

Mancomunitat de Catalunya

EXTENSIO
D'ENSENYAMENT
T E C N I C



E·E·T

TEXT N.º 23

MECANICA
DELS FLUIDS

Carrer d'Urgell 187 Barcelona

Reg. 3519





R. 8482

MECÀNICA DELS FLUIDS

1.^a PART

HIDROSTÀTICA

1. La **Hidrostàtica** és la ciència que tracta de les condicions d'equilibri dels líquids i de les pressions que exerceixen, ja sigui en l'interior de la seva massa o sobre les parets dels recipients que els contenen.

2. **Propietats generals dels líquids.** Els líquids són cossos, les molècules dels quals posseeixen una cohesió molt petita i cedeixen al menor esforç que tendeix a reparar-les. D'aquí resulta que aquests cossos no tenen forma pròpia i prenen sempre la del recipient que els conté. No obstant, la fluidesa no és perfecta, i els líquids tenen sempre certa viscositat, molt petita en l'alcohol, l'èter, etc., i molt notable en l'àcid sulfúric, licors, olis, etc.

La fluidesa dels líquids es demostra per la facilitat amb què ragen i prenen qualsevol forma.

3. **Compressibilitat dels líquids.** Els líquids són tan poc compressibles que han sigut considerats com a incompressibles, però experiments minuciosos han demostrat que, si bé en grau mínim, tots els líquids són compressibles i que, dintre certs límits, la disminució de volum és proporcional a la pressió que sofreixen.

Qualsevol que sigui la pressió a què hagi estat sotmès un líquid, recobra el seu volum primitiu tantost aquella queda suprimida.

4. **Principi de Pascal.** El *principi de Pascal*, anomenat també *principi d'igualtat de pressió*, és anunciat així:

Si s'exerceix una pressió qualsevol en la superfície d'un líquid en equilibri, aquesta pressió es transmet íntegra en tots sentits a tota porció plana de paret igual a la superfície que sofreix la pressió.

Perquè aquest principi resulti rigorós, cal suposar que els líquids són perfectament elàstics, perfectament fluids i que no estan sotmesos a la acció de la gravetat.



El principi de Pascal és el fonament de la hidrostàtica i fou anunciat pel savi francès en la forma següent: *Si un dipòsit ple d'aigua i tancat per totes parts té dues obertures, de les quals una és 100 vegades l'altra, ambdues proveïdes d'un pistó ben ajustat, un home apretant el pistó petit equilibrarà la força de 100 homes que apretin el pistó que és 100 vegades més gran, i en vencerà 99.*

5. El principi d'igualtat de pressió deu ésser admès com una conseqüència de la constitució dels líquids i pot demostrar-se que la pressió es transmet en tots sentits, mitjançant el següent experiment: Un tub en el qual ajusta un pistó (fig. 1) termina en una esfera buida que té diversos forats; si una vegada plens d'aigua el tub i la esfera apremem el pistó, l'aigua surt per tots els forats i no únicament per l'oposat al pistó.

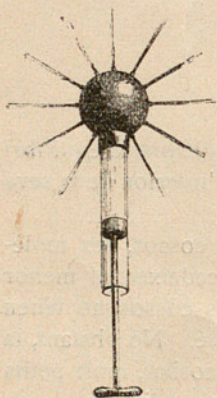


FIG. 1

6. La proporcionalitat entre les pressions i les superfícies, es comprova d'una manera aproximada. Dos cilindres (fig. 2) de desigual diàmetre, reunits per un tub, són plens d'aigua i sobre la superfície del líquid descansen dos pistons p i P que estan perfectament ajustats i poden lliscar amb frec suau. Si la superfície del pistó P és, per exemple, 50 vegades la del p i aquest es carrega amb 2 kg. caldran 100 kg. en el gran per mantenir l'equilibri. En general, perquè hi hagi equilibri, les càrregues que actuen en els dos pistons hauran d'estar en raó directa de les superfícies d'aquests.

La verificació d'aquest principi sols pot ésser aproximada, ja que no és possible prescindir de les pressions suplementàries degudes al pes del líquid i tampoc no pot anular-se el frec dels pistons.

Si designem per S i s les superfícies del pistó gran i del petit, i per P i p les pressions respectives que produeixen l'equilibri, tindrem

$$\frac{P}{p} = \frac{S}{s}$$

proporció que permet calcular qualsevol de les quantitats que hi entren quan es coneixen les altres tres.

7. Suposem un cilindre (fig. 3) ple d'aigua, que té 4 obertures a, b, c i d proveïdes de pistons les superfícies dels quals són respectivament 300, 4, 30 i 15

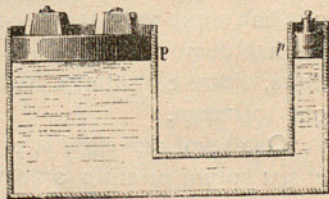


FIG. 2

centímetres quadrats. Si apremem el pistó *b* amb una força de 10 kg., l'esforç que caldrà fer-se sobre els pistons *a*, *c* i *d*, per conservar l'equilibri, en virtut del principi de Pascal, i aplicant la proporció del n.º 6, de la qual es dedueix

$$P = p \frac{S}{s}, \text{ serà } 10 \times \frac{300}{4} = 750 \text{ kg en el pistó } a,$$

$$10 \times \frac{30}{4} = 75 \text{ kg en el pistó } c \text{ i } 10 \times \frac{15}{4} = 37.5 \text{ kg en el pistó } d.$$

Problema. Calcular la pressió que caldrà exercir sobre els pistons *b*, *c* i *d* de la fig. 3, quan en el *a* hi ha una pressió de 300 kg suposant que les

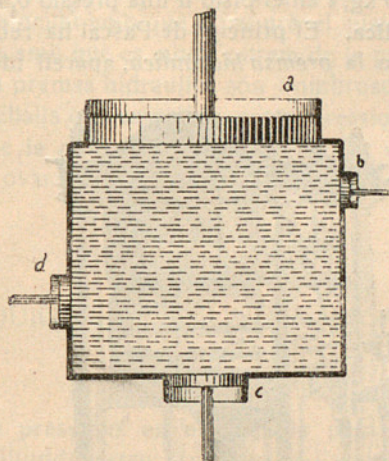


FIG. 3

seccions són dobles de les indicades abans.

Resolució. De la proporció del n.º 6 es dedueix $p = P \frac{s}{S}$

i aplicant aquesta fórmula a cada parell de pistons *a*, *b*; *a*, *c* i *a*, *d* tindrem per al pistó *b* una pressió

$$p = P \frac{s}{S} = 300 \times \frac{8}{600} = 4 \text{ kg}$$

per al pistó *c*, $p = 300 \times \frac{60}{600} = 30 \text{ kg}$ i per al pistó *d*, $p = 300 \times \frac{30}{600} = 15 \text{ kg}$

8. En lloc de considerar la pressió total exercida sobre el pistó, podem

determinar la pressió per unitat de superfície (per centímetre quadrat, per exemple), i llavors cal procedir de la manera següent: En el problema anterior havem vist que en el pistó *a* s'exerceix una pressió de 300 kg., com que la seva superfície és de 600 cm² és evident que a cada centímetre quadrat li correspondrà una pressió de

$$\frac{300}{600} = 0,5 \text{ kg}$$

i com que aquesta pressió es transmet íntegra sobre cada centímetre quadrat de la superfície de cada un dels pistons *b*, *c* i *d*, tindrem en el pistó *b* (la superfície del qual és de 8 cm²) una pressió $0,5 \times 8 = 4$ kg, en el pistó *C* una pressió $0,5 \times 60 = 30$ kg; i en el pistó *d* una pressió $0,5 \times 30 = 15$ kg.

9. Premsa hidràulica. El principi de Pascal ha rebut en la pràctica una important aplicació en la *premsa hidràulica*, aparell ideat pel mateix Pascal,

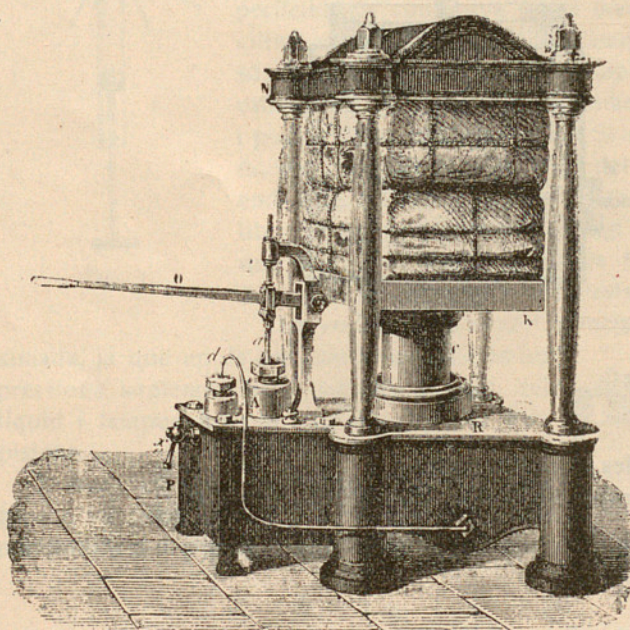


FIG. 4

però construït posteriorment a ell, del qual dóna una idea la figura 4. Consisteix aquest aparell, que és tot ell de ferro fos, i permet exercir pressions enormes, en un cos de bomba *R* de gran diàmetre i parets molt resistents, en l'interior del qual es mou un pistó *C* amb frotament molt suau. Aquest pistó porta en la part superior una placa *K* que puja i baixa amb ell, guiada per quatre columnes que sostenen una placa *MN* fixa. Entre ambdues plaques es col·loca el cos que es vol premsar, i la pressió s'obté mitjançant una *bomba d'injecció* *A* que aspira l'aigua d'un dipòsit *P*, i la injecta en el cilindre *R* mitjançant la palanca *O*. Quan el pistó *a* puja,

però construït posteriorment a ell, del qual dóna una idea la figura 4. Consisteix aquest aparell, que és tot ell de ferro fos, i permet exercir pressions enormes, en un cos de bomba *R* de gran diàmetre i parets molt resistents, en l'interior del qual es mou un pistó *C* amb frotament molt suau. Aquest pistó porta en la part superior una placa *K* que puja i baixa amb ell, guiada per quatre columnes que sostenen una placa *MN* fixa. Entre ambdues plaques es col·loca el cos que es vol premsar, i la pressió s'obté mitjançant una *bomba d'injecció* *A* que aspira l'aigua d'un dipòsit *P*, i la injecta en el cilindre *R* mitjançant la palanca *O*. Quan el pistó *a* puja,

s'introdueix una certa quantitat d'aigua en el cos de la bomba *A*, i quan baixa passa pel tub *d* al cos de bomba *R*.

