



TEXTOS
DOCENTS

Laboratori de Mecànica

Xavier Batlle Gelabert
José M^a Ruiz Torrejón

TEXT-GUIA



EDICIONS
UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Departament de Física Fonamental
Divisió de Ciències Experimentals i Matemàtiques

TEXTOS DOCENTS 145

LABORATORI DE MECÀNICA

XAVIER BATLLE GELABERT
JOSÉ M^a RUIZ TORREJÓN

Departament de Física Fonamental
Divisió de Ciències Experimentals i Matemàtiques

TEXT-GUIA

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ

1. L'assignatura dins del pla d'estudis	I
1.1. Objectius docents	I
1.2. Continguts	I
1.3. Bibliografia recomanada	I
2. Organització	II
2.1. Sessions informatives	II
2.2. Sessions de pràctiques	II
2.3. Sessions de recuperació	II
3. Criteris i formes d'avaluació	II
3.1. Avaluació global de l'assignatura	II
3.2. Avaluació dels informes	III

PRÀCTICA I

1. Conservació de l'energia mecànica. Roda de Maxwell	1
1.1. Objectius	1
1.2. Introducció teòrica	1
1.3. Realització experimental	2
1.4. Qüestions	3

PRÀCTICA II

2. Ones Estacionàries. Corda vibrant	5
2.1. Objectius	5
2.2. Introducció teòrica	5
2.2.1. Equació d'una ona harmònica	5
2.2.2. Ones estacionàries	6
2.3. Realització experimental	7
2.3.1. Material	7
2.3.2. Realització	7
2.4. Qüestions	8

PRÀCTICA III

3. Viscositat de l'aigua	9
3.1. Objectius	9
3.2. Introducció teòrica	9
3.3. Realització experimental	9
3.4. Qüestions	10

PRÀCTICA IV

4. Lleis de col·lisió. Carril d'aire	13
4.1. Objectius	13

4.2. Introducció teòrica	13
4.2.1. <i>Lleis de col·lisió</i>	13
4.2.2. <i>Carril d'aire</i>	14
4.3. Realització experimental	16
4.3.1. <i>Material</i>	16
4.3.2. <i>Realització</i>	17
4.3.3. <i>Consells</i>	17
4.4. Qüestions	18
 PRÀCTICA V	
5. Pèndols acoblats. Modes normals d'oscil·lació	21
5.1. Objectius	21
5.2. Introducció teòrica	21
5.2.1. <i>Càlcul de les equacions del moviment</i>	21
5.2.2. <i>Mode concordant</i>	22
5.2.3. <i>Mode contraposat</i>	23
5.2.4. <i>Mode polsant</i>	23
5.3. Realització experimental	24
5.3.1. <i>Dispositiu experimental</i>	24
5.3.2. <i>Realització de la pràctica</i>	24
5.4. Qüestions	24
 PRÀCTICA VI	
6. Llei de Hooke per a una molla espiral. Moments d'inèrcia	25
6.1. Objectius	25
6.2. Introducció teòrica	25
6.3. Realització experimental	26
6.3.1. <i>Realització</i>	26
6.3.2. <i>Taula de valors teòrics dels moments d'inèrcia de diferents cossos</i>	26
6.4. Qüestions	27
 PRÀCTICA VII	
7. Dispersió de partícules	29
7.1. Objectius	29
7.2. Introducció teòrica	29
7.3. Realització experimental	30
7.3.1. <i>Material</i>	30
7.3.2. <i>Realització</i>	30
7.4. Qüestions	31
 PRÀCTICA VIII	
8. Força centrípeta	33
8.1. Objectius	33
8.2. Introducció teòrica	33
8.3. Realització experimental	33
8.3.1. <i>Descripció dels elements</i>	33
8.4. Qüestions	35
 PRÀCTICA IX	
9. Oscil·lador esmorteït i forçat	37
9.1. Objectius	37
9.2. Introducció teòrica	37
9.3. Realització experimental	39
9.3.1. <i>Material</i>	39
9.3.2. <i>Realització</i>	39

9.4. Qüestions	39
PRÀCTICA X	
10. Ones estacionàries. Tub de Kundt	41
10.1. Objectius	41
10.2. Introducció teòrica	41
10.3. Realització experimental	42
10.4. Qüestions	44
ANNEX	
Càlcul d'errors	45
1. Propagació d'errors	45
2. Regressions lineals	46

INTRODUCCIÓ

1. L'ASSIGNATURA DINS DEL PLA D'ESTUDIS

L'assignatura de Laboratori de Mecànica és una assignatura obligatòria de 3 crèdits pràctics del 2n semestre de l'ensenyament de Física. En aquesta assignatura s'han d'aplicar els coneixements prèviament adquirits a l'assignatura de Fonaments matemàtics de les tècniques experimentals. L'assignatura també serveix perquè l'alumne pugui estudiar al laboratori allò que li expliquen a l'assignatura de Mecànica i ones, que també es fa al 2n semestre.

