

BISTABILITATEA MECANICĂ

Andrei PETCO, Vitalie CHISTOL

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: Efectul bistabilității constă în existența a două stări stabile în care poate să se afle sistemului la una și aceeași valoare a unui parametru exterior. Acest fenomen este binecunoscut în optică, magnetism, electricitate etc. În lucrarea dată este prezentat un exemplu în care efectul bistabilității se manifestă în procesele din mecanică. Sunt analizate și explicate cauzele care conduc la apariția acestui efect.

Cuvinte – cheie: Mecanica, bistabilitate.

1. Introducere

Efectul bistabilității este binecunoscut în optică (bistabilitate optică), magnetism (bistabilitate magnetică), electricitate (circuite bistabile) etc. În majoritatea cazurilor acest efect este de natură cuantică și explicația lui este destul de complicată. În cele ce urmează, vom analiza un exemplu în care efectul bistabilității se manifestă în procesele din mecanică, iar explicația lui este relativ simplă.

2. Fenomenul bistabilității în mecanică

Fie că într-un tub închis la un capăt, care are forma indicată în fig.1a, se află o coloană de aer de înălțime x_0 , separată de atmosferă printr-o coloană de mercur de înălțime H . Temperatura aerului din tub este T_0 . Ariile secțiunilor transversale ale tubului sunt S_1 și S_2 ($S_2 > S_1$). Presiunea atmosferică exprimată în milimetri ai coloanei de mercur este H_0 . Încălzind aerul din tub, mercurul se deplasează cu x . Vom construi graficul dependenței deplasării suprafeței inferioare a coloanei de mercur de temperatura aerului din tub.

Aplicând ecuația transformării generale a gazului ideal pentru aerul din tub, obținem:

$$\frac{pV}{T_0} = \frac{p_1V_1}{T}, \quad (1)$$

unde: $p = \rho g(H + H_0)$, $V = S_1x_0$, iar p_1 și V_1 pentru $x \leq H$ sunt (Fig. 1b):

$$p_1 = \rho g(H - x + x_1 + H_0); \quad V_1 = S_1(x_0 + x).$$

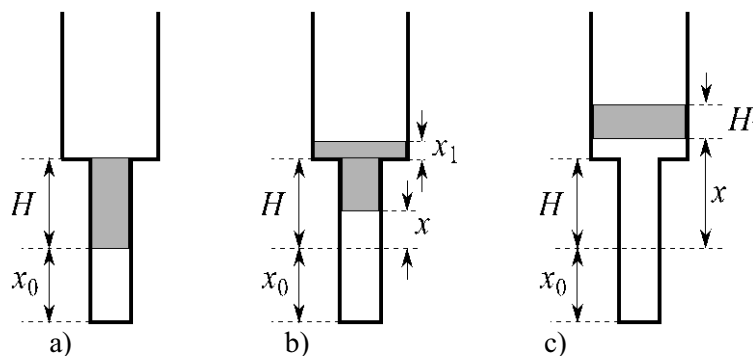


Fig. 1

Din fig. 1b vedem:

$$S_1x = S_2x_1, \text{ sau } x_1 = \frac{S_1}{S_2}x = kx, \text{ unde } k = \frac{S_1}{S_2}. \text{ Atunci } p_1 = \rho g(H + H_0 - (1-k)x) \text{ și din (1)}$$

$$\text{obținem: } T = T_0 \frac{(H + H_0 - (1-k)x)(x_0 + x)}{(H + H_0)x_0}. \quad (2)$$

Pentru $x > H$ avem (fig. 1c):

$$V_1 = S_1(H + x_0) + S_2(x - H) \quad P_1 = \rho g(H_0 + H_1) = \rho g(H_0 + kH).$$

Introducând în (1), obținem:

$$T = T_0 \frac{(H_0 + kH) [H + x_0 + 1/k(x - H)]}{(H_0 + H)x_0} \quad (3)$$

Trasăm graficul dependenței $x = f(T)$ după expresia (2) (curba 1) și după (3) (dreapta 2) (Fig. 2).

Din figură vedem că odată cu creșterea temperaturii, crește monoton și deplasarea mercurului (curba 1). La temperatura T' deplasarea suprafeței inferioare a mercurului este x' . Pentru $T > T'$ ecuația (2) nu are soluții. Aceasta înseamnă că pentru $T > T'$ tot mercurul din tubul de suprafață S_1 trece prin salt în tubul de suprafață S_2 , iar deplasarea mercurului va fi $x > x_2$. Mărind în continuare temperatura, deplasarea mercurului este descrisă de expresia (3) (dreapta 2).

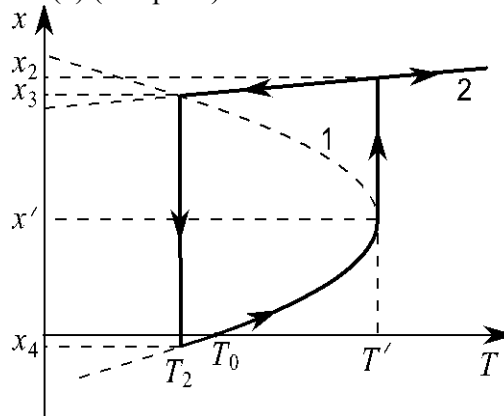


Fig. 2

Micșorând temperatura, se micșorează și deplasarea mercurului. La temperatura $T = T_2$ curba 1 se intersectează cu dreapta 2 și mercurul trece prin salt din poziția $x = x_3$ în poziția $x = x_4$. Menționăm că temperatura T_2 poate fi mai mică sau mai mare decât T_0 în dependență de valorile lui x_0 , H și k .

Astfel, în dependența $x = f(T)$ obținem o buclă de histererezis specifică fenomenului de bistabilitate.

O situație analogică se obține și în cazul când la mijlocul unui cilindru orizontal cu aer, închis la ambele capete, în care se află un piston, se rotește în jurul unei axe verticale ce trece printr-un capăt al cilindrului. Pistonul la fel are două stări stabile, iar trecerea dintr-o stare în alta are loc prin salt. La o viteză de rotație a cilindrului ω_1 pistonul trece din prima stare stabilă în cea de-a doua, iar trecerea înapoi are loc la o viteză de rotație $\omega_2 < \omega_1$.

Un astfel de efect ar putea fi utilizat la mecanismele de tipul cutiei de viteze automate, unde este de dorit ca trecerea dintr-o stare stabilă în alta (de la o viteză la alta) să aibă loc la o anumită viteză de rotație (a axului motorului), iar trecerea înapoi – la o viteză de rotație mai mică.