La pressió que pot obtenir-se mitjançant una premsa hidràulica depèn de la relació de les seccions dels pistons *C* i *a*. Si la primera és 100 vegades la segona, la pressió exercida de baix a dalt pel pistó *C* és 100 vegades la aplicada al pistó *a*. Demés, es guanya també força mitjançant la palanca *O*. Si el braç de palanca de la potència és 5 vegades el de la resistència, l'esforç obtingut en *C* serà 5 vegades l'anterior. Si per exemple, s'exerceix sobre la palanca una pressió de 30 kg, la pressió sobre el pistó *a* serà $30 \times 5 = 150$ kg, i la transmesa pel pistó *C* serà $150 \times 100 = 15000$ kg.

Però en virtut del principi de Mecànica que *ço que es guanya en força es perd en temps*, la velocitat amb què es mourà el pistó *C* serà 500 vegades més petita que aquella amb què es mou l'extrem de la palanca *O*.

10. Els usos de la premsa hidràulica són nombrosos, i aquest aparell és usat en tots aquells treballs que exigeixen grans pressions, com, per exemple, per extreure el suc de la remolatxa, l'oli dels grans oleaginosos, etc., i és utilitzat, també, per provar les calderes de vapor.

EQUILIBRI DELS LÍQUIDS PESATS

11. **Existència de pressions en els líquids pesats en equilibri.** Com tots els cossos, els líquids estan sotmesos a l'acció de la gravetat i per consegüent són cossos pesants; però en hidrostàtica són designats especialment amb la denominació de *líquids pesants* els líquids que no estan sotmesos a altres forces que les produïdes per la gravetat.

En un líquid pesant en equilibri, el pes de les seves molècules és suficient per crear pressions que es transmeten en tots sentits, ja sigui en l'interior de la massa del líquid o sobre les parets del vas on està contingut.

La pressió vertical de dalt a baix resulta directament de la suma dels pesos de les molècules i pot demostrar-se fàcilment mitjançant un tub de vidre tancat per l'extrem inferior amb una placa mòbil que pugui obrir-se de dalt a baix, la qual s'obrirà quan la quantitat de líquid que s'hagi tirat en el tub sigui suficient.

12. La pressió que les capes superiors d'un líquid exerceixen sobre les inferiors produeix en aquestes una reacció o pressió de baix a dalt que pot ésser demostrada amb l'experiment següent: *A* (fig. 5) és un tub de vidre obert

pels dos extrems. La vora inferior del qual, que és esmerilada, porta un obturador de vidre també esmerilat que tanca hermèticament i es manté aplicat contra el tub mitjançant un fil prim fixat a son centre. Introduint

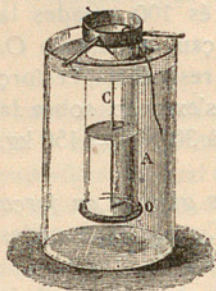


FIG. 5

l'aparell en l'aigua i soltant el fil resulta que, quan el fons del tub és prou enfonsat, l'obturador es manté aplicat contra el tub, ço que demostra que sofreix de baix a dalt una pressió superior al seu propi pes. Per apreciar, encara que d'una manera grollera, la valor d'aquesta pressió, bastarà col·locar pesos sobre l'obturador fins que aquest es desprengui del tub.

De la mateixa manera es demostraria l'existència de pressions oblíquies, aplicant l'obturador a tubs la vora inferior dels quals estigués orientada en una direcció qualsevol.

13. *La diferència de pressions en dos punts qualsevol d'un líquid pesant en equilibri és igual al pes d'una columna del dit líquid que té per base la unitat de superfície i per altura la distància vertical entre aquests dos punts.*

Aquesta llei, que és el fonament de la teoria de l'equilibri dels líquids pesants, pot ésser demostrada aplicant l'àlgebra superior, i condueix a les següents conseqüències:

1.^a *La pressió té d'ésser una mateixa en tots els punts d'un mateix pla horitzontal pres a un nivell qualsevol del líquid.*

2.^a *La superfície lliure del líquid és plana i horitzontal.*

Per superfície lliure d'un líquid s'entén la superfície superior.

14. *Pressions sobre el fons pla i horitzontal d'un vas.* En un líquid pesat

en equilibri, les pressions sobre el fons pla i horitzontal del vas tenen una resultant vertical de baix a dalt, igual al pes d'una columna líquida que té per base el fons i per altura la distància entre aquest i la superfície lliure.

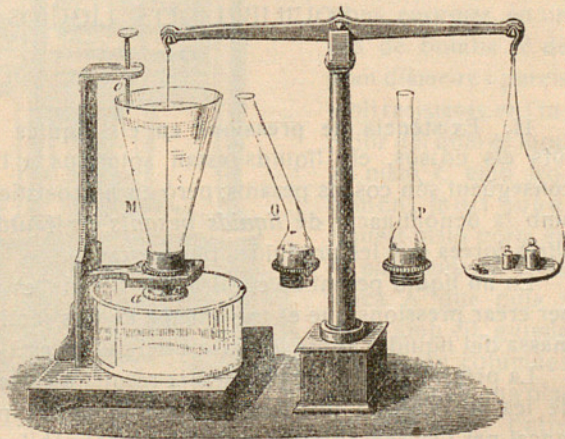


FIG. 6

Aquest principi és rigurosament exacte només quan el líquid és col·locat en el buit, perquè en els casos ordinaris en què es troba en l'aire o altres gasos, la seva superfície lliure és sotmesa a una pressió, i és precis afegir al pes de la columna líquida la pressió exercida pel gas sobre una porció de superfície igual a la del fons del vas.

15. La proposició anterior es demostra experimentalment mitjançant l'aparell de Masson (fig. 6). L'aigua continguda en el vas *M*, la base del qual porta una embocadura metàl·lica roscada a un suport, descansa sobre un obturador mòbil sostingut per un fil d'un dels braços d'una balança. En el platet de l'altre braç, s'hi col·loquen pesos fins a equilibrar la pressió exercida pel líquid sobre l'obturador. Si buidem el vas *M* i el substituïm pel tub més estret *P* ple d'aigua a la mateixa altura que abans ço que es coneix per l'índex *O*, observem que per sostenir l'obturador cal col·locar en el platet el mateix pes que en el primer experiment, i el mateix resultat obtindrem si usem el tub oblic *Q*.

16. De l'experiment anterior resulta que amb una quantitat molt petita de líquid poden ésser produïdes pressions enormes. Per això cal únicament fixar a la paret d'un recipient tancat ple d'aigua un tub de petit diàmetre i gran altura. Quan s'omple aquest d'aigua, la pressió transmesa a les parets del recipient és igual al pes d'una columna

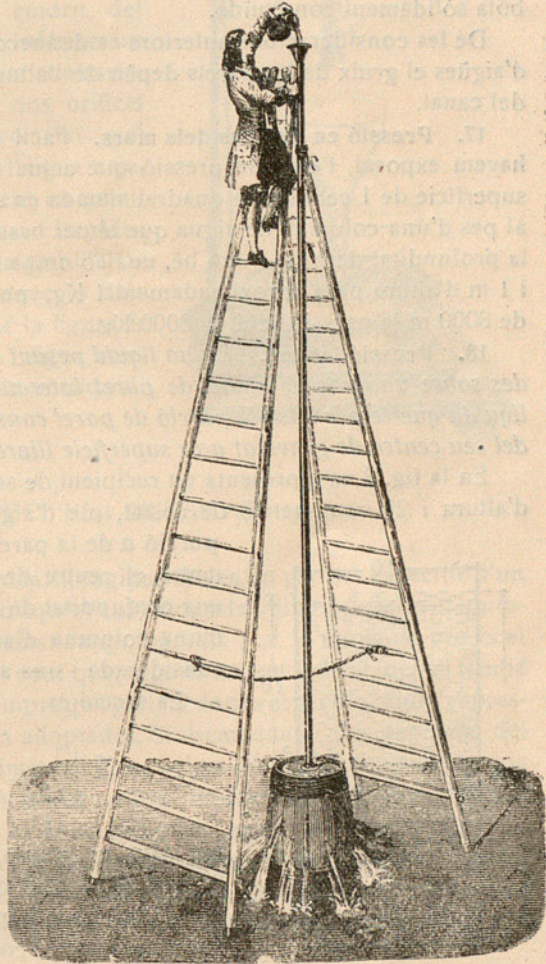


FIG. 7

d'aigua que té per base aquesta paret i per altura la del tub. La fig. 7 representa l'aparell usat per Pascal per a la demostració d'aquest fet. Mitjançant un tub de diàmetre molt petit i de 10 metres d'altura va fer reventar una bóta sòlidament construïda.

De les consideracions anteriors es dedueix que en tot canal de conducció d'aigües el gruix de les parets depèn de l'altura de l'aigua i no de l'amplada del canal.

17. Pressió en els fons dels mars. Fàcil és comprendre, després del que hem exposat, l'enorme pressió que actua en el fons dels mars. Per una superfície de 1 centímetre quadrat situada en el fons del mar la pressió és igual al pes d'una columna d'aigua que té per base 1 centímetre quadrat i per altura la profunditat del mar. Ara bè, una columna d'aigua salada de 1 cm² de secció i 1 m d'altura pesa aproximadament 1 Kg, per consegüent a una profunditat de 8000 m la pressió serà de 8000 Kg.

18. Pressió lateral. *En un líquid pesant en equilibri, la pressió exercides sobre una porció plana de paret lateral és igual al pes d'una columna líquida que té per base la porció de paret considerada i per altura la distància del seu centre de gravetat a la superfície lliure.*

En la fig. 8 es representa un recipient de secció quadrada de 40 centímetres d'altura i 20 centímetres de costat, ple d'aigua; la pressió que sofrirà una porció *a* de la paret lateral, de 2 centímetres de diàmetre, el centre de gravetat de la qual es troba a una profunditat de 20 centímetres, serà igual al pes d'una columna d'aigua que té per base la porció considerada i una altura de 20 centímetres.

