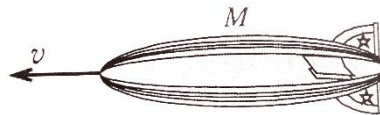
Реактивно кретање и закон одржања импулса

Код реактивног кретања не постоји утицај подлоге и околне средине приликом кретања тела.

На овај начин се крећу ракете, реактивни авиони, глисери, па и неке морске животиње, као што су сипа и медуза. Ракете имају могућност да се крећу великим брзинама чак и у безваздушном простору. Њихово кретање је могуће ако се избацује неки гас или течност у једном смеру, док тело самим тим добија на брзини у супротном смеру. Овакво кретање је у сагласности са законом одржања импулса.

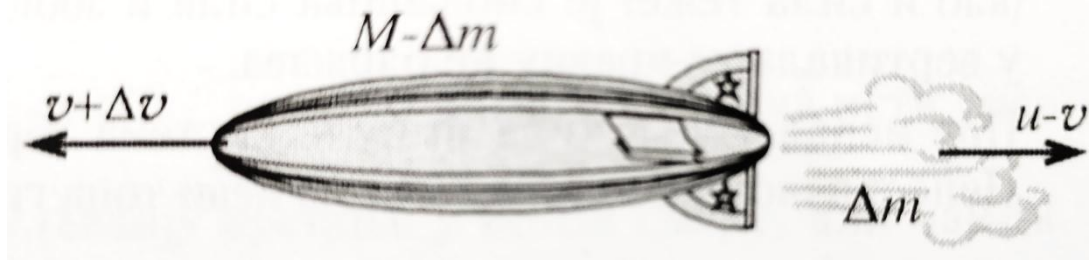
Анализираћемо кретање ракете:

Ракета има масу M заједно са горивом које се налази у њој и има брзину v – Слика 5.



Ракета са горивом - Слика 5.

Претпостављамо да она у назад избацује усијане гасове масе Δm брзином u у односу на ракету. У односу на земљу је то брзином $u - v$.



Ракета која испушта усијане гасове - Слика 6.

Тада се брзина ракете повећава за Δv – Слика 6.

Из овакве поставке можемо да дефинишемо закон одржања импулса.

$$M * v = (M - \Delta m)(v + \Delta v) - \Delta m(u - v)$$

Када средимо ову једначину добијамо:

$$(M - \Delta m)\Delta v = \Delta m * u$$

Ако је $\Delta m \ll M$, онда је $M - \Delta m \approx M$, одатле је:

$$M\Delta v = \Delta m * u$$

Прираштај брзине ракете Δv , при избацавању једне порције гаса је:

$$\Delta v = \frac{\Delta m}{M} * u$$

Битно је напоменути да је овакав прорачун приближно добар јер се код реактивног кретања мора узети у обзир да се гасови избацују континуирано чиме се смањује маса ракете, а брзина ће се све више повећавати, уколико брже избацује продукте сагоревања горива.

2.2 Закон одржања енергије

Конзервативне силе и потенцијална енергија

Енергија коју тело поседује приликом кретања назива се кинетичка енергија.

Енергија која је условљена узајамним положајем тела или честица назива се потенцијална енергија. Потенцијална енергија онда зависи од узајамног положаја честица унутар посматраног система.

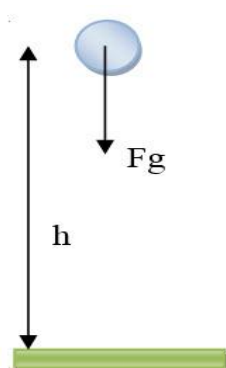
У зависности од врсте узајамног деловања имамо:

- Гравитациону потенцијалну енергију
- Потенцијалну енергију силе еластичности
- Електростатичку потенцијалну енергију

Посматрамо пример за:

- рад силе теже:

Овде имамо падање тела дуж вертикалног правца у близини Земљине површине – Слика 7. На тело које се налази на висини h делује гравитациона сила и тело врши рад:



$$A = F_g * h$$

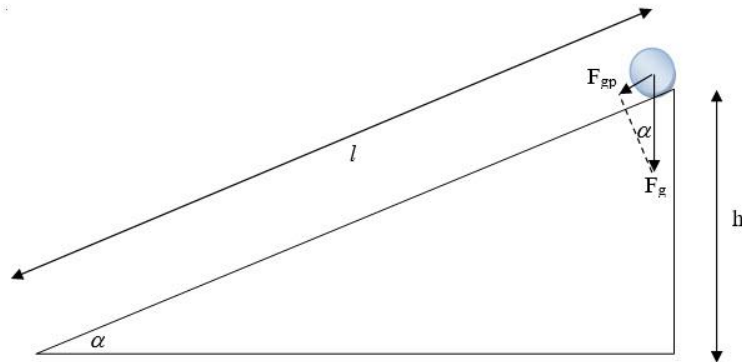
$$F_g = m * g$$

$$A = m * g * h$$

Приказ слободног пада - Слика 7.

Закључујемо да је потенцијална енергија тела на некој висини над Земљом једнака раду које тело изврши при слободном падању.

- Кретање тела низ стрму раван:



Кретање тела низ стрму раван - Слика 8.

Из сличности троуглова добијамо:

$$A = F_{gp} * l$$

$$\frac{F_{gp}}{F_g} = \frac{h}{l} \text{ следи да је } F_{gp} * l = F_g * h$$

$$A = F_g * h$$

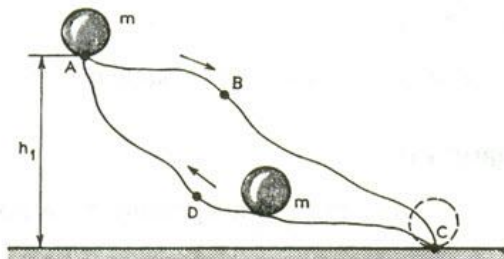
$$A = m * g * h$$

Одавде видимо да без обзира да ли тело прелази висинску разлику h по вертикалној линији или по косој линији l , рад силе теже ће бити исти.

Самим тим закључујемо да рад силе теже не зависи од путање којом се тело креће, него само од висинске разлике између почетног и крајњег положаја тела.

Онда можемо да кажемо да сила чији рад зависи само од почетног и крајњег положаја тела, зове се **конзервативна сила**.

Рад конзервативне силе не зависи од облика путање нити од дужине путање којом се тело креће – Слика 9.

