

Studiul proceselor de ciocnire

I. Scopul lucrării

- studiul ciocnirilor centrale de tip elastic și plastic;
- verificarea teoremei de conservare a impulsului într-o ciocnire plastică;
- verificarea teoremei de conservare a impulsului într-o ciocnire elatică.

II. Considerații teoretice

Ciocnirile sunt fenomene, în general, de scurtă durată, în decursul cărora două sau mai multe corpuri schimbă între ele impuls și energie. Acest schimb poate avea loc fie prin contact fizic, fie prin intermediul câmpului.

În cele ce urmează vom folosi modelul sferelor elastice: corpurile sunt asimilate cu niște sfere între care nu există interacțiune cât acestea nu sunt în contact.

Clasificarea ciocnirilor se poate face după mai multe criterii. Astfel putem avea:

1. în funcție de energia de reacție, $Q = E_{cf} - E_{ci}$, avem ciocniri de speța I ($Q < 0$, adică $E_{cf} < E_{ci}$), de exemplu ciocnirea plastică, sau ciocniri de speța a II-a ($Q > 0$, ciocnire exoenergetică). Dacă $Q = 0$, atunci ciocnirea este perfect elastică (energia internă se conservă);
2. ciocniri binare (se ciocnesc doar două corpuri) sau multiple;
3. ciocniri centrale (dreptele suport ale impulsurilor coincid) sau oblice;
4. ciocniri directe sau inverse (explozia este inversul unei ciocniri perfect plastice).

Procesele de ciocnire sunt guvernate de cele două legi de conservare:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 \quad (1) \text{ (legea de conservare a impulsului)}$$

$$\frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2} + U = \frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2} + U' \quad (2) \text{ (legea de conservare a energiei totale), unde } \vec{p}_1 \text{ și } \vec{p}_2$$

sunt impulsul primului, respectiv, celui de-al doilea corp înainte de ciocnire, iar \vec{p}'_1 și \vec{p}'_2 sunt

impulsurile după ciocnire, $\frac{p_1^2}{2m_1} = \frac{m_1 v_1^2}{2}$ este energia cinetica a primului corp înainte de

ciocnire, $\frac{p_2^2}{2m_2} = \frac{m_2 v_2^2}{2}$ este energia cinetica a celui de-al doilea corp înainte de ciocnire, U

este energia internă a sistemului format din cele două corpuri înainte de ciocnire, $\frac{p_1'^2}{2m_1}, \frac{p_2'^2}{2m_2}$

și U' sunt, respectiv, energia cinetică a primului corp, energia cinetică a celui de-al doilea corp și energia internă a sistemului după ciocnire.

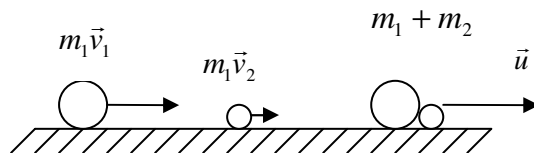
Impulsul total al sistemului înainte de ciocnire este $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$, impulsul după ciocnire este

$\vec{p}' = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$, energia cinetică a sistemului înainte de ciocnire este $E_{ci} = \frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2}$, iar

energia cinetică a sistemului după ciocnire este $E_{cf} = \frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2}$. Astfel, energia de reacție

Q se poate scrie: $Q = E_{cf} - E_{ci} = -(U' - U) = -\Delta U$

Ciocnirea perfect plastică centrală



Pentru ca ciocnirea să se producă, trebuie ca primul corp, de masă m_1 , să aibă viteza mai mare decât cea a corpului de masă m_2 .

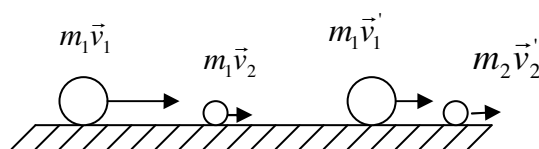
Legea conservării impulsului se verifică pe o axă orizontală dacă nu există frecare. Astfel, putem scrie:

$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$, de unde rezultă că $\vec{u} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$. Mișcarea fiind

unidimensională, scalar se poate scrie $u = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$, unde u este viteza sistemului format

din cele două corpuri după ciocnire.