La secció és

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 2^2}{4} = 3,14 \text{ cm}^2$$

per tant el volum d'aigua de la columna serà $3,14 \times 20 = 62,8 \text{ cm}^3$ o sigui $0,0628 \text{ dm}^3$ i com que 1 dm³ d'aigua pesa 1 Kg el pes o pressió que suporta la secció considerada serà de 0,0628 Kg. La pressió que actua sobre la part *b*, la secció de la qual és també de 3,14 cm² i el seu centre de gravetat es troba a $20 + 19 = 39 \text{ cm}$ de la superfície lliure

del aigua serà igual al pes d'una columna d'aigua de 3,14 cm² i 39 cm d'altura, o sigui al pes d'aigua de $3,14 \times 39 = 122,5 \text{ cm}^3$ o sigui $0,1225 \text{ dm}^3$ d'aigua, i per tant igual a 0,1225 Kg.

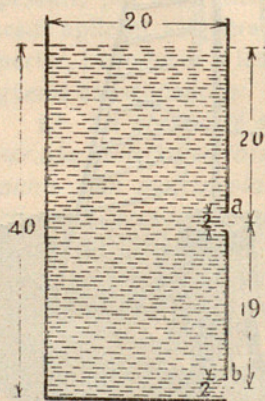


FIG. 8

19. La pressió lateral exercida pels líquids es demostra pràcticament amb l'experiment del ariet hidràulic, representat en la fig. 9, que consisteixen un vas *M* que pot girar lliurement a l'entorn del seu eix i porta en la seva part inferior un tub *C* colzat pels extrems en sentits contraris. Ple d'aigua l'aparell i tancats els dos orificis de sortida, queda in mòbil, però així que s'obren els extrems dels tubs i l'aigua raja, adquireix un moviment de rotació en sentit contrari al de la sortida de l'aigua. La velocitat d'aquest moviment augmenta amb l'altura del líquid del vas *M* i amb la secció dels orificis de sortida. A la dreta de la figura és indicada la pressió que exerceix l'aigua contra la paret oposada a l'orifici de sortida *A*, causa del moviment del vas.

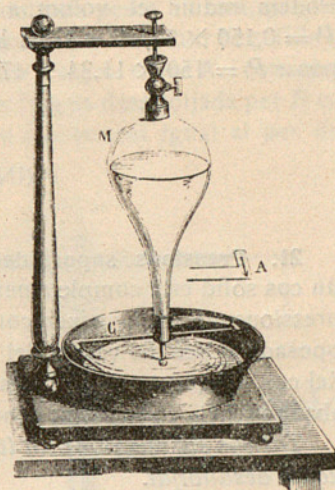


FIG. 9

PES ESPECÍFIC I DENSITAT

20. Segons havem dit (Mecànica III, pàgina 42) s'en'én per pes específic d'un cos el pes de la unitat de volum d'aquest cos; així, si la unitat de pes és el quilogram el pes específic estarà expressat en quilograms i si la unitat de pes és el gram, estarà expressat en grams, i com que, segons havem indicat, depèn també de la unitat de volum adoptada, sempre que parlem de pes específic caldrà expressar les unitats de pes i de volum adoptades. Si diem que el pes específic del mercuri és de 13,596 Kg per decímetre cúbic, volem dir que 1 decímetre cúbic de mercuri pesa 13,596 Kg, però també podem dir que és de 13596 grams per decímetre cúbic, com també que és de 13,596 grams per centímetre cúbic.

Per evitar la necessitat d'haver d'indicar cada vegada les unitats de pes i de volum adoptades, considerem amb preferència la *densitat* dels cossos, que és la relació entre el pes del cos i el d'un volum igual d'aigua destil·lada i a la temperatura de 4°C sobre zero.

El pes *P* d'un cos que té un volum de *v* decímetres cúbics i la seva densitat és *d*, serà per consegüent

$$P = v d \quad (\text{Kg})$$

Quan el volum de cos no és expressat en decímetres cúbics podrà reduir-se a aquesta unitat o bé procedir de la manera següent. Per exemple, calcular

el pes de 150 cm^3 de plom sabent que la densitat d'aquest metall és 11,34. Podem reduir el volum a dm^3 i aplicar la fórmula anterior, i tindrem $P = 0,150 \times 11,34 = 1,701 \text{ Kg}$ o bé, com que 1 cm^3 d'aigua pesa 1 gram, posar $P = 150 \times 11,34 = 1701 \text{ gr.}$ equivalents a $1,701 \text{ Kg.}$ com anteriorment.

PRINCIPI D'ARQUÍMEDES

21. Pressions suportades per un cos submergit en un líquid. Quan un cos sòlid està completament submergit en un líquid pesat en equilibri, les pressions que s'exerceixen contra la seva superfície tenen una resultant igual i oposada al pes del volum del líquid desallotjat, aplicada al centre de gravetat del cos. Aquest principi, descobert per Arquímedes, de Siracusa, el segle III abans de J.C., és enunciat generalment així:

Tot cos submergit en un líquid perd una part del seu pes igual al pes del líquid desallotjat.

Aquest principi pot ésser demostrat de dues maneres, pel raciocini i pràcticament. Per la demostració a priori considerem en una massa líquida en equilibri, una porció qualsevol d'ella i suposem-la solidificada sense augment ni disminució de volum, Fig. 10. Es evident que aquesta porció solidificada

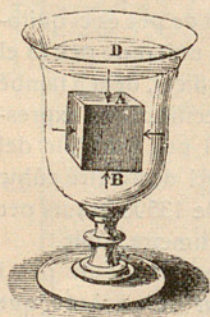


FIG. 10

estarà sotmesa per part del líquid a les mateixes pressions que abans i que, per consegüent continuarà estant un equilibri i això no pot tenir lloc sinó sofrint de baix a dalt una pressió igual al seu pes. Ara bé, si en lloc de la part solidificada imaginem un cos d'una substància qualsevol, exactament del mateix volum i forma, estarà sotmès a les mateixes pressions a què ho estava el líquid solidificat i sofrirà per tant una empenta de baix a dalt igual al pes del líquid desallotjat.

Demostració experimental. La demostració pràctica del principi d'Arquímedes s'efectua mitjançant la *balança hidrostàtica* representada en la fig. 11, que consisteix en una balança ordinària, els platets de la qual van proveïts d'un ganxo en la part inferior; el travessar pot fer-se pujar i baixar mitjançant una cremallera moguda per un pinyó C, i pot quedar a la altura convenient per mitjà d'un gallet D. Quan el braç de la balança és en la seva posició alta se suspèn d'un dels seus platets un vas cilíndric A i dessota d'aquest un cilindre massís B d'un volum exactament igual al buid del vas A. Això fet, col·loquem pesos en l'altra platet fins a arribar a l'equilibri. Ara bé,

si fem baixar el braç fins que el cilindre *B* quedi completament submergit en l'aigua d'un vas col·locat sota d'ell, el platet que conté els pesos baixarà, ço que demostra que el cilindre *B* pesa menys que abans, i per restablir l'equilibri, quedant sempre submergit el cilindre *B*, cal omplir d'aigua el vas *A*, i com que el pes de l'aigua afeixida és exactament igual al de l'aigua desallotjada per *B* es demostra que la pèrdua de pes del cilindre *B* és exactament igual al pes de l'aigua desallotjada per ell.

22. Del principi d'Arquímedes es dedueix que tot cos submergit en un líquid més dens que ell *flotarà* és a dir que quan quedarà en equilibri estarà parcialment submergit i llavors tindrem que el pes del cos i el del volum de líquid desallotjat seran iguals. Si el cos submergit té major densitat que el líquid, anirà a fons i si té la mateixa densitat quedarà estacionari en qualsevol posició, estant tot ell submergit.

23. **Determinació del volum d'un cos.** El principi d'Arquímedes proporciona un medi molt senzill per obtenir el volum d'un cos de la forma

més irregular mentre no sigui soluble en l'aigua ni la absorbeixi. Per això se suspèn el cos, mitjançant un fil, d'un dels platets d'una balança hidostàtica, es pesa en l'aire i en l'aigua destil·lada, a la temperatura de 4°C i la diferència d'ambdós pesos és el pes de l'aigua desallotjada. Ara bé, com que coneixent el pes d'un cert volum d'aigua coneixem aquest volum ja que 1 cm³ d'aigua pesa 1 g, o bé 1 litre pesa 1 Kg el volum del cos quedarà determinat.

Exemple. Un cos pesa 250 Kg en el aire i 180 Kg en l'aigua; quin serà el seu volum?

Resolució. La diferència dels dos pesos es $250 - 180 = 70$ Kg. Aquesta diferència és el pes d'un volum d'aigua igual al volum del cos; com que

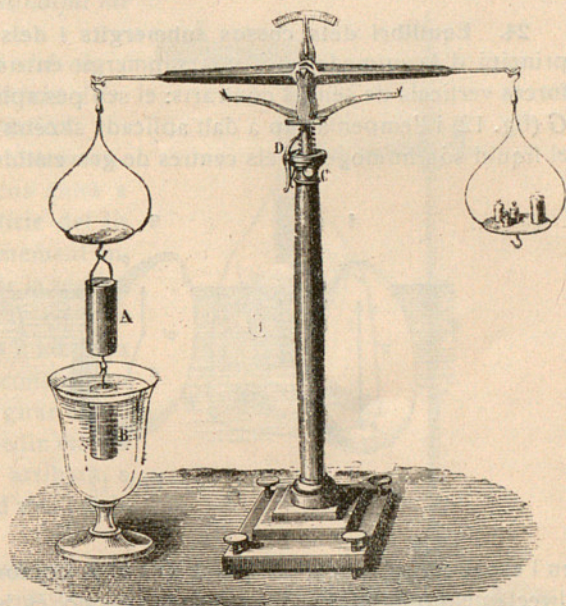


FIG. 11

70 Kg. corresponen a 70 dm³ de aigua aquest serà el volum del cos.

Si la temperatura de l'aigua no fos la de 4°C. caldrà fer una petita correcció. Designant per d la densitat de l'aigua a la temperatura que es troba, per p seu pes (donat per l'experiment) i per v el seu volum, tindrem

$$p = vd \quad \text{d'on } v = \frac{p}{d}$$

24. Equilibri dels cossos submergits i dels cossos flotants. Segons el principi d'Arquimedes, tot cos submergit en un líquid està sotmès a dues forces verticals de sentits contraris: el seu pes aplicat al seu centre de gravetat G (fig. 12) i l'empenta cap a dalt aplicada al centre de pressió G' . Si el cos i el líquid són homogenis, els centres de gravetat del volum comú que ocupen

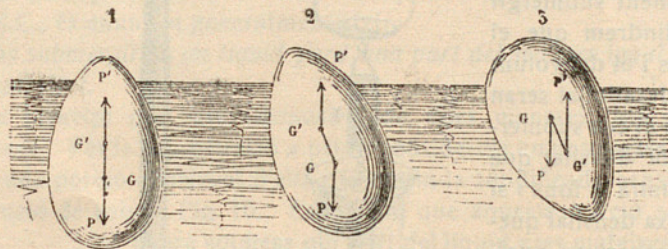


FIG. 12

en l'espai coincideixen, els punts G i G' es confonen i les forces P i P' són directament oposades. Si un dels cossos no és homogeni, ço que és el més freqüent, els dos punts G i G' són perfectament distints. Les demes forces P i P' són paral·leles i de sentits contraris i tindran sempre una resultant igual a la diferència $P - P'$.