1.1. Objectius docents

L'assignatura de Laboratori de Mecànica representa el primer contacte de l'alumne/a amb la física experimental. Les pràctiques que es realitzaran comprenen una bona part de la mecànica clàssica: mecànica de fluids, oscil·ladors, ones, dinàmica de la partícula, dinàmica del sòlid rígid... D'altra banda, hom pretén que l'alumne/a apliqui les tècniques d'estimació d'errors desenvolupades a l'assignatura Fonaments Matemàtics de les Tècniques Experimentals.

1.2. Continguts

- 1) Una sessió informativa d'introducció als fonaments necessaris per realitzar les sessions pràctiques i de descripció dels dispositius experimentals.
- 2) Set sessions de pràctiques que es realitzen per parelles.
- 3) Una sessió, optativa, de recuperació.

1.3. Bibliografia recomanada

Tots els alumnes disposen d'un guió de pràctiques on s'expliquen els fonaments teòrics i es dona una descripció experimental de la pràctica que hauran de realitzar. La informació complementària dels fonaments teòrics pot trobar-se en la bibliografia recomanada per a l'assignatura de Mecànica i Ones, que consta dels següents textos:

1. SYMON, K.R., *Mecànica*. Ed. Aguilar, Madrid, 1965.
2. MARION, J.B., *Dinàmica clàssica de las partículas y sistemas*. Ed. Reverté, Barcelona 1992.
3. EISBERG, R.M., LERNER, L.S., *Física: Fundamentos y aplicaciones* (2 vol.). Ed. McGraw Hill, Madrid, 1983.
4. FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B., SANDS M., *Física* (3 vol.). Ed. Addison-Wesley, Barcelona, 1987.

La descripció experimental de la pràctica pot ampliar-se consultant els catàlegs que hi ha en el mateix laboratori.

2. ORGANITZACIÓ

2.1. Sessions informatives

Els alumnes assisteixen a una sessió informativa de 3 hores, en els horaris que els pertoca segons el grup, durant la primera setmana de classe. En aquesta sessió s'explica una part d'informació general de l'assignatura i, a continuació, es comenta breument la teoria bàsica i el funcionament dels dispositius experimentals amb què es trobaran a les pràctiques.

2.2. Sessions de pràctiques

Les sessions de pràctiques començaran la setmana següent a la de les sessions informatives i es realitzaran per parelles. Hi haurà 8 pràctiques disponibles en el laboratori (d'entre les 10 que estan explicades en aquest llibre), cada alumne en farà 7, seguint l'ordre creixent a partir de la primera que ha fet (per exemple, si comencem per la pràctica 5, farem la 6, 7, 8, 1, 2, 3 i 4 seguint aquest ordre estrictament). L'assistència a aquestes sessions, com ja comentarem, és obligatòria per aprovar l'assignatura i no es permet realitzar més d'una pràctica per sessió.

En acabar cada sessió de pràctiques, els alumnes presentaran un informe (full avaluatiu que es donarà durant les sessions informatives) abans de marxar del laboratori. Els informes es presenten per parelles i la qualificació serà la mateixa per a ambdues persones.

2.3. Sessions de recuperació

En el cas de no poder assistir a una sessió de pràctiques aquesta s'haurà de recuperar assistint a una de les sessions de recuperació que es faran quan acabin les sessions normals. Si un alumne ha assistit a totes les sessions de pràctiques, llavors també podrà recuperar una qualificació, la que ell escolleixi, que no li sembli satisfactòria. Com a màxim es podrà recuperar una pràctica entre no-assistències i qualificacions no satisfactòries.

Els casos crítics (baixa per malaltia o accident, contracte de treball amb Seguretat Social...) es tractaran individualment amb el coordinador de l'assignatura.

3. CRITERIS I FORMES D'AVALUACIÓ

3.1. Avaluació global de l'assignatura

L'assistència és obligatòria. Al final de cadascuna de les sessions, els alumnes entregaran un full avaluatiu. Aquest full consta, en general, d'unes cinc qüestions referides a les dades experimentals, la representació gràfica d'aquestes, la determinació de magnituds físiques, el càlcul d'errors i les conclusions que poden treure's de l'experiència.