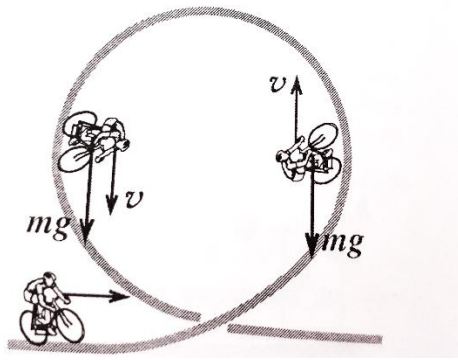


При кретању тела по затвореној путањи, ако се почетни и крајњи положај поклапају, онда је рад конзервативне силе једнак нули.

Кретање тела по затвореној путањи - Слика 9.

На једном делу затворене путање сила теже врши позитиван рад, а на другом делу путање сила теже врши негативан рад.

Ово најбоље можемо видети на примеру када акробата у циркусу описује „мртву петљу“ - Слика 10.



При кретању од најниже до највише тачке врши се рад против Земљине теже, а када се спушта сила теже врши рад на њему.

Мртва петља - Слика 10.

У конзервативне силе спадају: сила теже, сила еластичности, сила електричног поља...

Када рад зависи од облика путање и тело прелази из једног положаја у други, силе које врше такав рад зову се неконзервативне силе.

У неконзервативне силе спадају: сила отпора средине, сила трења...

Закон одржања механичке енергије

Механичку енергију система можемо анализирати кроз два случаја:

- Механичка енергија изолованог система у којем делују конзервативне силе
- Механичка енергија неизолованог система

1. Механичка енергија изолованог система у којем делују конзервативне силе

Тела унутар изолованог система међусобно интерагују и крећу се, то значи да поседују и потенцијалну и кинетичку енергију.

Механичка енергија система се добија као збир кинетичких и потенцијалних енергија свих тела које чине систем.

$$E = E_k + E_p$$

Енергије појединачних тела у систему се могу мењати, али ће збир кинетичких и потенцијалних енергија свих тела у сваком тренутку бити исти. Ако су све унутрашње силе конзервативне механичка енергија изолованог система ће бити константа односно одржаваће се.

$$E = \text{const.}$$

Ово представља закон одржања механичке енергије.

Пошто је збир кинетичке и потенцијалне енергије у изолованом систему константан, то значи да се енергија не може ни створити ни уништити, већ само прелази из једног облика у други.

2. Механичка енергија неизолованог система

Код неизолованог система све унутрашње силе нису конзервативне. Имамо прелаз произвољног система тела из положаја (1) у (2) положај. При том прелазу дефинишемо:

- A_s - укупан рад свих спољашњих сила
- A_k - укупан рад свих унутрашњих конзервативних сила
- A_d - укупан рад свих унутрашњих неконзервативних сила односно дисипативних сила

Укупан рад свих сила на телима у систему рачунамо преко формуле:

$$A = A_s + A_k + A_d$$

Нека је E_{k1} укупна кинетичка енергија свих тела у систему у положају (1), а E_{k2} укупна кинетичка енергија свих тела у систему у положају (2), и ако применимо теорему о вези рада и кинетичке енергије онда се добија израз:

$$A = E_{k2} - E_{k1}$$

Односно, ово можемо још записати и као:

$$A_s + A_k + A_d = E_{k2} - E_{k1}$$

Одавде је: $A_s + A_d = E_{k2} - E_{k1} - A_k$

Пошто је $A_k = E_{p1} - E_{p2}$, на крају добијамо:

$$A_s + A_d = E_{k2} - E_{k1} - E_{p1} + E_{p2}$$

$$A_s + A_d = (E_{k2} + E_{p2}) - (E_{k1} + E_{p1})$$

$$A_s + A_d = E_2 - E_1$$

Из ове једначине можемо да закључимо да је збир радова свих спољашњих сила и свих унутрашњих неконзервативних сила у систему једнак промени механичке енергије.

Ако је укупан рад спољашњих и неконзервативних сила позитиван, механичка енергија система се повећава. Ако је укупан рад спољашњих и неконзервативних сила негативан, механичка енергија система се смањује, односно систем троши енергију да би савладао силе које се супротстављају кретању.

На основу до сада реченог можемо дефинисати и закон одржања енергије у општем случају.

Закон одржања енергије у општем случају- енергија може прелазити из једног облика у други и преносити се са једног тела на друго, али укупна енергија се неће мењати.

Ово је један од фундаменталних закона природе и веома је битан не само у физици него и у другим наукама и областима живота.

3 Судари

Судари у физици представљају краткотрајна деловања између тела или честица. Приликом судара, међусобне интеракције тела су толико јаке да се све спољашње силе могу занемарити и такав систем можемо сматрати изолованим.

При судару не мора да дође до непосредног додира између тела, већ се интеракција може остварити деловањем физичког поља.

Судар два тела је сложен процес и због тога приликом анализе судара узимамо да се масе тела не мењају пре и после судара као и да су нам познате брзине пре судара. Брзине тела након судара можемо одредити примењујући закон одржања импулса. Пошто се импулс увек одржава то значи да ће сума импулса честица пре судара бити једнака суми импулса после судара.

$$m_1 \vec{v}_{i1} + m_2 \vec{v}_{i2} = m_1 \vec{v}_{f1} + m_2 \vec{v}_{f2}$$

У индексу код брзине, i – представља иницијално стање, а f - финално стање.

Судари могу бити различити у зависности од ситуације и начина како до њих долази и шта се дешава са телима након судара. Важно је напоменути и да се закони одржања импулса могу применити за сваку анализу судара, док нам закон одржања енергије омогућава да разликујемо две врсте судара, а то су еластични и нееластични судар.