Podem considerar tres casos:

1er. $P > P'$. En aquest cas, el cos cau a fons amb un moviment uniformement accelerat en virtut de la força constant $P - P'$. Aquest experiment pot ésser realitzat amb un ou que es col·loca en un vas ple d'aigua pura.

2n. $P = P'$. El cos resta en equilibri, sempre que estigui orientat de manera que les dues forces iguals siguin directament oposades. Si col·loquem un ou en un vas ple d'una dissolució convenient de sal amb aigua quedarà en equilibri.

3er. $P < P'$. El cos puja cap a la superfície de l'aigua amb un moviment uniformement accelerat en virtut de la força $P - P'$. Quan el cos queda en

equilibri, sobresurt de l'aigua i tenim $P' = P$. En aquest cas el cos *flota*, constituint un *cos flotant en equilibri*. Aquest experiment es realitza fàcilment posant un ou en un vas ple d'aigua saturada de sal. Tots els cossos més lleugers que l'aigua floten. Un tros de ferro cau immediatament al fons d'un vas ple d'aigua i flota en un bany de mercuri.

25. **Condicions d'equilibri dels cossos flotants.**—Perqué un cos flotant estigui en equilibri calen dues condicions:

1.^a *El pes del líquid desallotjat ha d'ésser igual al pes del cos.*

2.^a *El centre de gravetat del cos i el centre de pressió del líquid han d'ésser situats en una mateixa vertical.*

Si la primera d'aquestes dues condicions no és satisfeta, el cos anirà a fons o anirà cap a la superfície del líquid amb moviment uniformement accelerat. Si deixa de complir-se la segona (tot complint-se la primera) ço que tindrà lloc en les posicions 2 i 3 de la figura 12, les forces P i P' construiran un parell de forces que farà girar el cos fins que els centres G i G' quedin en una mateixa vertical, i el cos arribarà a aquesta posició després d'una sèrie d'oscil·lacions.

26. **Natació.** El cos humà té una densitat molt aproximadament igual a la de l'aigua, de manera que pot nedar molt fàcilment. La única dificultat consisteix en poder mantenir el cap fora de l'aigua a fi de poder respirar. El cap de l'home és respecte al restant del cos, més dens que en els quadrúpedes, per això és que aquell deu *aprendre* de nedar i els altres neden naturalment.

27. **Recíproc del principi d'Arquímedes.** *Tot cos submergit en un líquid pesant en equilibri exerceix sobre aquest una pressió vertical de dalt a baix igual al pes del volum del líquid desallotjat.*

Aquest fet es demostra amb facilitat modificant lleugerament l'experiment del principi d'Arquímedes. Coloquem el vas ple d'aigua en el platet d'una balança i equilibrem-lo mitjançant pesos en l'altre platet. Suspenguem el siste-

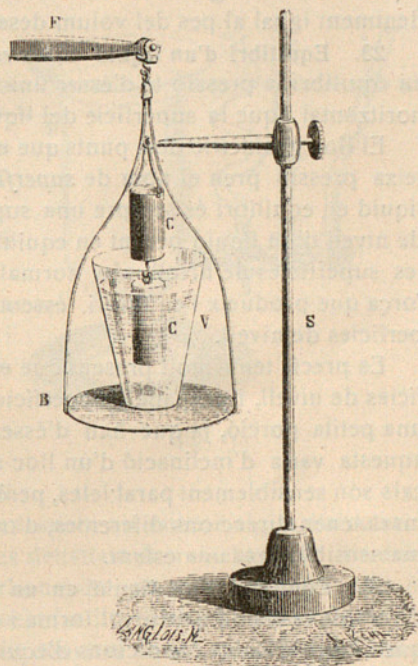


FIG. 13.

ma dels dos cilindres, l'un buit i l'altre ple, d'un punt fix com veiem en la fig. 13.

Fent pujar el braç de la balança fins que el cilindre massís C (col·locat dessota del ple C') quedi submergit en l'aigua, l'equilibri es destrueix i per restablir-lo cal omplir el cilindre buit amb aigua presa del vas.

L'explicació d'aquest fet és senzilla: quan s'introdueix un cos sòlid en un líquid, el nivell superior d'aquest puja; la resultant de las pressions sobre les parets del vas augmenta doncs de la mateixa quantitat que si s'hagués afegit al líquid un volum igual al volum desallotjat: aquest augment de pressió és evidentment igual al pes del volum desallotjat.

28. Equilibri d'un líquid en un vas. Havem vist que quan un líquid està en equilibri la pressió té d'ésser una mateixa en tots els punts d'un mateix pla horitzontal i que la superfície del líquid té d'ésser plana i horitzontal.

El lloc geomètric dels punts que en un líquid en equilibri suporten una mateixa pressió pren el nom de *superfície de nivell*. La superfície lliure d'un líquid en equilibri és sempre una superfície de nivell. Demés, les superfícies de nivell d'un líquid pesant en equilibri són plans horitzontals. En aquest cas les superfícies de nivell són normals a la vertical, és a dir a la direcció de la força que produeix l'equilibri, éssent aquesta una propietat general de les superfícies de nivell.

Es precis tenir molt present que en un líquid pesant en equilibri, les superfícies de nivell, i per tant la superfície lliure, no poden ésser planes més que en una petita porció, ja que han d'ésser sempre perpendiculars a la vertical t aquesta varia d'inclinació d'un lloc a l'altre. En una extensió petita les verticals són sensiblement paral·leles, però en una extensió considerable com la dels mars tenen direccions diferents, d'on resulta que la superfície d'aquestes forma sensiblement una esfera.

29. Equilibri d'un líquid en un sistema de vasos comunicants. Quan diversos vasos de qualsevol forma i que continguin un mateix líquid comuniquen entre ells, les condicions d'equilibri són les següents:

1.^a i 2.^a *En cada vas deuen complir-se les condicions exposades en el n.º 28.* 3.^a *La superfície lliure dels líquids dels diferents vasos estan situades en un mateix pla horitzontal.*

Les dues primeres condicions s'apliquen necessàriament al cas de vasos comunicants, ja que són corol·laris del principi fundamental. La tercera condició es demostra experimentalment mitjançant l'aparell representat en la figura 14, que consisteix en una copa *D* proveïda d'un tub *m n* on estan fixats diversos tubs *A, B, C* de qualsevol forma y comunicant tots ells entre sí i amb la copa *D*.

Si s'omple la copa d'aigua aquesta tindrà un mateix nivell tant en els tubs com en la copa.

30. Equilibri dels líquids superposats. Quan diversos líquids que no poden barrejar-se ni reaccionar químicament estan continguts en un mateix vas, les condicions d'equilibri són:

1.^a i 2.^a Cada un d'ells satisfà les condicions necessàries en el cas d'un sol líquid (n.º 28). 3.^a Els líquids es superposen per ordre de densitats decreixents de baix a dalt. 4.^a Les superfícies de separació dels líquids són horitzontals.

Les condicions d'equilibri de cada un dels líquids són evidents i la tercera és una conseqüència del principi d'Arquímedes i de l'equilibri dels cossos submergits, essent evident que una gota d'un líquid pesat, com el mercuri, per exemple, col·locat en un líquid menys dens, tal com l'aigua, anirà necessàriament a fons, mentre que una gota d'un líquid lleuger, com l'oli, flotarà a la superfície d'un líquid més dens, com l'aigua.

La demostració experimental d'aquesta condició es realitza mitjançant un vas on i posem mercuri, aigua saturada de carbonat de potassi, alcohol tenyit de vermell i oli de nafta. Si sacsegem el vas, els líquids es barregen, però quan el deixem en repòs, el mercuri que és el més dens va al

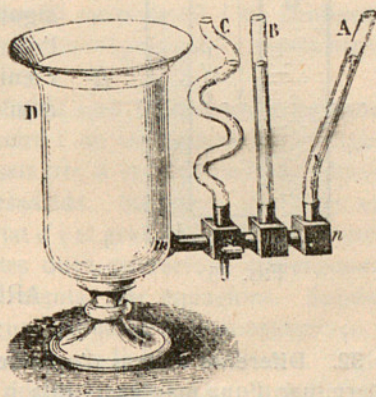


FIG. 14

fons i al damunt del mercuri es dipositen successivament l'aigua, l'alcohol i l'oli de nafta, essent aquest ordre el de les densitats decreixents dels diferents líquids. L'ús de l'aigua saturada de carbonat de potassi té per objecte fer-la insoluble en l'alcohol, i la coloració d'aquest facilita distingir-lo de l'aigua.

31. Equilibri de dos líquids de diferent densitat en dos vasos comunicants. Quan dos líquids de diferent densitat que no es puguin barrejar ni tinguin reacció química entre ells estan continguts en dos vasos comunicants, és precís, perquè estiguin en equilibri: 1.^{er}, 2.^{on}, 3.^{er} i 4.^{rt} que satisfacin les condicions d'equilibri d'un sol líquid en vasos comunicants i a la de dos líquids superposats en un vas; 5.^a, que les altures de les dues superfícies lliures sobre la superfície comuna de separació estiguin en raó inversa de les densitats dels dos líquids.