La qualificació de l'assignatura prové de la mitjana dels set informes i una prova de laboratori optativa. Els informes representen el 75% de la qualificació final i la prova de laboratori l'altre 25%. Si no es desitja fer la prova de laboratori els informes qualifiquen el 100%. És condició necessària per aprovar haver entregat els 7 informes (per aquest motiu hi ha una sessió de recuperació).

La prova de laboratori serà individual, d'unes dues hores de durada, i els alumnes realitzaran una pràctica o fracció (es farà un sorteig entre totes les que han fet) i respondran algunes preguntes sobre la resta de pràctiques.

3.2. Avaluació dels informes

Els informes s'avaluen a partir d'unes qüestions (n'hi ha 5 qüestions per informe). Cada informe puntua sobre 10, en la majoria dels casos totes les qüestions tenen la mateixa puntuació, és a dir, 2 punts per qüestió. La puntuació de cada qüestió es dona en els informes. Aquestes qüestions són de cinc tipus:

1. Recull de dades experimentals
2. Representació gràfica de les dades
3. Càlcul d'errors
4. Alguna pregunta curta.

Els fulls d'informes, amb les qüestions corresponents a cada pràctica, es repartiran durant la sessió informativa amb què s'inicia el curs. A cada sessió de pràctiques s'ha d'emplenar l'informe corresponent amb les respostes a cada qüestió, i en acabar la sessió s'entregarà aquest informe (un per parella).

PRÀCTICA I

1. CONSERVACIÓ DE L'ENERGIA MECÀNICA. RODA DE MAXWELL

1.1. Objectius

L'objectiu d'aquesta pràctica és comprovar el principi de conservació de l'energia mecànica i estudiar l'energia cinètica de translació i rotació d'un disc.

1.2. Introducció teòrica

L'energia total E d'un disc de massa m i moment d'inèrcia I_z , respecte del seu eix de rotació, consta de l'energia potencial E_p (deguda a la seva alçada), de l'energia cinètica de translació E_T i de l'energia cinètica de rotació E_R :

$$E = E_p + E_T + E_R = m g h + \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I_z \omega^2 \quad (1)$$

on ω és la velocitat angular de rotació, v és la velocitat de translació, g l'acceleració de la gravetat i h l'alçada. La relació entre l'alçada h (mesurada des de sota) i la posició s (mesurada des de dalt) és $s = -h$. Les dues velocitats v i ω , de translació i rotació, respectivament, també estan relacionades mitjançant el radi r de l'eix del disc $v = \omega r$. Així doncs, podem escriure l'equació anterior de la següent forma:

$$E = - m g s(t) + \frac{1}{2} (m + I_z/r^2) (v(t))^2 \quad (2)$$

Com que l'energia total del sistema es conserva, la derivada d' E respecte del temps és 0. Si derivem respecte del temps l'equació anterior obtenim:

$$0 = - m g v(t) + (m + I_z/r^2) v(t) v'(t) \quad (3)$$

on $v'(t)$ vol dir la derivada de la velocitat respecte del temps. Si resollem aquesta equació diferencial i tenim en compte les condicions inicials $s(t=0) = 0$ i $v(t=0) = 0$ obtenim:

$$v(t) = \frac{mg}{m + Iz/r^2} t \quad (4)$$

$$s(t) = \frac{1}{2} \frac{mg}{m + Iz/r^2} t^2 \quad (5)$$

que són les equacions del moviment del centre de masses del disc.

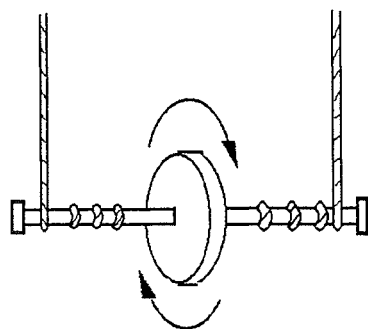
1.3. Realització experimental

Per a la realització de la pràctica disposem d'un disc que penja de dues cordes enrotllades al seu eix. En començar la pràctica heu de comprovar que aquest eix està ben horitzontal. Un cop fet això podeu anar enrotllant la corda per fer pujar el disc (com si es tractés d'un io-io). Per fer això gireu el disc com us mostra la figura, de manera que la corda quedi cap a fora. Vigileu que la corda s'enrotlli uniformement per tots dos costats.