3.1 Еластични судари

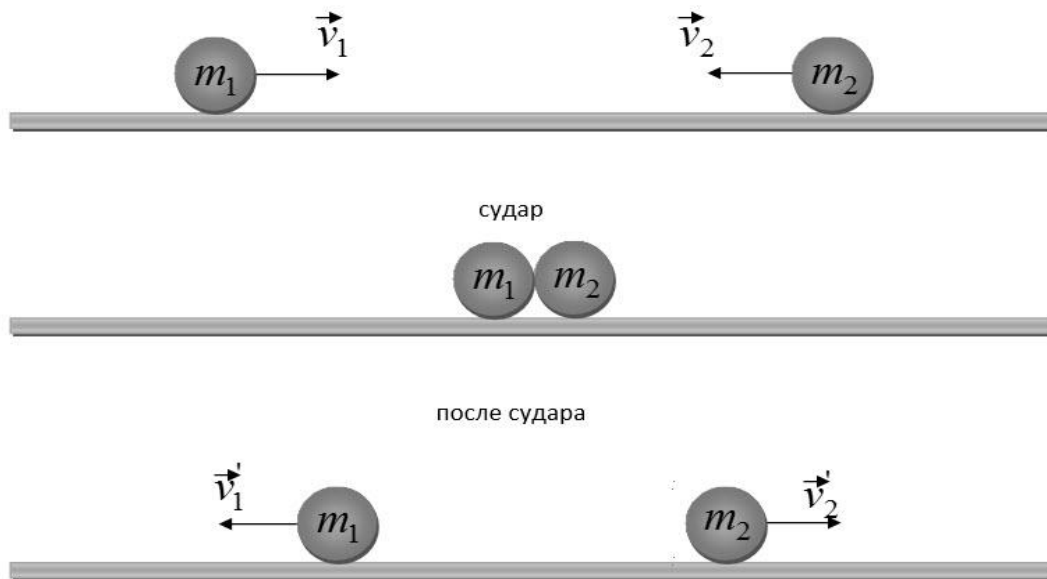
Код еластичних судара се тела за кратко време спајају и након судара се раздвајају и настављају кретање без унутрашњих промена. Под унутрашњим променама сматрамо деформације тела и загревање тела. Код овакве врсте судара механичка енергија система се одржава. При еластичном судару укупна кинетичка енергија се не мења, већ она може да пређе са једног тела на друго, али њена укупна вредност пре и после судара остаје иста.

Овакав судар се лако анализира на примеру Њутновог клатна које ћемо детаљно објаснити.

3.2 Централни еластични судар

Посматраћемо судар две кугле, и њихови центри се крећу дуж једне праве. Овакав судар се назива **централни судар**.

Ово најбоље можемо анализирати на случају судара између две кугле маса m_1 и m_2 .



Централни судар кугли маса m_1 и m_2 - Слика 11.

Приликом судара доћи ће до еластичне деформације, и тада део укупне енергије прелази у потенцијалну енергију еластичне деформације. После судара и када се тела одбију целокупна потенцијална енергија еластичне деформације прелази у кинетичку енергију. То значи да током судара није дошло до губитка механичке енергије.

Ако су масе куглица једнаке, $m_1 = m_2$, куглица (2) је мировала пре судара. После судара куглица (1) се зауставља и предаје своју енергију куглици (2). Куглица (2) одлази истом брзином коју је имала куглица (1) када је ударила у њу.

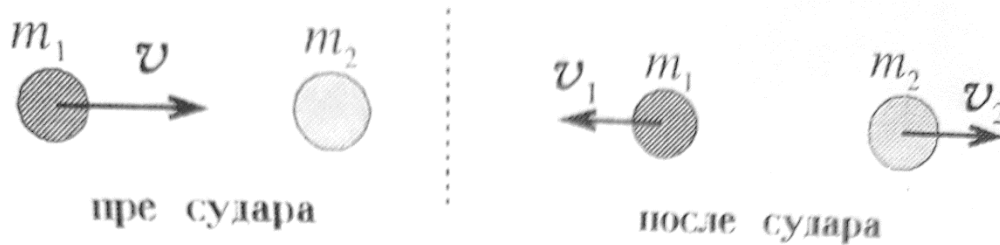
$$\text{Закон одржања импулса: } m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

$$\text{Закон одржања енергије: } \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}$$

Анализираћемо и шта се дешава са телима уколико се масе разликују.

Судар тела мање масе са телом веће масе

Ако је $m_1 < m_2$, онда је $\vartheta_1 < 0$ односно када се тело мање масе судари са телом које има већу масу, тело мање масе ће променити смер кретања и одбија се уназад - Слика 12.

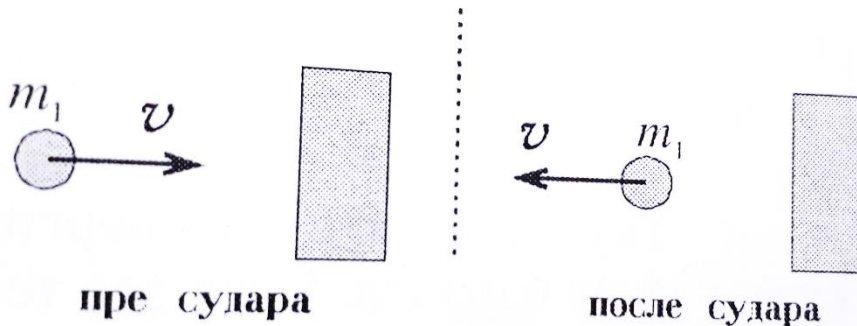


Судар тела различитих маса - Слика 12.

Судар тела мале масе са телом велике масе

Ако је $m_1 \ll m_2$ онда имамо три услова: $m_1 + m_2 \approx m_2$
 $m_2 - m_1 \approx m_2$
 $\frac{m_1}{m_2} = 0$

Из ових услова важи: $\vartheta_1 = -\vartheta$ и $\vartheta_2 = 0$



Судар тела мале масе са телом велике масе - Слика 13.

Када се лако тело судара са телом велике масе које мирује, мењаће се само смер кретања лаког тела - Слика 13.

При сваком судару један део механичке енергије претвара у неки други облик енергије. Судар ће бити еластичан онда када је промена механичке енергије система занемарљива у поређењу са укупном механичком енергијом система тела.

Судар код ког је промена механичке енергије баш једнака нули и где кинетичка енергија система остаје непромењена зове се **апсолутно еластичан судар**.

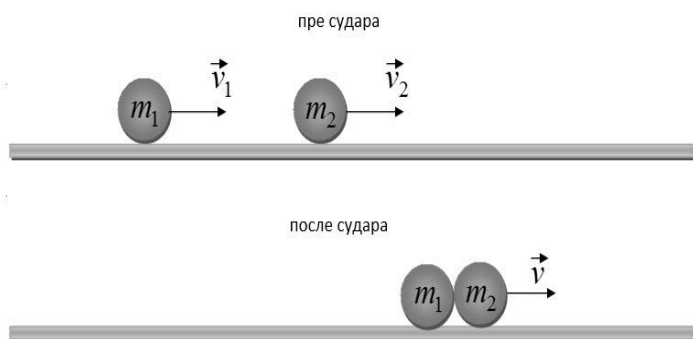
3.3 Нееластични судари

Нееластични судар имамо када долази до унутрашњих промена и тада се мења механичка енергија система. Овде се укупна кинетичка енергија мења при судару. То значи да део кинетичке енергије прелази у неки други облик енергије, али се очувава укупна енергија док се укупна кинетичка енергија мења.