Aquesta condició, que pot comprobar-se experimentalment d'una manera molt sencilla, es demostra de la manera següent: Siguin (fig. 15) d i d' les densitats dels dos líquids i h i h' les altures de les dues superfícies lliures sobre el pla AA' de separació. La pressió és la mateixa en tots els punts d'aquest

pla; en la branca A serà proporcional a hd fent abstracció de la pressió, i en la branca A' o serà $h'd'$, d'on

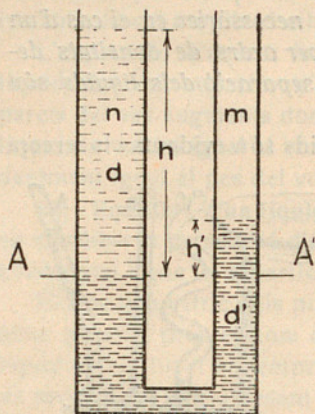


FIG. 15

$$hd = h'd'; \quad \frac{h}{h'} = \frac{d'}{d}$$

Aquest principi pot servir per determinar la densitat d'un líquid, en efecte, suposem que una de les branques del tub conté aigua i l'altre oli, siguin 45 cm. l'altura de l'aigua i 50 cm. la de l'oli, tindrem, en virtut de la proporció anterior, i tenint present que la densitat de l'aigua es pren com a unitat,

$$\frac{45}{50} = \frac{d}{1}; \quad \text{d'on } d = \frac{45}{50} = 0,9$$

AREOMETRES

32. Diferents classes d'areòmetres. *Areòmetre* és un aparell destinat a determinar d'una manera ràpida i suficientment aproximada la densitat dels líquids i de certs sòlids. Els dos tipus més importants són el de *Baumé* i el de *Nicholson*. El primer és anomenat de *pes constant* i el segon, de *volum constant*.

L'areòmetre de Baumé representat en la fig. 16 consisteix en un flotador de vidre format per un tub AB que porta una bola plena d'aire, a la qual va soldada una altra bola més petita que conté mercuri per servir de llastre.

Quan l'instrument ha de servir per a líquids més densos que l'aigua, és graduat el pes de manera que en l'aigua destil·lada i a 4°C s'enfonsi gairebé tot ell marcant amb zero el punt A que queda a flor de l'aigua. Per acabar la graduació es fa una dissolució de 85 parts en pes d'aigua i 15 de sal marina. Essent aquesta dissolució més densa que l'aigua pura, l'instrument s'hi enfonsarà solament fins a un punt B que és marcat amb el nombre 15. Es divideix l'espai AB en 15 parts iguals i es continuen les graduacions fins al capdavall del tub. Aquestes divisions estan marcades en una tira de paper enganxada a l'interior del tub. Així graduat, aquest areòmetre serveix únicament per als

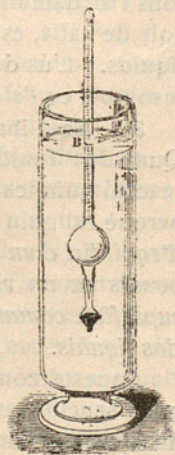


FIG. 16

líquids més densos que l'aigua com els àcids i les dissolucions salines, i per això són anomenats *pesaàcids* i *pesasals*.

Per utilitzar l'instrument amb líquids menys densos que l'aigua, el zero deurà trobar-se en la part baixa del tub, de manera que la graduació serà invertida. El zero correspon al punt del tub que queda a flor en una dissolució de 90 parts en pes d'aigua destil·lada i 10 parts de sal marina i es marca 10 el punt que queda a flor en l'aigua destil·lada. Aquest últim punt està situat necessàriament sobre l'anterior ja que l'aigua pura és menys densa que la dissolució salina. L'espai entre els dos punts es divideix en 10 parts igual i es continua la graduació fins al cap d'amunt del tub. L'instrument graduat d'aquesta manera és conegut amb el nom de *pesallicors*.

33. Determinació de la densitat d'un líquid amb el areòmetre de Baumé. Per això cal conèixer el pes de l'areòmetre i de les densitats de l'aigua a t^o i de la dissolució salina que han estat usats per a la graduació de l'aparell.

Sigui, per exemple, P el pes d'un pesaàcids. Suposem que hagi estat determinat el zero amb aigua a t^o de densitat d i el grau 15^o amb una dissolució de sal marina de densitat D . Aquestes dues operacions corresponen a dues posicions d'equilibri que podem representar per equacions. Suposem que l'instrument està dividit en parts d'igual capacitat que constitueixen els graus des del cap d'amunt del tub a la part baixa de la bola de llastre. Sigui v la capacitat o volum d'un grau i N el seu nombre total. El volum de l'areòmetre serà Nv .

Quan l'areòmetre està submergit en l'aigua pura a t^o , l'equilibri dóna l'equació

$$Nvd = P$$

L'equilibri en la dissolució salina dóna

$$(N - 15)vD = P$$

Aquestes dues equacions determinen N i v . Si col·loquem l'instrument en un líquid la densitat del qual sigui x i suposem que la divisió n queda a flor quan s'estableix l'equilibri, tindrem

$$(N - n)vx = P$$

d'on

$$x = \frac{P}{(N - n)v}$$

34. L'areòmetre de Nicholson consisteix en un cilindre buit de llaua

(figura 17), en el qual hi ha suspès un con ple de plom que té per objecte llastrar l'aparell a fi que l'equilibri sigui estable. L'aparell termina en la part superior en una tija que porta un platet *A* destinat a rebre els pesos i el cos, la densitat del qual volem conèixer. Finalment, en la tija es marca el punt *o* per conèixer que l'aparell s'enfonsa sempre a una mateixa profunditat.

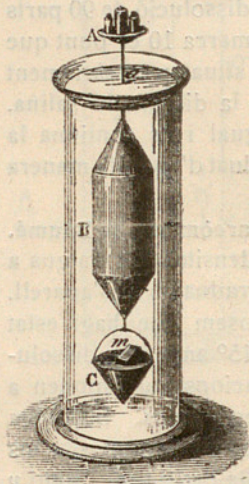


FIG. 17

Per determinar la densitat d'un cos, col·locarem aquest en el platet i hi afegirem pes fins que el punt *o* quedi a flor d'aigua. Després substituïrem el cos per un pes *P* igual al del cos, de manera que el punt *o* torni a coincidir amb la superfície de l'aigua. Resta trobar el pes d'un volum d'aigua igual; per això traiem l'areòmetre i es posa el cos en el con inferior *C* en *m*. El pes total no ha variat i no obstant el punt *o* no coincideix amb el nivell de l'aigua, per efecte de la pèrdua de pes del cos sòlid dins de l'aigua. Si afegim ara un pes *P'* en el platet superior fins que el punt *o* torni a quedar a flor, tindrem el pes del volum d'aigua desallotjat. Dividint *P* per *P'* obtindrem la densitat buscada

$$D = \frac{P}{P'}$$

Es evident que aquest procediment és aplicat únicament als cossos insolubles en l'aigua. Si el cos és més lleuger que l'aigua, caldrà subjectar-lo mitjançant un reixat de filferro que formi part de l'aparell.

APLICACIONS DIVERSES

35. Nivell d'aigua. El *nivell d'aigua* és una aplicació de les condicions d'equilibri d'un líquid contingut en dos vasos comunicants. Consisteix aquest aparell en un tub de llauna o de llautó proveït d'un colze en cada extrem, als quals colzes s'adapten dos tubs verticals de vidre *D* i *E*. Per utilitzar aquest aparell col·locarem el tub, muntat en un trípode, aproximadament horitzontal, i hi tirarem aigua tenyida fins que aquesta arribi poc més o menys a la meitat dels tubs verticals. Quan l'aigua està en equilibri, les dues superfícies lliures *D* i *E* del líquid es troben en un pla horitzontal.

Aquest instrument serveix per *nivellar*, és a dir, determinar la diferència d'altura de dos punts. Per exemple, per conèixer la diferència d'altura dels

punts A i B col·locarem en el primer punt una *mira*, la qual consisteix en una regla de fusta formada per dues tiges amb lliscament, que acaba en una placa de ferro anomenada *planxeta*. Col·locada la mira verticalment, l'observador, col·locat prop del nivell, dirigeix una visual tangent a les superfícies D i E a la mira, i fa senyal a l'ajudant que l'aixequi o l'abaixi fins que el centre de la planxeta coincideixi amb la visual D E. Transportant després la mira al punt B es repeteix l'operació. La distància entre les dues posicions de la mira fa conèixer la diferència d'altura dels punts A i B.

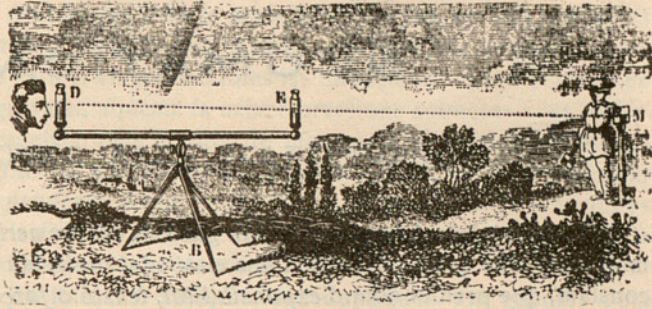


FIG. 18

Aquest procediment és sols aproximatiu, ja que el nivell determinat correspon a punts continguts en un pla paral·lel a la tangent a la terra suposada perfectament esfèrica. El *nivell veritable* seria el que correspon a punts igualment distants del centre de la terra, d'on resulta que aquest aparell sols pot utilitzar-se per petites distàncies.

