

Studiul proceselor de ciocnire

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 elastică.

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.

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

1. în funcție de energia de reacție, $Q = E_{cf} - E_{ci}$, *ciocniri de speța I* dacă ($Q < 0$, adică dacă $E_{cf} < E_{ci}$), sau *ciocniri de speța a II-a* dacă $Q > 0$, dacă $E_{cf} < E_{ci}$. Un exemplu limită de ciocnire de speța I este ciocnirea perfect inelastică sau *plastică*. Ciocnirile de speța I sunt *endoenergetice*, iar cele de speța a II - *exoenergetice*. 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 corpurilor ce se ciocnesc coincid) sau *oblice* – în caz contrar;
4. ciocniri *directe* sau *inverse* (explozia este inversul unei ciocniri perfect plastice).

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.

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 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 cinetică a primului corp

înainte de ciocnire, $\frac{p_2^2}{2m_2} = \frac{m_2 v_2^2}{2}$ este energia cinetică 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 - $E_{ci} = \frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2}$, 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 centrală perfect elastică

Legea conservării impulsului se aplică, de exemplu, în cazul a două corpuri care se deplasează pe o axă orizontală, dacă nu există frecare. Ciocnirea este perfect elastică dacă energia cinetică a sistemului de corpuri se conservă la ciocnire.

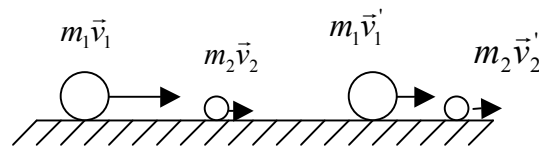


Fig. 1.

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:

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

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

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \quad \text{și} \quad v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 \quad (3,4)$$

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 .

Ciocnirea centrală plastică

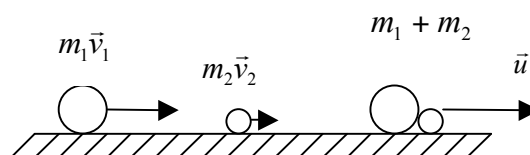


Fig. 2

Aici putem scrie:

$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$, unde u este viteza sistemului format din cele două corpuri după ciocnire. Rezultă că $\vec{u} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$, însă - mișcarea fiind unidimensională - se poate scrie :

$$u = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} \quad (5).$$

Descrierea instalației experimentale și a modului de lucru

Instalația experimentală conține o șină orizontală din aluminiu, pe care pot culisa ușor două cărucioare prevăzute, fiecare, cu câte un obturator (colorat cu galben în Fig. 2 și notate O_1 , respectiv O_2). Acesta va întrerupe fasciculul de lumină, pentru scurt timp, pe durata mișcării, la trecerea sa celor două porți optice P_1 și P_2 montate pe parte laterală a șinei. Porțile

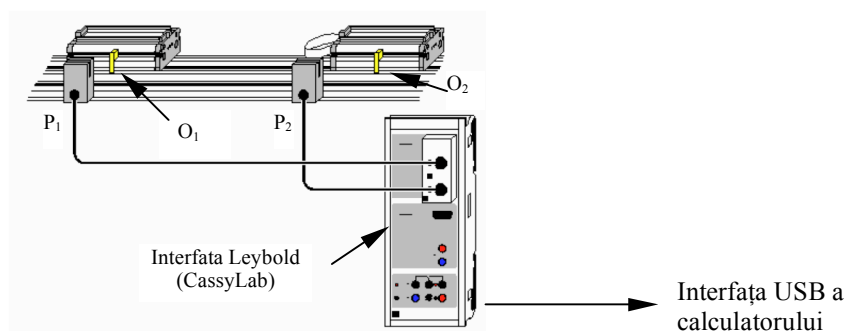


Fig. 2

optice sunt cuplate la interfața *CassyLab*, care asigură interfațarea cu calculatorul electronic, cu ajutorul căruia sunt măsurate automat mărimile de interes din acest experiment. De exemplu, vitezele cărucioarelor (înainte și după ciocnire) sunt măsurate cunoscând lățimea lamelor obturator ($l = 5 \text{ mm}$) și timpul cât acestea obturează fasciculul de lumină al porții optice: $v_{1,2} = l/t_{1,2}$, respectiv $v'_{1,2} = l/t'_{1,2}$.

Experimentul începe prin a plasa cele două porți optice, în așa fel încât obturatorul fiecărui cărucior să poată trece liber prin fanta porții optice, fără a o atinge. Poziția acestora

se va stabili în așa fel, încât ciocnirea să aibă loc în spațiul dintre ele. Se conectează cele două porți optice la cele două intrări ale interfeței CassyLab, așa cum este prezentat în Fig. 2. În continuare, se încarcă din directorul .../Desktop programul *CassyLab_ciocniri*. Odată lansat acest program, se stabilesc mărimile de interes care urmează a fi afișate: vitezele cărucioarelor (înainte, respectiv după ciocnire), impulsurile acestora, energia cinetică inițială și finală, respective pierderea de energie cinetică, ΔE_c , pe durata ciocnirii.

Experimentul propriu-zis constă în următoarele:

1. Măsurarea maselor celor două cărucioare, precum și a masei adiționale ce se poate atașa unuia dintre ele.
2. Verificarea poziției corecte a lamelei (lamelelor-arc) montate pentru a asigura *ciocnirea elastică* a cărucioarelor.
3. Așezarea unui cărucior (m_2) într-o poziție convenabilă *în intervalul* dintre cele două porți optice ($v_2 = 0$).
4. Lansarea programului care asigură măsurarea vitezelor, impulsurilor și energiei cinetice ale cărucioarelor, înainte și după ciocnire (apăsăți tasta F9, sau faceți click pe iconița pe care este desenat un semn de cronometru din meniul programului).
5. Imprimarea unui impuls inițial primului corp (m_1). Se urmărește atent desfășurarea procesului de ciocnire elastică și trecerea căruciorului (cărucioarelor) prin dreptul porților optice, moment în care se măsoară automat vitezele lor instantanee.
6. Se întocmește un tabel în care se trec valorile mărimilor măsurate.
7. Se verifică dacă se respectă legea conservării impulsului și legea conservării energiei, *în limitele erorilor experimentale*.
8. Se discută sursele de erori și se discută cauzele apariției unor pierderi de energie în procesul de ciocnire.

Se repetă experimentul, în condițiile în care corpului 2 i se imprimă, de asemenea, o viteză inițială (în același sens și în sens contrar lui v_1). Se verifică respectarea legilor de conservare a impulsului și energiei sistemului de cărucioare. Într-un al 3-lea experiment se va modifica masa unuia dintre cărucioare, prin încărcarea sa cu o masă adițională (o placă rectangulară din alamă) și se vor parcurge pașii 4-8 menționați anterior.

În cel de-al 4-lea experiment se verifică legea conservării impulsului într-o *ciocnire plastică*. În acest caz se demontează cele două resorturi-lamă, cele două cărucioare urmând să rămână împreună după ciocnire, prin folosirea unui sistem care asigură cuplarea lor împreună. Se va măsura, de asemenea, pierderea de energie prin ciocnire.

La terminarea celor 4 experimente, se va verifica concordanța dintre datele măsurate experimental (impulsuri, energii, pierderi de energie mecanică) și cele ce rezultă prin calcul, pornind de la valorile inițiale ale impulsurilor și ținând cont de relațiile (3-5).