Код нееластичних судара деформације на телима су трајне. Деформације су настале приликом промене кинетичке енергије тела, односно кинетичка енергија се претворила у неки други вид енергије.

Важно је напоменути да код оваквих судара не важи закон одржања кинетичке енергије, јер збир кинетичких енергија пре судара неће бити једнак збиру кинетичких енергија после судара.

Апсолутно нееластичан судар – овде се тела споје и настављају даље кретање као једна целина - Слика 14. Укупна кинетичка енергија система тела се не одржава, јер се један део те енергије ослобађа као топлота. Апсолутно нееластичан судар ћемо детаљније обрадити на примеру балистичког клатна.



Закон одржања импулса:

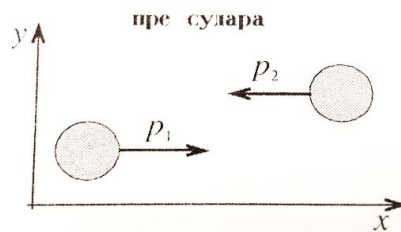
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v$$

Апсолутно нееластичан судар - Слика 14.

3.4 Нецентрални судар при кретању тела у равни

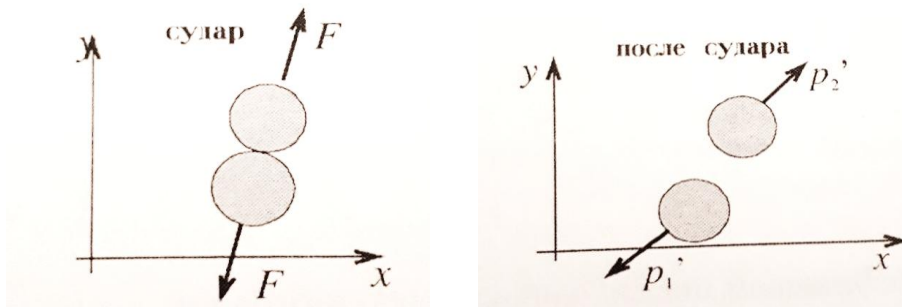
Када долази до судара може доћи до промене правца кретања тела.

Посматрамо две билијарске кугле које се крећу дуж паралелних праваца пре судара - Слика 15.



Кретање тела пре судара - Слика 15.

Приликом судара долази до деловања унутрашњих сила, а затим и до промене правца кретања билијарских кугли - Слика 16.



Тренутак судара (лево) и кретање тела после судара (десно) - Слика 16.

Пошто сила F има компоненту у правцу нормалном на првобитан правац кретања кугли, то значи да ће кугле након судара имати компоненте импулса у том правцу.

Код оваквих судара закон одржања импулса се примењује у векторском облику:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

Односно могу се применити и две скаларне једначине за компоненте импулса у правцу x - осе и y - осе:

$$\text{По } x \text{ - осе: } p_{1x} + p_{2x} = p'_{1x} + p'_{2x}$$

$$\text{По } y \text{ - осе: } p_{1y} + p_{2y} = p'_{1y} + p'_{2y}$$

4 Њутново клатно

Њутново клатно представља уређај који се састоји од низа челичних куглица и служи за демонстрацију закона одржања импулса и енергије. Данас је то веома популарна играчка коју многи људи држе на својим столовима као украс а не знају њен значај и примену у физици.

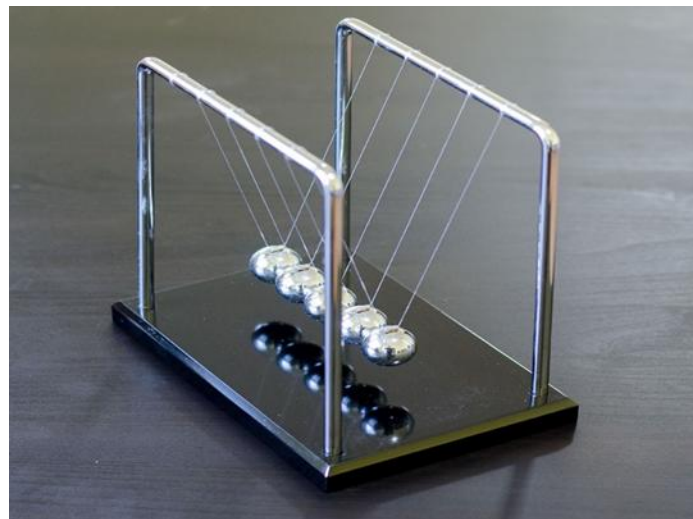
4.1 Историјски развој

Њутново клатно, или како га још називају Њутнова колевка, има дугу историју. Први експеримент везан за Њутново клатно извео је Едме Мариот 1670. године. Едме Мариот, Врен, Валис и Кристијан Хајгенс у својим експериментима долазили су до закључка да се при судару две кугле очувава количина кретања. Мариотови експерименти судара приказани су у Француској академији наука 1671. године, а рад Кристијана Хајгенса „О кретању тела“ штампан је постхумно 1703. године. Он је у тој књизи описао Први Њутнов закон, разматрао је сударе избачених тела, анализирао је и судар два тела исте величине, где при судару једно тело предаје енергију другом телу. Углавном се мисли да је Исак Њутн изумео овај експеримент, што није тачно. Њутну је нехотице приписана модерна верзија ове играчке коју је изумео Симон Пребл, енглески глумац, 1967. године и те исте године почео са њеном производњом. На почетку ову дрвену играчку је продавао лондонски Хердос, а касније је направљена модернизована верзија од хрома коју је реализовао Ричард Лонкреин, вајар и филмски режисер.

4.2 Примена Њутновог клатна у настави физике

Њутново клатно нам омогућава да на занимљив и једноставан начин објаснимо еластичне сударе и самим тим приближимо деци како функционишу закони одржања енергије и импулса.

Све куглице су обешене за по две неистегљиве нити које су постављене под истим углом и једнаких су дужина, тако да је њихово кретање могуће само у једној равни. Куглице треба да буду сферног облика, исте величине, масе и да се једва додирују.