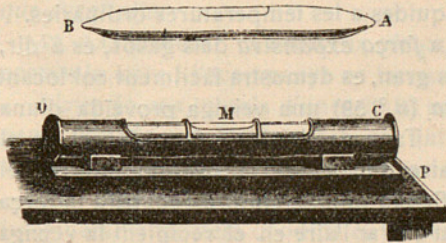


FIG. 19

36. **Nivell d'aire.** Aquest nivell, més sensible i més precís que l'anterior, consisteix en un tub de vidre fos (fig. 19) lleugerament corbat ple d'un líquid molt fluid com l'alcohol o l'èter, conservant-hi una petita bombolla d'aire, que tendeix a ocupar la part més alta del tub. Aquest tub, tancat pels extrems amb el soplet, està contingut en un tub de llautó obert per la part superior, fixat a una regla del mateix metall ben planejada, de manera que quan l'instrument descansa en un pla horitzontal, la bombolla d'aire s'atura exactament entre dues línies marcades en el tub de llautó.

Aquest aparell serveix per conèixer quan la superfície sobre la qual descansa és perfectament horitzontal.

2.^a PART

NEUMÀTICA

PROPIETATS DELS GASOS

37. Propietats dels gassos. Els *gasos* o *cossos aeriformes* són cossos les molècules dels quals posseeixen una elasticitat perfecta i estan en una repulsió constant, que pren el nom d'*expansibilitat*, *tensió* o *força elàstica*.

Fins fa poc temps, els gasos estaven classificats en *gasos permanents* i *gasos no permanents*; els primers no podien ésser liquidats i els segons com el vapor d'aigua, per exemple, podien ésser-ho refredant-los o sometent-los a una forta pressió. Però aquesta classificació ha tingut d'ésser abandonada tota vegada que l'oxígen, l'hidrogen, etc., han estat liquidats i fins solidificats per Cailletet i per Raoul Pictet.

S'entén per *gas* tota substància que en les condicions ordinàries de temperatura i de pressió se'ns presenta en estat aeriforme, i s'entén per *vapor* l'estat aeriforme que prenen, sota l'influència de la temperatura, les substàncies que, com l'aigua, l'alcohol, l'èter, etc., són líquides a les temperatures ordinàries.

38. Força expansiva dels gasos. La *força expansiva* dels gasos, és a dir, la seva tendència a ocupar un volum més gran, es demostra fàcilment col·locant en el recipient d'una *màquina neumàtica* (n.º 59) una veixiga proveïda d'una aixeta, que contingui una mica d'aire. Tancada l'aixeta i fent el buit en el recipient, es veu que a mesura que l'aire de fora de la veixiga s'enrareix el volum d'aquesta augmenta com si la inflessin bufant, ço que demostra la força expansiva del gas que conté. Si deixem entrar l'aire en el recipient la veixiga recobra el seu volum primitiu.

39. Pes dels gasos. Encara que extremadament fluids i sobre tot molt expansius, els gasos estan sotmesos a l'acció de la gravetat de la mateixa manera que els líquids i els sòlids. Per demostrar-ho pesarem una bola d'uns tres litres proveïda d'una aixeta que pot cargolar-se a la platina d'una màquina neumàtica, plena d'aire i després buida, i es veu que en el segon cas l'esfera pesa menys que en el primer i la diferència ha d'ésser precisament el pes de l'aire contingut en ella. Usant aquest procediment hom ha pogut comprovar

que 1 litre d'aire pur a la temperatura de 0°C i a la *pressió atmosfèrica* (n.º 44) pesa 1,293 gr 1 litre d'hidrogen (el gas més lleuger que es coneix) pesa 0,09 grams o sigui 14,5 vegades menys.

40. Pressions exercides pels gasos. Si considerem una massa gasosa en equilibri en un vas, i fem abstracció del seu pes, *les pressions degudes a la seva força elàstica es transmeten amb la mateixa intensitat en tots els punts de les parets i de la massa fluida*, ja que la força repulsiva que s'exerceix entre les molècules és igual en tots els punts i totes les direccions. Però si tenim en compte l'acció de la gravetat, aquesta fa néixer pressions sotmeses a les mateixes lleis que les que regeixen pels líquids, de manera que *creixen proporcionalment a la profunditat i a la densitat del gas; són iguals en un mateix pla horitzontal i són independents de la forma de la massa gasosa*. D'aquí es dedueix que la força elàstica del gas, que en cada punt és igual i contrària a la pressió que soporta, creix amb la profunditat.

41. Els principis de Pascal i d'Arquimedes s'apliquen als gasos. Tota vegada que el gasos transmeten les pressions seguint les mateixes lleis que els líquids, es preveu que, com aquests, deuen *estar sotmesos al principi de Pascal*, és a dir que han de transmetre les pressions en tots sentits, amb la mateixa intensitat, sobre les parets dels vasos que els contenen. Quan es comprimeix un gas en un vas tancat, diversos monòmetres fixats en diferents punts de les parets del vas indiquen una mateixa pressió.

Per un raonament semblant al que havem fet pels líquids, es reconeix que el principi d'Arquimedes és també aplicable als gasos, és a dir, que *tot cos submergit en un gas suporta de baix a dalt una pressió igual al pes del gas que desallotja*.

42. Atmósfera. S'anomena *atmosfera* la capa d'aire que envolta per tots costats la terra i l'acompanya en la seva marxa per l'espai.

L'aire és una mescla d'unes 20,80 parts, en volum, d'oxigen i 79,20 de nitrogen. No són aquests dos gasos els únics que es troben en l'aire, hi ha, demés, vapor d'aigua, àcid carbònic, amoníac i àcid nítric.

43. Pressió de l'atmosfera. Com que l'aire és pesant, es compren que si imaginem l'atmosfera dividida en capes horitzontals, les superiors fan pressió a les inferiors i les comprimeixen, d'on resulta que al nivell de terra l'aire és més dens que en les parts altes. L'altura de l'atmosfera no és il·limitada com algú podria creure, considerant la seva força expansiva, sinó que té una altura determinada, encara que no s'ha pogut calcular amb exactitud; sembla, però que és de 320 a 340 km.

Havem vist que un litre d'aire pesa 1.293 gr, d'on resulta que la atmosfera ha d'exercir una pressió considerable a la superfície de la terra, ço que es demostra de diferents maneres: Si en la platina de la màquina neumàtica

col·loquem un vas de vidre sense fons i tapat per la part superior amb una membrana (fig. 20), quan es fa el buit, la membrana es deprimeix i no triga a reventar-se per efecte de la pressió atmosfèrica.

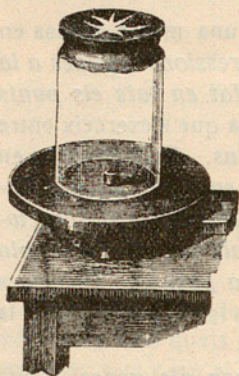


FIG. 20

Quan xuquem el líquid d'un vas, mitjançant una palla, el líquid puja pel tub en virtut de la pressió atmosfèrica.

44. Experiment de Torricelli. Si prenem (com va fer Torricelli l'any 1643) un tub de vidre de 80 centímetres de llarg i d'un diàmetre interior de 6 o 7 mil·límetres tancat per un extrem (fig. 21) i una vegada ple de mercuri i en posició vertical, tapem amb el dit l'extrem obert, invertim el tub i fem l'extrem inferior en una bujola de mercuri, retirant el dit i s'observa que la columna de mercuri s'abaixa i queda a una altura *AB* d'uns 76 cm. sobre el nivell del mercuri de la bujola.

Torricelli, no content amb aquest curiós experiment, té el mèrit d'haver-ne donat l'explicació. Contràriament a les opinions que regien en aquell temps, va sostenir que el mercuri es manté dins del tub en virtut de la pressió atmosfèrica i l'equilibra. Aquesta teoria, que ja no es discuteix, és una conseqüència dels principis d'hidrostàtica. El tub i la bujola formen un sistema de dos vasos comunicants que contenen un mateix líquid en equilibri, per consegüent, la pressió ha d'ésser una mateixa en tots els punts d'un mateix pla horitzontal pres a un nivell qualsevol del mercuri. Considerem fora del tub una superfície de mercuri igual a la que té aquest dintre del tub en el mateix pla, la superfície exterior considerada sofreix la pressió de la atmosfera i la interior sofreix la pressió de la columna de mercuri, i no hi ha en aquesta última cap més pressió, ja que damunt del mercuri hi ha el buit. Podem, doncs, afirmar, que la pressió atmosfèrica equilibra, a superfície igual, al pes d'una columna de mercuri d'uns 76 cm. d'altura.

D'aquí resulta que si la pressió de la atmosfera augmenta o disminueix la columna mer-

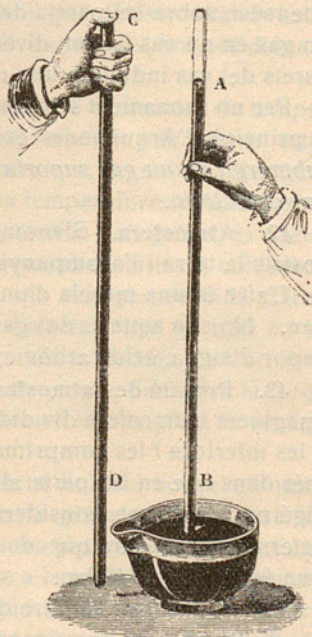


FIG. 21

curial pujarà o baixarà, essent sempre aquesta la mesura d'aquella.

Si en lloc de mercuri escollíssim un altre líquid, l'altura d'aquest dins del tub seria més gran ja que el mercuri és el més dens dels líquids, i l'altura estarà en raó inversa de la densitat. Amb l'aigua, l'altura de la columna seria de 10,33 metres o sigui 1033 centímetres, perquè l'aigua és 13,596 vegades menys densa que el mercuri.

Valor de la pressió atmosfèrica. L'altura a la qual queda el mercuri en equilibri en el tub de Torricelli, dóna el mitjà per conèixer la valor de la pressió atmosfèrica en quilograms sobre una superfície donada. Suposem que la columna té 76 centímetres i que la secció interior del tub és de 1 centímetre quadrat. La pressió que fa l'atmosfera sobre un centímetre pres en un punt qualsevol de la superfície lliure del mercuri de la bujola és igual al pes d'un cilindre de mercuri que té 76 centímetres d'altura i 1 centímetre quadrat de base, o sigui un volum de 76 centímetres cúbics. Ara bé, 1 centímetre cúbic de mercuri pesa 13,596 grams, per tant el pes de la columna de mercuri pesarà $13,596 \times 76 = 1033$ gr. En general, es diu que *la pressió atmosfèrica és de 76 centímetres de mercuri*. Si considerem una superfície de 100 centímetres quadrats o sigui d'un decímetre quadrat, la pressió que l'atmosfera exercirà sobre ella serà 100 vegades la anterior o sigui 103,3 kgr. Essent la superfície del cos humà de 1,5 metres quadrats, per terme mitjà, equivalents a 15000 centímetres quadrats, la pressió que suporta un home a la superfície de la terra és de $15000 \times 1,033 = 15500$ kgr. Aquesta pressió que és enorme, no la sentim, perquè s'exerceix en totes direccions i suportem en tots sentits pressions iguals i contràries que s'equilibren.