Ciocnirea perfect elastică centrală



Ciocnirea este perfect elastică dacă energia cinetică a sistemului de corpuri se conservă la ciocnire. Considerăm cazul ciocnirii unidimensionale și scriem cele două legi de conservare (ale impulsului și energiei cinetice):

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}.$$

Rezolvând acest sistem de ecuații cu două necunoscute (vitezele după ciocnire, v_1' și v_2'), obținem:

$$v_1' = 2 \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_1 \text{ și } v_2' = 2 \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_2.$$

Discuție: dacă corpul 2 este în repaus, $v_2 = 0$, vitezele după ciocnire sunt

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \text{ și } v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1.$$

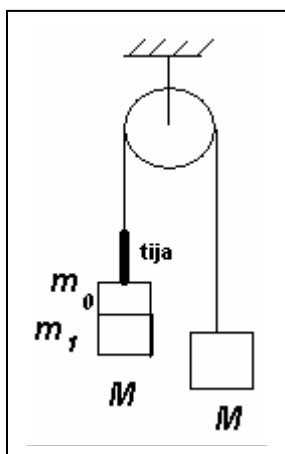


Fig. 1

Dispozitivul experimental 1 (cu scripete) este folosit pentru verificarea teoremei de conservare a impulsului în cazul ciocnirii plastice. Acest dispozitiv este compus din :

- un scripete ideal ;
- un fir subțire, inextensibil și fără masă ;
- un corp de masă M care se agață la unul din capetele firului;
- acest corp se sprijină pe un limitator de cursă inferior;
- la celalalt capăt de suspendă o tijă metalică pe care se agață două corpuri de mase m_0 și m_1 ; suma maselor m_0 și m_1 este egală cu M ;
- un sistem de cronometrare a timpului în care este parcursă o

anumită distanță, sistem format dintr-un cronometru ce poate fi acționat atât printr-un dispozitiv compus dintr-un pointer (laser) și o fotodiodă, cât și printr-un dispozitiv cu lamele (ce joacă rol de opritor superior).

Accelerația sistemului este $a = \frac{m_0 + m_1 - M}{m_0 + m_1 + M} g$. Dacă $m_0 + m_1 = M$, rezultă că $a = 0$, deci $v = \text{const.}$

Corpul m_0 se ridică pe tija de susținere până la înălțimea h , corpul M aflându-se pe limitatorul de cursă inferior. Viteza cu care corpul m_0 atinge corpul m_1 este $v = \sqrt{2gh}$. Viteza sa se poate calcula deci, dacă se măsoară h ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$). După ciocnirea plastică dintre corpul m_0 și corpul m_1 (practic, corpul m_0 ciocnește corpul m_1 iar, prin intermediul firului trecut peste scripete, ciocnește și corpul M), masa sistemului va fi $2M$.

Din legea conservării impulsului la ciocnirea plastică, putem scoate viteza sistemului după

ciocnire: $m_0v = 2Mu$, de unde $u_{calc} = \frac{m_0}{2M}v = \frac{m_0}{2M}\sqrt{2gh}$.

Viteza sistemului după ciocnire, u , se poate determina și experimental $u_{exp} = S/t$, unde t este timpul în care corpul M parcurge distanța S dintre cele două limitatoare de cursă.

Dispozitivul experimental 2 (planul înclinat) este compus din :

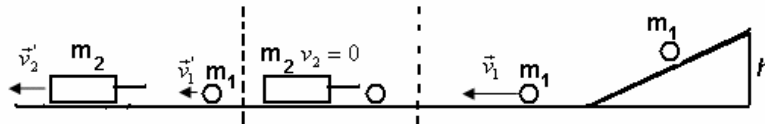


Fig. 2

- un modul orizontal cu suprafață lucioasă (sticlă) la capatul caruia se află un plan înclinat de înălțime h ;
- un corp cilindric de masă m_1 ce se mișcă cu frecari neglijabile atât pe planul înclinat, cât și pe modulul orizontal;
- un cărucior de masa m_2 , prevăzut cu un arc; caruciorul m_2 se mișcă fără frecare pe modulul orizontal;
- un sistem de cronometrare a timpului în care este parcursă o anumită distanță, sistem format dintr-un cronometru ce poate fi acționat atât printr-un dispozitiv compus dintr-un pointer (laser) și o fotodiodă, cât și printr-un dispozitiv cu lamele (ce joacă rol de opritor);
- nivelă pentru verificarea orizontalității sistemului.

Modulul se reglează în poziție strict orizontală. Se poziționează căruciorul cu resortul îndreptat în sens invers sensului de deplasare a corpului cilindric (corpul m_1).

Viteza căruciorului după ciocnire va fi $v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1$ (teoretic).

Măsurând înălțimea planului înclinat, h , se poate calcula viteza corpului m_1 înainte de ciocnire, $v_1 = \sqrt{2gh}$. Prin urmare, viteza căruciorului m_2 după ciocnire, din calcule, va fi

$$v_{2calc}' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}\sqrt{2gh}.$$

Viteza căruciorului m_2 după ciocnire se poate determina și experimental, $v_{2exp}' = \frac{S_2}{t_2}$, unde t_2

este timpul în care căruciorului m_2 parcurge distanța S_2 dintre dispozitivul cu pointer și opritorul din capătul planului orizontal.