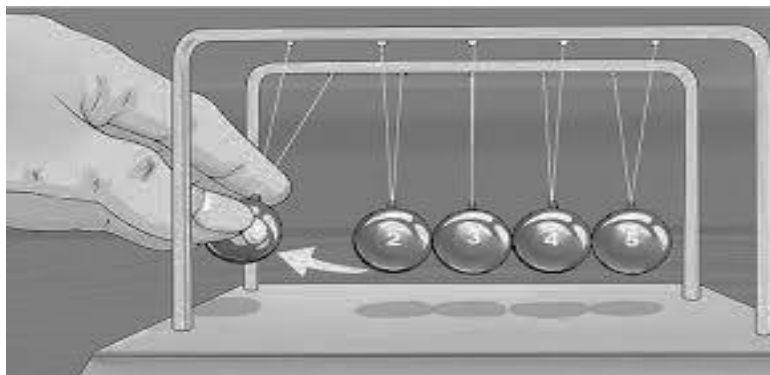


Њутново клатно - Слика 17.

Помоћу Њутновог клатна увиђамо како се потенцијална енергија трансформише у кинетичу енергију и обрнуто. Можемо да покажемо и пренос импулса са једне куглице на другу и докажемо да су судари између куглица еластични.

4.3 Демонстрација експеримента

Нас занима шта ће се дешавати уколико би повукли прву куглицу и пустимо је према другим куглицама. Сматрамо да су судари између куглица еластични, занемарујемо отпор ваздуха и трење.



Избацивање куглице из равнотежног положаја - Слика 18.

Куглица (1) се пушта се висине h и непосредно пре судара са другом куглицом поседује брзину v . Прво ће се куглица (1) сударити са куглицом (2) и пошто је прва куглица пуштена са одређене висине важиће закон одржања енергије:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}$$

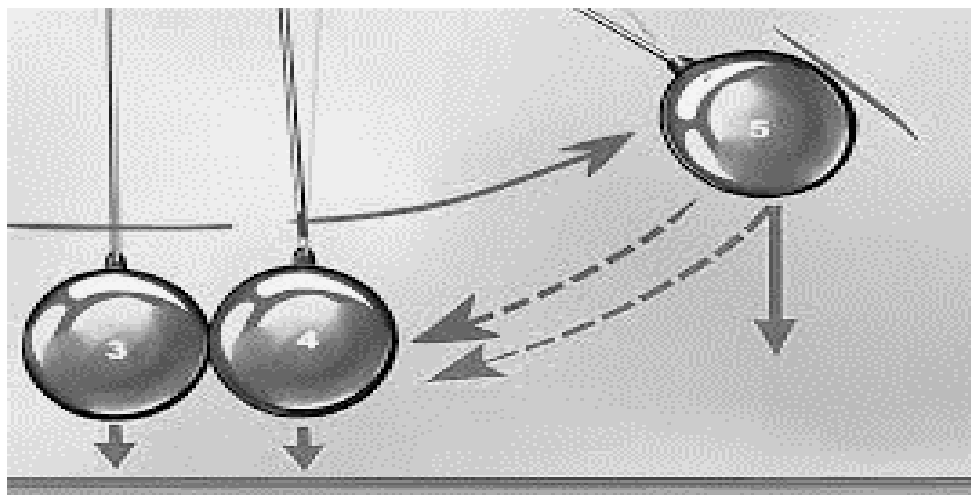
Одавде можемо да израчунамо брзину куглице и добијамо да је v :

$$v = \sqrt{2gh}$$

Пошто знамо да су куглице истих маса и да је судар централни, онда ће се куглица (1) након судара зауставити, а куглица (2) ће преузети сву њену брзину. Даље настављају да се сударају куглице (2) и (3), где се након судара куглица (2) зауставља, а куглица (3) преузима њену брзину.

Поступак ће се понављати и за остале куглице, али када куглица (5) преузме брзину од куглице (4) након судара она се пење до исте висине као и

прва куглица и опет имамо прелаз потенцијалне енергије у кинетичку енергију.



Претварање потенцијалне енергије у кинетичку енергију и пренос импулса са једне на другу куглицу - Слика 19.

Запажамо да када једна куглица удара остале куглице, примећује се кретање само код последње куглице. Ако би извели две куглице из равнотежног положаја, на крају ћемо имати кретање последње две куглице.

Ово значи да свака куглица одмах прими и преда свој импулс и енергију следећој куглици, а ми не видимо сваки појединачан судар између куглица јер куглице изгледају као да мирују сво време.

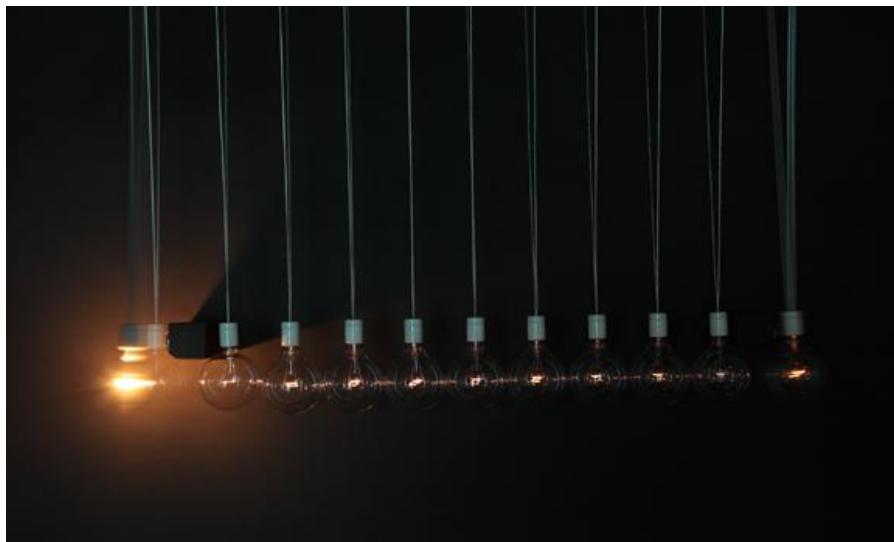
Примери, као што су да две куглице изведене из равнотежног положаја избију једну куглицу или прва куглица да избије две куглице, а да се крећу мањом брзином, су немогући јер би важили само закони одржања импулса, али не и закони одржања енергије.