45. Baròmetre. Es dóna el nom de *baròmetres* als instruments destinats a mesurar la pressió atmosfèrica. El més senzill és el tub de Torricelli fixat a una bujola de mercuri. Tots els baròmetres que es funden en l'experiment de Torricelli són anomenats *baròmetres de mercuri*, en els quals la pressió és mesurada per l'altura d'una columna de mercuri que s'eleva en un tub de vidre, com en l'experiment de Torricelli. A aquest tipus pertanyen els baròmetres de bujola o *baròmetre ordinari*, el *baròmetre de Fortin*, el *baròmetre sifon* o *baròmetre de Gay-Lussac* i el *baròmetre de quadrant*. Es construeixen demés, baròmetres sense mercuri, coneguts amb el nom de *baròmetres aneroides* (de *a* privatiu, i *neros*, mullat), anomenats també *baròmetres metàl·lics* a causa de la seva construcció. Descriurem únicament els baròmetres de Fortin, el de Gay-Lussac i el baròmetre aneroide.

46. Baròmetre de Fortin. Aquest baròmetre, així anomenat del nom del seu inventor, és un baròmetre de bujola, i consta (fig. 22) d'un tub de vidre fixat dins d'un estoig metàl·lic proveït de dues obertures longitudinals oposades per permetre veure fàcilment el nivell de la columna mercurial. En l'estoig

hi ha una escala en mil·límetres, i un cursó *A* que es pot fer córrer a mà, dóna, mitjançant un nonius, l'altura baromètrica amb una aproximació de 0,1 de mil·límetre. A la part inferior de l'estoig hi ha una bujola *b* plena de mercuri *O*. A l'esquerra de la figura és indicada la bujola a una major escala per permetre veure els seus detalls. Aquesta es compon d'un cilindre de vidre *b* de 4 centímetres de diàmetre per 3 d'altura, tancat en la seva part superior per un disc de boix fixat a la part inferior d'una tapa de coure *M*. Pel centre del disc i de la tapa passa el tub baromètric *E* que té la part inferior afuada i s'introdueix en el mercuri de la bujola. Aquesta i el tub estan units mitjançant una badana *ce* lligada fortament a una extrangulació del tub i a una petita tubulura fixada en el centre de la tapa. La badana és suficient per impedir la sortida del mercuri quan un gira l'instrument, però no s'oposa que la pressió atmosfèrica actüi sobre el mercuri de la bujola, a través dels porus.

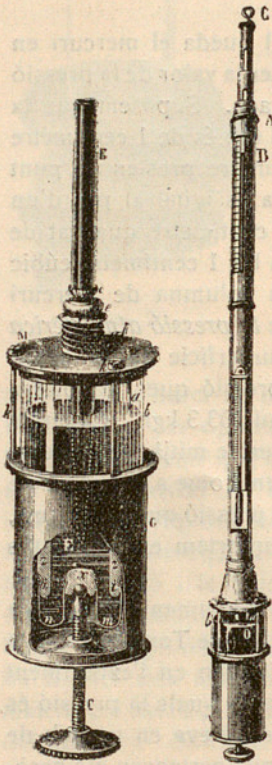


FIG. 22

La part inferior del tub de vidre *b* està fixada amb màstic a un cilindre de boix *zz*, al qual està fixada fortament la badana *mn* que constitueix el fons de la bujola. A la part inferior i central de la badana s'hi lliga un botó de boix *x*, en el qual descansa un extrem d'un cargol *C*. Quan es fa girar aquest cargol en un sentit o un altre el botó puja o baixa i fa pujar o baixar el mercuri. Quan un vol fer una observació, fa girar el cargol fins que la superfície del mercuri toqui l'extrem d'una punta de marfil *a* fixada a la tapa *M* visible a través del vidre. L'extrem inferior de la punta *a* constitueix el zero fix de l'escala baromètrica.

47. Baròmetre de Gay-Lussac. Aquest baròmetre, anomenat també *baròmetre de sifon*, consisteix en un tub de vidre corbat formant dues branques desiguals; la més llarga és tancada en l'extrem superior i la més curta és oberta i constitueix la bujola. El mercuri té en els dos tubs diferent altura, essent la diferència entre elles l'altura baromètrica. La fig. 23 representa el baròmetre de sifon modificat per Gay-Lussac. A fi de poder transportar l'aparell sense que el mercuri es vessi, les dues branques estan unides per un tub capil·lar que queda sempre ple i impedeix que l'aire penetri en el tub llarg.

La branca curta és tancada en sa part superior i té un petit orifici lateral *a* per on s'exerceix la pressió atmosfèrica.

L'altura baromètrica és mesurada mitjançant dues escales que tenen un mateix zero *O* cap al mig de la branca més gran, graduades en sentit contrari, l'una de *O* a *A* i l'altra de *O* a *B* sobre dues regles de coure paral·leles al tub baromètric. Dos cursors amb nònius *m* i *n* poden lliscar sobre les escales, de manera que indiquen els nombres de mil·límetres i de dècimes de mil·límetres continguts de *O* a *A* i de *O* a *B*. L'altura baromètrica és la suma de les lectures de les dues escales.

48. Baròmetres aneroides. Aquests baròmetres, anomenats també *metàlics*, indiquen les variacions de la pressió atmosfèrica mitjançant les deformacions més o menys grans que experimenta una caixa metàl·lica de parets molt elàstiques, buida d'aire i perfectament tancada. Es graduen per comparació amb un baròmetre de mercuri, però les seves indicacions són poc precises.

El baròmetre de Vidi (fig. 24) es compon d'una caixa metàl·lica cilíndrica de poca altura, la part superior de la qual presenta acanaladures concèntriques, en la qual ha estat fet el buit. La pressió atmosfèrica tendeix a aplanar més o menys aquesta caixa, i la flexió de la part superior produeix el moviment vertical d'un pilar metàl·lic curt i gros fixat al centre de la base acanalada, el qual es transmet a una agulla indicadora mòbil sobre d'un quadrant graduat, mitjançant un ressort en espiral, unes tiges articulades i un sector dentat.

El baròmetre de Burdon (fig. 25) consisteix en un tub metàl·lic corbat i aplanat, com es veu en *S*, del qual s'ha extret l'aire. Aquest tub, fixat en el punt mitjà de la seva llargada, porta en els seus dos extrems dos fils metàl·lics articulats als extrems d'una palanca que pot girar a l'entorn del seu punt mitjà i està unida a un sector dentat que engrana amb un pinyó on és fixada una agulla que es mou sobre un quadrant graduat. Quan la pressió atmosfèrica disminueix, la curvatura del tub és més petita i la gulla gira en un sentit determinat. Si la pressió atmosfèrica augmenta, la curvatura del tub és major i el moviment de l'agulla és invers a l'anterior.

49. Càlcul de les altures mitjançant el baròmetre. Del principi en què es funda el baròmetre es dedueix que la pressió atmosfèrica disminueix a mesura que hom s'eleva en l'atmosfera i com que a la disminució de pressió correspon

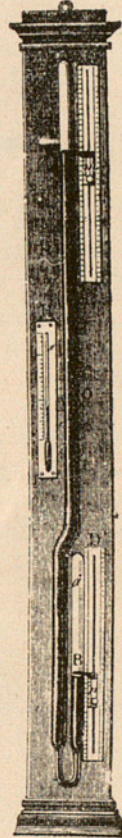


FIG. 23

una depressió baromètrica, resulta que hi ha una relació entre l'altura baromètrica i l'altura del punt d'observació. Si la densitat de l'aire fos constant a les diferents altures el càlcul seria molt senzill, en efecte, essent la densitat del mercuri 10466 vegades la de l'aire, una columna baromètrica d'un mil·límetre

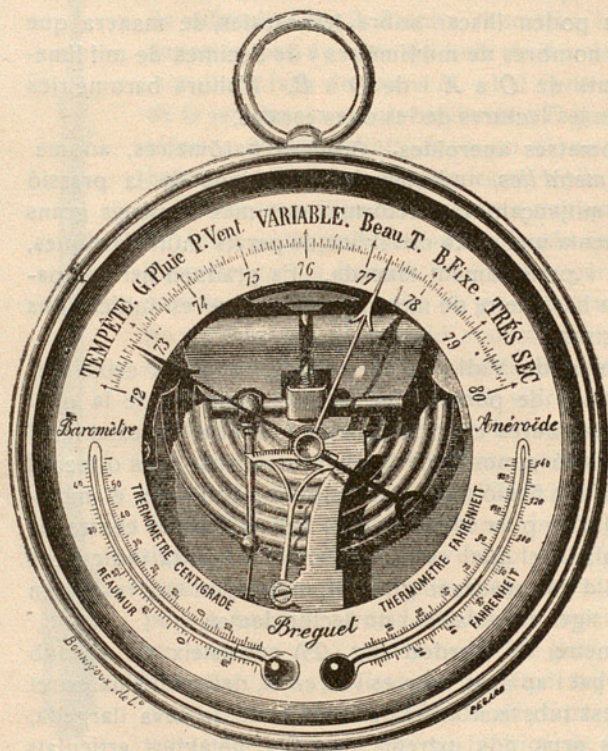


FIG. 24

fa equilibri a una columna d'aire de la mateixa secció, però 10466 vegades més alta, és a dir, iag tal a 10,466 metres. Si la diferència d'altura baromètriques de dos llocs és de 1, 2, 3... mil·límetres, la diferència d'altures seria 1, 2, 3... vegades 10,466 metres. Però la densitat de l'aire decreix quan l'altura augmenta, per consegüent el càlcul anterior no pot ésser empleat si no es tracta d'altures molt petites.