III. Modul de lucru

Dispozitivul cu scripete

1. Se verifică verticalitatea sistemului.
2. Se aleg corpuri de masă m_0 , m_1 și M , astfel încât $m_0 + m_1 = M$. Înainte de începerea experimentului se cântăresc corpurile, notând masele m_0 și M . De asemenea, se cântărește corpul m_0 .
3. Limitatorul inferior de cursă se fixează la distanța S .
4. Corpul M se poziționează între pointer și fotodiodă.
5. Se aduce cronometrul la zero.
6. Se ridică corpul m_0 la înălțimea h , înălțime ce se păstrează constantă în timpul măsurătorilor.
7. Se apasă butonul pointerului.
8. Se dă drumul corpului m_0 peste corpul m_1 .
9. După ciocnirea plastică, sistemul se va mișca cu viteză constantă între dispozitivul cu pointer și opritorul superior, adică pe distanța S . De asemenea, după ciocnire, se va declanșa cronometrul. Se va lua mâna de pe butonul pointerului după ce cronometrul s-a declanșat.
10. Când corpul M ajunge la opritorul superior, cronometrul se oprește automat.
11. Se notează timpul obținut.
12. Se repetă experimentul de încă 9 ori.
13. Pentru alte două distanțe S , se reia ciclul de 10 măsurători.
14. Pentru fiecare distanță se calculează timpul mediu în care este parcursă această distanță, t_m .
15. Se reprezintă grafic $S = f(t_m)$.
16. Se completează tabelul de date experimentale.

Verificarea teoremei de conservare a impulsului într-o ciocnire plastică

$S(\text{cm})$	t (s)										t_m (s)
	exp. 1	exp. 2	exp. 3	exp. 4	exp. 5	exp. 6	exp. 7	exp. 8	exp. 9	exp. 10	

17. Se determină viteza sistemului după ciocnire u prin trei metode:
 - din panta dreptei, se găsește viteza u_{exp}
 - folosind metoda celor mai mici pătrate se află u_{exp} .

- folosind relația $u_{calc} = \frac{m_0}{2M} \sqrt{2gh}$, se determină viteza u_{calc}

18. Se compară u_{exp} cu u_{calc} . Se discută de ce apar mici diferențe între aceste valori.

Dispozitivul cu plan înclinat

1. Se verifică orizontalitatea modulului.
2. Se determină viteza pe care corpul cilindric m_1 o capătă în urma mișcării pe plan înclinat. Aceasta se poate determina teoretic (se măsoară înălțimea planului înclinat h , $v_{1calc} = \sqrt{2gh}$) sau experimental (se cronometrează timpul t_1 în care corpul 1 parcurge distanța S_1 pe planul orizontal, după coborârea pe planul înclinat, $v_{1exp} = \frac{S_1}{t_1}$).
3. Se dispune căruciorul m_2 pe planul orizontal cam la jumătatea acestuia.
4. Se fixează dispozitivul cu pointer și fotodiodă astfel încât resortul cu care este prevăzut căruciorul să obtureze fasciculul laser.
5. Cronometrul se aduce la zero.
6. Se poziționează corpul cilindric m_1 pe planul înclinat, apăsând și butonul pointerului.
7. După ciocnirea elastică dintre cărucior și corpul cilindric cronometrul se declanșează. Trebuie luată mâna de pe butonul pointerului imediat după pornirea cronometrului..
8. Când căruciorul ajunge la opritorul din capătul planului orizontal, cronometrul se oprește automat. Se notează timpul t_2 în care căruciorul parcurge distanța S_2 .
9. Se repetă experimentul de încă 9 ori.
10. Se calculează timpul mediu, t_m , în care este parcursă distanța S_2 .
11. Se completează tabelul de date experimentale.

Verificarea teoremei de conservare a impulsului într-o ciocnire elastică

S_2 (cm)	t (s)										t_m (s)
	exp. 1	exp. 2	exp. 3	exp. 4	exp. 5	exp. 6	exp. 7	exp. 8	exp. 9	exp. 10	

12. Se calculează $v'_{2exp} = \frac{S_2}{t_m}$.

13. Folosind relația $v'_{2calc} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \sqrt{2gh}$, se determină v'_{2calc} .

14. Se compară v'_{2exp} cu v'_{2calc} . Se discută de ce apar mici diferențe între aceste valori.