4.4 Занимљивости

Највеће Њутново клатно покушали су да направе у телевизијској емисији „ Разбијачи митова“ помоћу кугли за рушење. Током емисије направили су справу која је састављена од пет кугли тежине 907 kg и ребра конструкције су пунили бетоном и челиком. Ефикасност овог клатна је била далеко од очекиване, али је то највеће клатно икад направљено.

До 2010. године највеће Њутново клатно стајало је у Милвокију у једној продавници и било је причвршћено за плафон помоћу јаких магнета али због проблема са одржавањем систем су раставили у августу 2010. године.

Јапански студент са Масашино универзитета уметности, Јасутоки Карија, створио је уметничку инсталацију „ Асоби “ која представља верзију Њутновог клатна сачињену од сијалица, а у физици је позната под називом „Executive ball clicker“. Овај експеримент је направљен од једанаест, компјутером програмираних, сијалица које су коришћене да би визуализовале кинетичку енергију.

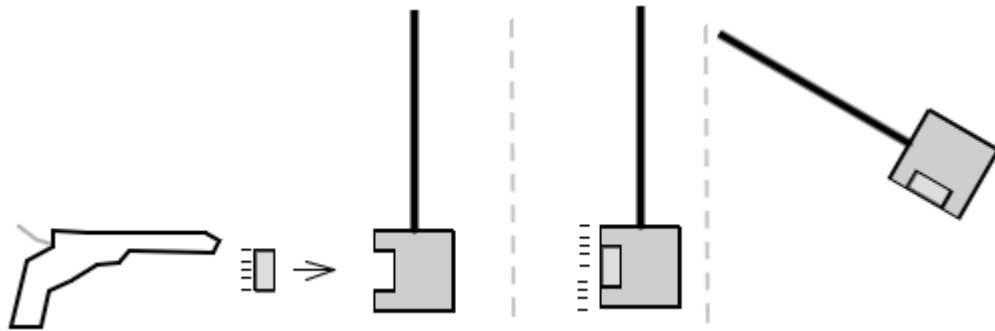


Асоби експеримент (Едисоново клатно) - Слика 20.

Пошто су за овај експеримент коришћене сијалице, ово клатно се зове још и Едисоново Клатно.

5 Балистичко клатно

Балистичко клатно представља уређај помоћу којег се може одредити почетна брзина пројектила или брзина трзања оружја. Оно је дизајнирано тако да се њиме могу показати закони одржања импулса, апсолутно нееластични судари и могу се демонстрирати кретања пројектила.



Балистичко клатно - Слика 21.

5.1 Историјски развој

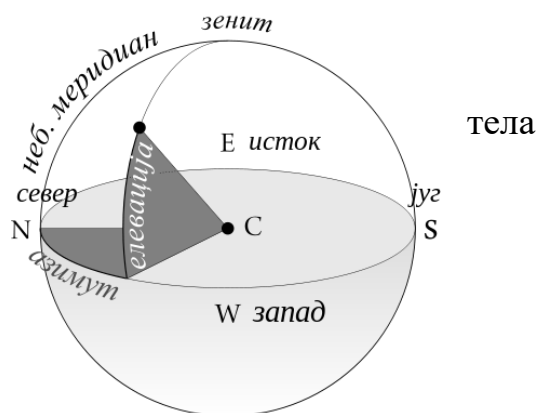
Леонардо да Винчи се први бавио проблемима балистике. Он је покушао да нађе везу између дужине цеви, пречника цеви, положаја за припалу барута у односу на лет пројектила. Тада се мислило да се пројектил креће хоризонтално а да по губитку енергије пада вертикално на земљу.

1583. године Николо Тартаља закључује да слободан лет пројектила није праволинијски ни у једном тренутку и постулира да је домет највећи уз елевацију од 45° .

Елевација (ε) - је угао са којим се у вертикалној равни одређује правац по висини посматраног предмета у односу на хоризонталну раван.

Елевација у комбинацији са азимутом се користи за одређивање положаја објекта по правцу у сферном координатном систему.

Вертикални правац са његовим најкраћим растојањем у комбинацији са азимутом, у потпуности одређује положај у простору.



Елевација - Слика 22.

У балистици елевација представља угао између хоризонталне равни и правца осе цеви артиљеријског оружја.

Ова физичка величина се користи још од зачетка примене балистике, користи се у астрономији и у навигацији летелица и сателита.

Даљим истраживањима Галилео 1638. године долази до сазнања да је путања лета парабола, а затим Исак Њутн 1684. године уводи у разматрања и отпор ваздуха. Сматрао је да се отпор ваздуха повећава са квадратом брзине тела.

У XVIII веку Француз Белидор експериментално налази да је најбољи однос тежине барута и пројектила 1:3, док је Енглеz Бенџамин Робинсон конструисао балистичко клатно.

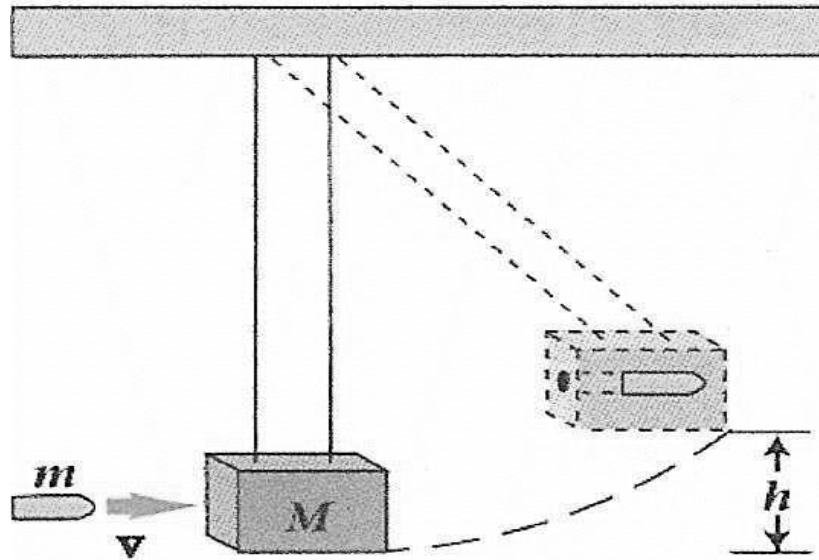
Леонард Ојлер је математичким методом решио систем једначина кретања пројектила који се и данас користи за брзине метка испод $240 \frac{m}{s}$, а увео је и систем поступног решења система једначина по сукцесивним луковима који се и данас користи.

