

# STUDIUL FORTELOR DE INERTIE. FORȚA CORIOLIS

## Scopul lucrării:

Forțele de inerție au un *caracter fictiv*, în sensul că ele nu constituie rezultatul unei interacțiuni și, ca urmare, *nu* satisfac principiul al treilea al dinamicii. Ele sunt introduse atunci când se urmărește a extrapola valabilitatea principiilor dinamicii *și în sistemele neinerțiale*.

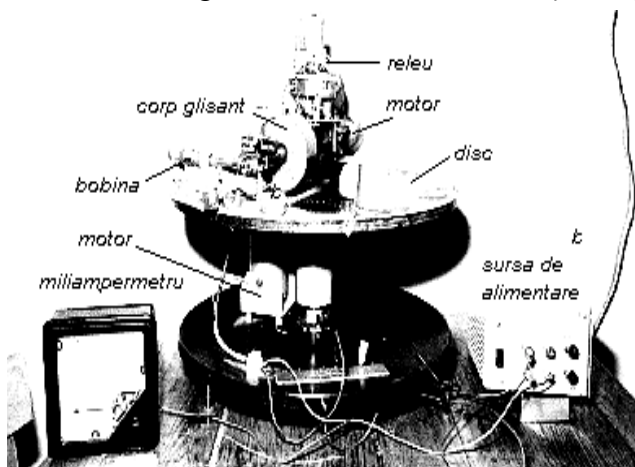
Expresiile matematice ale forțelor de inerție se obțin dacă se cunoaște accelerația unui corp în raport cu un sistem de referință aflat el însuși într-o mișcare accelerată și se înmulțește această accelerație cu masa inertă a corpului. Aceste forțe *nu* produc efecte măsurabile.

Legând corpul de un sistem de referință neinerțial, el este obligat să efectueze odată cu acesta o mișcare accelerată. Judecând din punctul de vedere al unui observator aflat în sistemul laboratorului, va apare, conform principiului al treilea al dinamicii o *forță de reacțiune*, resimțită de legătură. *Această forță de reacțiune (reală!) este egală ca mărime și are același sens, dar nu este identică cu forța de inerție*, ea putând fi pusă în evidență de observatorul din sistemul inerțial al laboratorului.

Dispozitivul experimental utilizat în această lucrare permite măsurarea forței de reacțiune și compararea ei cu o forță de inerție (forța Coriolis), a cărei expresie matematică se obține prin calcul.

## Descrierea dispozitivului experimental:

O imagine de ansamblu a instalației experimentale este arătată în Fig. 1, iar



rectilinie și uniformă  
al 2-lea

Fig. 1

schema de principiu a sa este prezentată în Fig. 2. Dispozitivul conține un disc,  $D$ , care poate fi pus în mișcare de rotație cu ajutorul unui motor electric. Pe o tijă,  $T$ , montată după direcția diametrului discului  $D$  și susținută de un ax vertical (coliniar cu axul discului), poate glisa un corp de masa  $m$ , pus într-o mișcare (în raport cu tija, folosind un

motor electric.

Tija poate fi pusă în mișcare de rotație cu aceeași viteză unghiulară ca și discul, dacă este legată de acesta prin intermediul unei spirale elastice. Aceasta, alungindu-se, acționează asupra tijei și a corpului, obligându-le a se roti odată cu discul. Ca urmare, corpul **reacționează**, cauzând deformarea spiralei, care funcționează aici ca un dinamometru, fapt ce permite măsurarea **forței de reacție**.

Așa cum am menționat anterior, forța de reacție este egală ca mărime și are același sens cu forța Coriolis. Efectele sale apar numai în momentul legării tijei de disc.

Deși simplu în principiu, este dificil de a se măsura gradul de deformare a spiralei-dinamometru, deoarece, în decursul experimentului, aceasta se rotește cu viteză unghiulară mare, împreună cu întreg ansamblul corp - tijă - disc. Ca urmare, este necesar să se stabilească, experimental, o corespondență biunivocă între gradul de deformare al dinamometrului și o altă mărime fizică, care să fie comod de măsurat în sistemul laboratorului. Acest lucru a fost realizat în cazul de față folosind dispozitivul arătat schematic în Fig. 2.