Un cop a dalt, heu de fixar el disc al disparador (ficant la punta d'aquest en el forat que té el disc). El disparador està connectat a un cronòmetre digital que s'engega quan premem el disparador per deixar anar el disc. El cronòmetre s'atura quan el disc passa per la barrera fotoelèctrica que es troba a baix. D'aquesta manera podeu mesurar el temps que triga el disc en baixar l'alçada h des del disparador fins a la barrera fotoelèctrica. Podeu variar l'alçada tot variant la del disparador. Per mesurar aquesta alçada disposeu d'un regle graduat amb dos indicadors.

També podeu calcular la velocitat vertical que porta el disc en el moment de travessar la barrera fotoelèctrica. Per això heu de canviar lleugerament les connexions d'aquesta amb el cronòmetre, tal i com us indicarà el paper que trobareu a la taula on està muntada la pràctica; de manera que ara mesurem el temps que triga l'eix del cilindre a travessar la barrera fotoelèctrica. Si coneixem aquest temps, per determinar la velocitat del disc en aquest instant només heu de dividir el diàmetre de l'eix entre el temps mesurat d'aquesta manera.

Convé que per cada alçada a la qual treballeu mesureu dues o tres vegades el temps total de caiguda i el temps d'obturació de la barrera fotoelèctrica i que després feu els càlculs amb la mitjana d'aquests temps. També s'ha de tenir en compte que cada cop que deixeu anar el disc heu de d'esperar que reboti per segona vegada per tal d'enrotllar la corda en el sentit correcte, ja que sinó podeu tenir problemes perquè topi amb la barrera fotoelèctrica.



Sentit de gir per enrotllar el disc

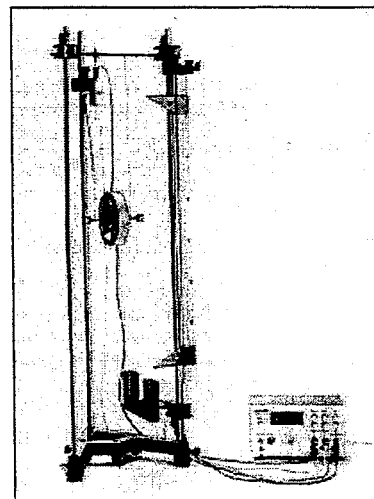


Fig. 1 i 2: Esquema de com s'ha d'enrotllar la corda sobre la roda de Maxwell i aspecte general de la pràctica

Finalment, per calcular la velocitat final, agafeu com a valor del diàmetre de l'eix 4,61 mm, que ja té en compte la mida finita del feix de llum. Cal que repetiu l'experiment per 5 alçades diferents començant per $h = 50$ cm (és recomanable variar l'alçada de 10 en 10 cm).

1.4. Qüestions

1) Ompliu la següent taula amb els valors experimentals (t_1 = temps total de caiguda; t_2 = temps d'obturació de la barrera fotoelèctrica; $\langle t_1 \rangle$, $\langle t_2 \rangle$ = mitjana d'ambdós temps per la mateixa alçada; v = velocitat lineal del disc en travessar la barrera fotoelèctrica).

h (cm)	$\langle t_1 \rangle$ (s)	$\langle t_1 \rangle^2$	$\langle t_2 \rangle$ (ms)	v (cm/s)

2) Representeu l'alçada h en funció del quadrat del temps de caiguda t_1^2 . Feu la regressió lineal de l'alçada en funció del quadrat del temps de caiguda, doneu el valor del pendent, de l'ordenada a

l'origen, del coeficient de correlació i de l'error del pendent.

3) Dibuixeu la gràfica de la velocitat final en funció del temps de caiguda t_f . Calculeu el pendent per regressió lineal i comproveu si el resultat es troba d'acord amb el calculat en la qüestió 2.

4) Calculeu el moment d'inèrcia I_z a partir del valor del pendent de la primera regressió i doneu el seu error suposant que l'únic error no negligible és el del pendent calculat a la qüestió 2.

5) Calculeu, per a una alçada qualsevol, l'energia mecànica total del disc a la posició de dalt (quan està agafat al disparador) i a la de baix (quan travessa la barrera fotoelèctrica). Indiqueu en cada cas de quin tipus d'energia es tracta (potencial, cinètica de translació o cinètica de rotació). Discutiu si es compleix la conservació de l'energia mecànica.