Касније у XIX веку многи научни су допринели развоју метода и мерења, док у XX веку долази до даљих теоријских разматрања проблема балистике и развоја справа за мерење и регистрацију.

5.2 Примена балистичког клатна у настави физике

У настави физике апсолутно нееластичан судар се може показати помоћу балистичког клатна.

Балистичко клатно представљамо помоћу оловне кугле или неког другог предмета који ће бити обешен о лаку неистегљиву нит и користимо га да би израчунали брзину метка.



Балистичко клатно - Слика 23.

Са слике видимо да метак масе m улеће брзином v у тело масе M (мету) и остаје у њему.

Пошто је реч о апсолутно нееластичном судару то значи да ће се део енергије метка трансформисати у топлоту. За судар метка и тела масе M (мете) неће важити закон одржања механичке енергије.

Када метак улети у мету, он остаје у њој и мета ће онда имати брзину u . Из овога закључујемо да важи закон одржања импулса:

$$mv = (M + m)u$$

Маса метка је много мања од масе мете, па онда можемо да пишемо:

$$mv = Mu$$

Из ове релације можемо лако да одредимо брзину мете након судара:

$$u = \frac{mv}{M}$$

Даље пратимо слику, видимо да се мета креће по кружном луку и достиже неку максималну висину h .

За овакво кретање примењујемо закон одржања механичке енергије:

$$E_k = E_p$$

$$\frac{Mu^2}{2} = Mgh$$

Одавде је u :
$$u = \sqrt{2gh}$$

Ако овај израз вратимо у једначину где је $u = \frac{m\vartheta}{M}$ добићемо брзину метка:

$$\vartheta = \frac{M}{m} \sqrt{2gh}$$

5.3 Демонстрација експеримента

За демонстрацију експеримента нам је потребно:

- Пиштољ који ради на принципу лука и стреле
- Мета у облику круга на коју се може причврстити стрела
- Стиропор на који постаљамо пиштољ да би га фиксирали
- Рам за који је обешена мета помоћу неистегљиве нити
- Постоље на које ћемо причврстити рам и пиштољ

Поставка експеримента:



Поставка експеримента - Слика 24.

Извођење експеримента:

Поставимо већ репетирани пиштољ на постоље од стиропора, тако да пиштољ буде постављен у равни мете и на малом растојању од ње. Постављамо га на мање растојање да би смо добили апсолутно нееластичан судар, односно да имамо кретање пројектила заједно са метом. Мета је обешена за неистегљиву нит, која је причвршћена за рам. Мета мора бити већа од пројектила и мора имати већу масу да би смо добили отклон мете на одређену висину. Треба водити рачуна да пројектил и мета требају заједно да се крећу да би смо имали апсолутно нееластичан судар.

Објашњење:

Пре него што испалимо пројектил из пиштоља он има масу m , а његова брзина је $v = 0$. Када пројектил излети из пиштоља његова кинетичка енергија ће се претворити у неки други вид енергије, углавном је то топлотна енергија или звучна енергија. Звучна енергија и топлотна енергија су последица вибрације атома на месту судара.

Не можемо да изједначимо кинетичку енергију након удара пројектила у мету са кинетичком енергијом пројектила пре судара, јер је судар нееластичан и механичка енергија се неочувава у том процесу. Када пројектил удари у мету масе M , мета наставља да се креће брзином u заједно са пројектилом. Из овога можемо да дефинишемо закон одржања импулса:

$$m\vartheta = (M + t)u$$

Пошто је импулс величина која је сачувана у свим типовима судара, онда ће импулс пројектила пре судара бити једнак импулсу система пројектил-мета након судара. Уколико знамо импулс пројектила и његову масу можемо лако да одредимо почетну брзину пројектила.

Посматрамо даље кретање мете и видимо да се кинетичка енергија трансформише у потенцијалну, јер се мета отклања за одређени угао који се може мерити. То значи да у овим положајима важи закон одржања енергије, па можемо да запишемо да је:

$$E_k = E_p$$

Односно:
$$\frac{Mu^2}{2} = Mgh$$

Из података о висини клатна можемо одредити његову потенцијалну енергију.

Закључак:

Из овог експеримента могу се одредити брзина метка, брзина мете, губитци кинетичке и потенцијалне енергије уколико је позната висина до које мета стиже и брзина метка. Осим одређивања ових величина овим експериментом се доказује важење закона одржања импулса и демонстрира апсолутно нееластичан судар.

5.4 Занимљивости

Реч балистика потиче из старе Грчке. У старом веку справе које су се користиле за бацање камена звале су се балисте. Балистика представља науку о кретању бачених тела. Тек у XVII веку, кретање зрна у цеви и ван ње је названо балистика. 1745. године Леонард Ојлер је поделио балистику на две различите дисциплине, унутрашњу и спољашњу балистику.

Унутрашња балистика проучава законитости процеса и појава које се дешавају у цеви ватреног оружја при опаљењу.

Спољна балистика проучава кретање пројектила од уста цеви ватреног оружја до мете, крајње тачке лета или до расплинућа у ваздуху.

Криминалистичка балистика (форензичка балистика) се дефинише као област која проучава, проналази и усавршава најподеснија научно-техничка средства и методе код проналажења и обезбеђивања материјалних доказа, а у циљу расветљавања кривичних дела која су извршена ватреним оружјем.

Кривична дела која су извршена ватреним оружјем, да би се разјаснила са криминалистичког аспекта, захтевају да се изврши вештачење разних врста трагова који настају том приликом. Сва вештачења која се односе на ватрена оружја се називају балистичка вештачења.

Непходни инструменти за форензичко – балистичка вештачења су микроскопи, интерноскоп, уређај за хватање зрна и уређај за мерење брзине зрна.

Са развојем технике и технологије данас постоје различите методе за одређивање брзине метка, врсте оружја, као и разне физичке и хемијске методе помоћу којих је могуће одредити даљину са које је пуцано.

Бенџамин Робинс, војни инжењер и математичар, који је изумео балистичко клатно, направио је клатно да би балистика била применљива и у настави и за лакшу демонстрацију кретања пројектила и одређивања његових карактеристика након испалења.

6 Закључак

Овај рад писан је са циљем да се на један занимљив, подстицајан, изазован и деци ближи начин опишу и демонстрирају закони одржања енергије и импулса. Акцент у овом раду стављен је на демонстрацију и анализу ових закона помоћу судара. Еластични судар анализан је на примеру Њутновог клатна, док је апсолутно нееластичан судар приказан на примеру балистичког клатна.