Acest dispozitiv este alcătuit dintr-un miez cilindric de fier, ce poate glisa fără frecări în interiorul unei bobine prin care trece un curent electric alternativ. Intensitatea acestui curent depinde de impedanța bobinei cu miez feromagnetic, deci și de valoarea inductanței acesteia. Cum în expresia inductanței ( $L = \mu_0 \mu_r N^2 S / l$ ) intervine (în cazul de față ca o mărime variabilă) permeabilitatea magnetică relativă a miezului bobinei, deformarea spiralei va determina modificarea lungimea miezului de fier aflat în interiorul bobinei și, ca urmare, valoarea intensității curentului.

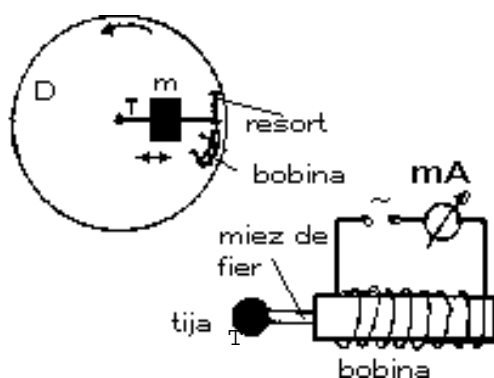


Fig. 2

Pentru trasarea curbei de etalonare a spiralei vom folosi un platan ușor, ce se poate lega de tija mobilă,  $T$ , printr-un fir ce trece peste un scripete fix. Așezând, succesiv, pe platan greutăți diferite și măsurând curentul ce trece prin bobină, se poate etalona dinamometrul, trasându-se curba  $F = F(I)$  sau  $I = I(F)$ .

Deoarece expresia matematică care exprimă legătura dintre elongația spiralei și intensitatea curentului prin bobină este destul de complicată, în laborator corespondența sus-menționată se stabilește pe cale empirică. Operația se numește **etalonarea spiralei elastice**; ea se efectuează prin acționarea asupra acesteia cu forțe cunoscute și prin măsurarea valorii corespunzătoare a curentului electric.

### Principiul fizic al metodei.

Așa cum este cunoscut, poziția unui punct material de masă  $m$ , în raport cu sistemul laboratorului ( $S$ ), ai căror versori sînt ficși, poate fi precizată prin vectorul de poziție  $\vec{r}(x, y, z)$ ; în raport cu un sistem de referință  $S'$  (avînd versorii  $\hat{x}', \hat{y}', \hat{z}'_S$ ) aflat în rotație, poziția aceluiași punct este precizată prin vectorul  $\vec{r}'(x', y', z')$ . Dacă mișcarea acestui punct material se desfășoară în planul  $xOy$  și dacă originile celor două sisteme de referință coincid, coordonatele punctului considerat, în raport cu sistemele de referință  $S$  și  $S'$  sunt legate între ele prin relația:

$$(x\hat{x} + y\hat{y})_S = (x'\hat{x}' + y'\hat{y}')_{S'} \quad (1)$$

Valorile vitezei, exprimate în raport cu cele două sisteme de referință, precum și relația dintre ele, se obțin derivând în raport cu timpul mărimile din (1) și avînd în vedere că derivatele versorilor  $\hat{x}$  și  $\hat{y}$  sunt nule:

$$(\dot{x}\hat{x} + \dot{y}\hat{y})_S = (\dot{x}'\hat{x}' + \dot{y}'\hat{y}' + x\dot{\hat{x}} + y\dot{\hat{y}})_{S'} \quad (2)$$