Радећи са децом одлучила сам се за овај начин интерпретирања. Кроз комуникацију са ученицима дошла сам до закључка да дуже памте и лакше схватају одређене физичке појаве, процесе и величине уколико су оне представљене не само теоријски него и једноставним експериментом.

Ученици су више ангажовани, заинтересовани и развијају критичко мишљење. Настава се подиже на један виши ниво, а ми као наставници смо ту да их усмеравамо и наводимо ка решењу проблема који им је задат. Сматрам да савремена настава на многе начине може да допринесе развоју личности ученика, док наставник кроз савремену наставу усавршава своје знање и уноси новине у свој рад.

Са развојем технологије намеће се и коришћење рачунара у настави. Деца већ долазе са неким предзнањем у школу што се тиче информатике и рачунара, па би разни програми за видео анализу, анимације, видео снимци и интерактивни уџбеници само допринели још продуктивнијем и активнијем раду наставника и ученика.

Ученици поседују различите компетенције и немају сви једнак ниво знања, али применом овакве наставе чак и они који су мање заинтересовани или поседују мање компетенције се активно укључују у овакав вид наставе.

Иако школе углавном не поседују одговарајућу апаратуру за извођење експеримената, нити поседују лабораторије, желела сам да покажем да уз мало жеље и труда могу да се направе експерименти који су сврсисходни, приступачни, очигледни, видљиви и поуздани, а уједно ученици могу самостално да их направе.

Као што је Лав Николајевич Толстој рекао: „ Знање је тек онда знање кад је стечено напором властите мисли, а не памћењем.“

Литература

1. др Душанка Ж. Обадовић др Ивана Ранчић, *Једноставни експерименти у настави физике*, Нови Сад, 2012
2. др Душанка Ж. Обадовић, др И.Ранчић, *Једноставни експерименти за предмет савремене методе у настави физике, ауторизована скрипта*, Нови Сад, 2011/2012
3. Милан Распоповић, *Методика наставе физике*, Завод за уџбенике и наставна средства Београд, 1992
4. Томислав Петровић, *Дидактика физике – теорија наставе физике*, Физички факултет Универзитета у Београду, Београд, 1993
5. др Младен Вилотијевић, др Нада Вилотијевић, *Модели развијајуће наставе I*, Учитељски факултет Београд, 2016
6. Наташа Чалуковић, *Физика I*, Уџбеник за први разред гимназије, Круг, Београд, 2004
7. Славољуб Митић, Милијан Срејић, <https://fizis.rs>
8. Милка Веселиновић, *Решавање рачунских задатака при обради теме: „Закони одржања у механици“*, мастер рад, Природно – математички факултет Нови Сад, 2013
9. Nuno Alexandre De Sá Teixeira*, Armando Mónica Oliveira,& Ana Duarte Silva, *An information integration study on the intuitive physics of the Newton's cradle*, *Psicológica*, University of Coimbra, Portugal, 2014
10. <https://sr.m.wikipedia.org>, Балистика
11. Проф. др Радован В. Радовановић, *Увод у форензичку балистику*, Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду
12. Бруно Фрањић, Младен Милосављевић, *Форензичка балистика*, Сарајево, 2009

Биографија



Елеонора Новак, рођена је 21.07.1995. у Новом Саду. Као мала бавила се атлетиком и била члан репрезентације.

Завршила је Основну школу „Душан Радовић“ у Новом Саду, а по завршетку основне школе уписује Саобраћајну школу „Пинки“, смер Техничар за безбедност саобраћаја – оглед (саобраћајни вештак). Одлучује се да упише физику на Природно-математичком факултету, смер – професор физике. Учествовала је током студија на манифестацијама као што су Ноћ истраживача и Студенти за младе научнике.

Универзитет у Новом Саду

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Кључна документацијска информација

Редни број:

РБР

Идентификациони број:

ИБР

Тип документације:

Монографска документација

ТД

Тип записа:

Текстуални штампани материјал

ТЗ

Врста рада:

Дипломски рад

ВР

Аутор:

Елеонора Новак

АУ

Ментор:

Др Ивана Богдановић

МН

Наслов рада:

Њутново и балистичко клатно у настави физике

НР

Језик публикације:

српски (ћирилица)

ЈП

Језик извода:

српски/енглески

ЈИ

Земља публикавања:

Србија

ЗП

Уже географско подручје:

Војводина

УГП

Година:

2022

ГО

Издавач: Ауторски репринт

ИЗ

Место и адреса: Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 4, Нови Сад

МА

Физички опис рада: број поглавља: 6 / број страна: 43 / број литерарних цитата: 12 / број табела: 0 / број слика: 24 / број графика: 0 / број прилога: 0

ФО

Научна област: Физика

НО

Научна дисциплина: Методика наставе физике

НД

Предметна одредница/кључне речи: Њутново клатно, балистичко клатно, настава физике, демонстрациони експеримент, судари, закони одржања

ПО**УДК**

Чува се: Библиотека департмана за физику, ПМФ-а у Новом Саду

ЧУ

Важна напомена: нема

ВН

Извод: У раду је дат предлог примене Њутновог и балистичког клатна у настави физике, као и опис физичких величина, процеса и закона.

ИЗ

Датум прихватања теме од НН већа:

ДП

Датум одбране: 12.09.2022.

ДО

Чланови комисије:

КО

Председник: Др Маја стојановић

члан: Др Лазар Гавански

члан: Др Ивана Богдановић

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: Final paper

CC

Author: Eleonora Novak

AU

Mentor/comentor: Dr Ivana Bogdanović

MN

Title: Newton's cradle and ballistic pendulum in physics teaching

TI

Language of text: Serbian (Cyrillic)

LT

Language of abstract: English

LA

Country of publication: Serbia

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2022

PY

Publisher: Author's reprint

PU

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

PP

Physical description: 6/43/12/0/24/0/0
PD

Scientific field: Physics

SF

Scientific discipline: Methodology of teaching physics

SD

Subject/ Key words: Newton's cradle, ballistic pendulum, physics teaching, demonstration experiment, collisions, conservation laws

SKW**UC**

Holding data: Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note: none

N

Abstract: The paper presents a proposal for the application of Newton's cradle and ballistic pendulums in the teaching of physics, as well as a description of physical quantities, processes and laws.

AB

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on: 12.09.2022.

DE

Thesis defend board:

DB

President: Dr Maja Stojanović

Member: Dr Lazar Gavanski

Member: Dr Ivana Bogdanović