Pentru a calcula derivata versorilor din  $S'$  în raport cu timpul, vom avea în vedere că lungimea arcului descris de vârful versorului  $\hat{r}'$ , care este mereu îndreptat

spre punctul material  $P$ , (vezi Fig. 3) în intervalul de timp  $dt$  este:

$$d\hat{r}' = |\hat{r}'| \cdot d\varphi \cdot \hat{e}_\varphi$$

și avînd în vedere că:

$$\hat{e}_\varphi = \hat{\omega} \times \hat{r}'$$

rezultă:

$$(\dot{\hat{r}})_{S'} = (\omega \hat{\omega} \times \hat{r})_{S'} = (\vec{\omega} \times \hat{r})_{S'} \quad (3)$$

Relația (3) este echivalentă cu două ecuații, corespunzătoare direcțiilor  $Ox$  și  $Oy$ :

$$(\dot{\hat{x}})_{S'} = \vec{\omega} \times (\hat{x})_{S'} \quad \text{și} \quad (\dot{\hat{y}})_{S'} = \vec{\omega} \times (\hat{y})_{S'} \quad (4)$$

Cu aceste ultime două relații, ecuația (2) devine:

$$(\vec{v})_{SL} = (\vec{v}')_{S'} + \vec{\omega} \times (\vec{x}' + \vec{y}')_{S'} = (\vec{v}')_{S'} + \vec{\omega} \times (\vec{r}')_{S'} \quad (5)$$

Această ultimă relație poate fi ușor interpretată fizic, dacă avem în vedere faptul că, în timpul în care corpul se deplasează din poziția  $A$  în  $B$ , punctul  $A$ , legat de sistemul de referință neinercial (în cazul nostru - de disc), ajunge în  $C$  (Fig. 4); deplasările corpului, măsurată de doi observatori din cele două sisteme menționate sunt, conform Fig 4, legate prin relația:

$$(d\vec{r})_S = (d\vec{r})_{S'} + r d\varphi (\hat{\omega} \times \hat{r}')_{S'}$$

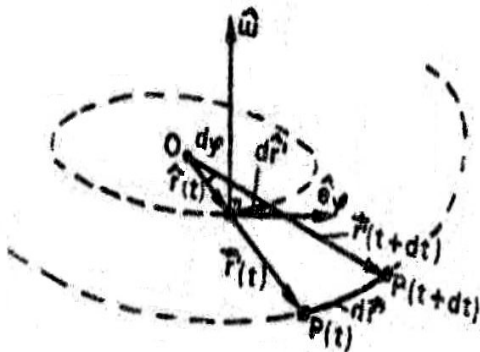


Fig. 3



corpului pe tijă ( $\omega=2\pi n/t_1$ )

- ④ se citește valoarea masei corpului, înscrisă pe acesta;
- ⑤ cu valorile găsite pentru  $v$  și  $\omega$  se calculează valoarea forței Coriolis;
- ⑥ se repetă măsurătorile și se completează tabelul de date :

**Tabelul 1**

**Determinarea forței Coriolis**

Nr. det.	l (cm)	t <sub>1</sub> (s)	t <sub>2</sub> (s)	n	v (m/s)	ω (rot/s)	F <sup>Cor</sup> (N)
1							
2							
...							

Pentru a măsura **forța de reacțiune** se notează intensitatea curentului electric ce trece prin circuitul cu dinamometru, atunci când corpul se află cel mai aproape de punctul de fixare al spiralei, astfel încât brațele momentelor forțelor de reacție și elastică să fie egale. Cu ajutorul curbei de etalonare se găsește mărimea forței de reacție cu care corpul se opune accelerării sale. Având în vedere modul de realizare a spiralei elastice în laborator, determinarea intensității forței de reacțiune se face numai în cazul deplasării corpului pe tijă, spre exterior.

Se vor compara valorile numerice ale forței Coriolis și, respectiv, de reacțiune, rezultatul comparației exprimându-se prin diferența relativă dintre ele:

$$\varepsilon = \frac{F^{Cor} - F_{react}}{F^{Cor}}$$

➤**Notă**

- ① Analizați sursele posibile de erori.
- ② Găsiți un procedeu de evaluare a efectului forțelor de frecare ce intervin în desfășurarea experimentului și, implicit, în procesul de măsură.
- ③ Explicați efectele forței de reacțiune și a forței Coriolis apelând și la considerente energetice.