Per altures que no passin de 1000 metres, Babinet ha donat la següent fórmula aproximada:

$$a = 16000 \left(\frac{H'_0 - H_0}{H'_0 + H_0} \right) \left[1 + \frac{2(t+t')}{1000} \right]$$

en la qual

H'_0 i H_0 = altures baromètriques de les dues estacions.

t' i t = temperatures en °C de les dues estacions.

a = diferència d'altura de les dues estacions.

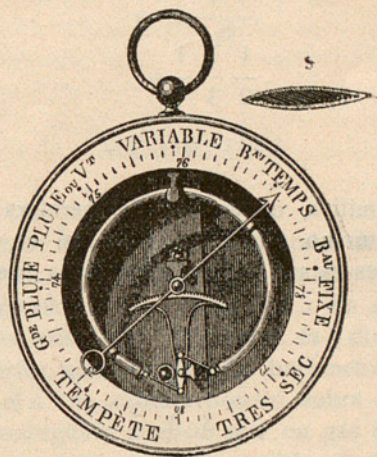


FIG. 25

Exemp'e. Calcular la diferència d'altures de dos llocs en els quals les altures baromètriques són respectivament 76 i 74 cm i 15° i 13° les temperatures dels dos llocs.

Resolució. Aplicant la fórmula anterior tindrem

$$a = 16000 \left(\frac{76 - 74}{76 + 74} \right) \left[1 + \frac{2(15 + 13)}{1000} \right] = 225 \text{ m}$$

MESURAMENT DE LA FORÇA ELASTICA DELS GASOS

50. Llei de Boyle i Mariotte. Els físics Boyle i Mariotte, anglès el primer i francès el segon, van descobrir la llei següent, relativa a la compressibilitat dels gasos:

A temperatura constant, el volum d'una quantitat donada de gas està en raó inversa de la pressió a què està sotmès.

El significat d'aquesta llei és que si el volum d'un gas es redueix a

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \dots$$

de la seva valor primitiva, quedant la temperatura constant, la pressió necessària per aconseguir-ho serà 2, 3, 4....., i si el volum del gas s'augmenta 2, 3, 4..... vegades el seu volum primitiu, la pressió a la qual estarà sotmès, serà

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \dots$$

Si suposem que un volum de 2 decímetres cúbics està sotmès a una pressió de 10 kg per centímetre quadrat en un cilindre proveït d'un pistó mòbil, el producte del volum per la pressió és $2 \times 10 = 20$. Si el volum augmenta a 4 decímetres cúbics, la pressió serà de 5 kg i es tindrà $4 \times 5 = 20$, o sigui la mateixa valor que abans. De manera, que *el producte del volum per la pressió és constant qualsevol que sigui la posició del pistó.*

51. Si coneixem el volum del gas i la pressió corresponent, i volem determinar la pressió quan el volum varia, *cal dividir el producte de les valors primitives del volum i de la pressió i dividir el resultat per la nova pressió.*

D'una manera general tindrem: essent P la pressió primitiva, v el volum corresponent, i v_1 el volum corresponent a una pressió P_1 ,

$$\frac{P}{P_1} = \frac{v_1}{v}$$

d'on

$$P_1 = \frac{v P}{v_1}$$

també

$$v_1 = \frac{P v}{P_1}$$

MANOMETRES

52. Donem el nom de *manòmetres* als aparells destinats a determinar la tensió dels gasos i vapors. Hi ha tres classes de manòmetres: els *manòmetres d'aire lliure*, els *manòmetres d'aire comprimit* i els *manòmetres metàl·lics*. La unitat adoptada per tots ells és l'atmosfera, és a dir la pressió igual al pes de la pressió atmosfèrica, quan l'altura del baròmetre és de 76 centímetres. Segons havem vist en el n.º 44, aquesta pressió, sobre un centímetre quadrat, és de 1,033 kg, per consegüent, si diem que un gas té una tensió de 2, 3, 4 atmosferes, volem dir que la seva tensió equilibrarà una columna de mercuri de 2, 3, 4 vegades 76 centímetres d'altura, en altres termes, que sobre cada centímetre quadrat de la paret del recipient que el conté, exercirà una pressió de 2, 3, 4 vegades 1,033 kg.

53. **Manòmetre d'aire lliure.** Consisteix aquest manòmetre en un tub de cristall obert que comunica lliurement amb l'atmosfera per la part superior, i per la inferior amb un dipòsit A (fig. 26) que comunica mitjançant un tub més petit C amb el recipient que conté el gas o vapor, la tensió del qual volem determinar. El dipòsit A és ple de mercuri i el conjunt és fixat a una placa disposada verticalment.

Per graduar l'aparell, farem comunicar l'orifici C amb l'atmosfera i en el punt on el mercuri s'atura en el tub marcarem 1 que indica 1 atmosfera;

després, de 76 a 76 centímetres a partir d'aquest punt, marcarem 2, 3, 4, 5,..... que indicaran 2, 3, 4, 5 atmosferes. Els intervals compresos entre 1 i 2, 2 i 3,..... són dividits en 10 parts iguals que representaran dècimes d'atmosfera. Els nombres indicats a l'esquerra del tub donen les pressions en centímetres de mercuri.

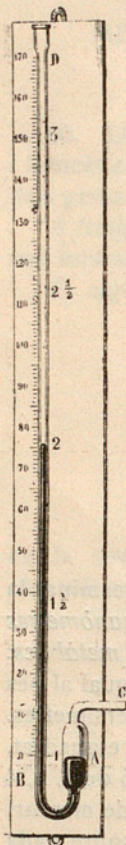


FIG. 26

Posant després el tub *C* en comunicació amb una caldera de vapor, per exemple, el mercuri s'eleva en el tub *BD* fins una altura que mesura la tensió del vapor. En la figura, la tensió assenyalada és de 2 atmosferes, representades per 76 centímetres de mercuri més la pressió atmosfèrica que s'exerceix per l'orifici *D*. Aquest manòmetre és de poca precisió, perquè no té en compte les variacions de nivell del dipòsit *A*.

54. Manòmetre d'aire comprimit. En els manòmetres d'aire comprimit, la pressió és mesurada per la reducció de volum que produeix en una massa donada d'aire. El tub manomètric té de 60 a 80 centímetres de longitud, és tancat en sa part superior i ple d'aire i per la part inferior s'enfonsa en un bany de mercuri contingut en un dipòsit de ferro (fig. 27). Un tub lateral *A* posa en comunicació el manòmetre amb el recipient que conté el gas la tensió del qual volem determinar.

La graduació experimental del manòmetre, la farem bo i comparant-lo amb un manòmetre d'aire lliure de suficient altura. Per això, hom regula la quantitat d'aire del tub de manera que a la pressió d'una atmosfera el nivell del mercuri sigui un mateix en el tub que en el dipòsit i es fa comunicar l'instrument amb el manòmetre d'aire lliure i amb un recipient on es comprimeix l'aire mitjançant una *bomba impellent*. El mercuri s'eleva simultàniament en els dos aparells i quant el manòmetre d'aire lliure senyala 1, 2, 3..... atmosferes es marquen aquests nombres en els nivells del mercuri del manòmetre d'aire comprimit. Com veïem, aquesta graduació és independent de si el calibre del tub és o no uniforme.

55. Manòmetre metàl·lic. Descriurem el manòmetre de Bourdon molt emprat en les mà-

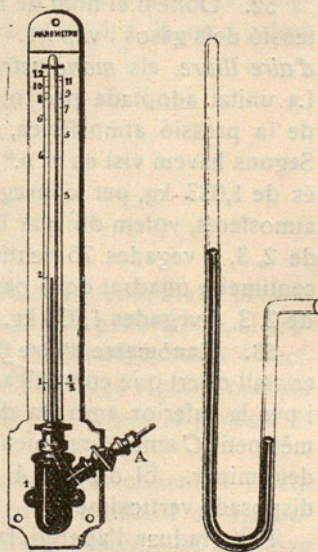


FIG. 27

quines de vapor. Com el baròmetre aneroide, es funda en la deformació que sofreixen els tubs subjectes a una pressió. Quan un tub té les parets flexibles i lleugerament aplanades, i està enrotllat en espiral en el sentit del seu diàmetre més petit, tota pressió interior té per efecte desenrotllar el tub i tota pressió exterior tendeix a enrotllar-lo més.

Aquest manòmetre (fig. 28) consisteix en un tub de llautó de 70 centímetres de longitud enrotllat en hèlix formant una espira i mitjà. La secció d'aquest tub, representada a part en *S*, és una el·lipse que té un diàmetre major de 11 mil·límetres i un diàmetre menor de 4. L'extrem *a* del tub és obert i fixat a un tub proveït d'una aixeta *m* destinada a posar l'aparell en comunicació amb una caldera de vapor. L'altre extrem *b* és tancat, i lliure així com la resta del tub. Quan l'aixeta és oberta, la pressió del vapor s'exerceix en les parets interiors del tub i l'obliga a redreçar-se. L'extrem *b* adquireix llavors un moviment d'esquerra a dreta i fa moure una agulla *e* que indica en un quadrant la tensió en atmosferes. La graduació de l'aparell es fa per comparació amb un manòmetre d'aire lliure que es fa funcionar simultàniament mitjançant aire comprimit.

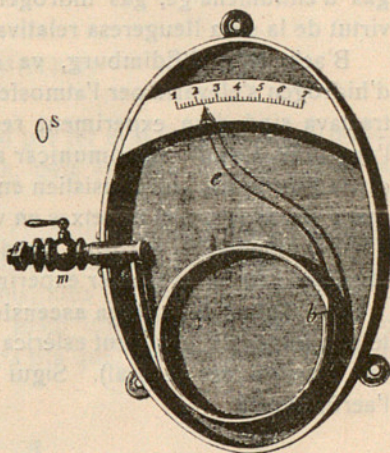


FIG. 28

PRINCIPI D'ARQUÍMEDES APLICAT ALS GASOS

56. Havem vist (n.º 41) que el principi d'Arquímedes s'aplica també als gasos d'on resulta que *tot cos submergit en un gas perd una part del seu pes igual al pes del gas desallotjat*.

Si col·loquem dins la campana d'una màquina neumàtica una balança que tingui en un platet una esfera buida de gran diàmetre i en l'altre un pes massís de plom que li faci equilibri, quan es fa el buit en la campana l'equilibri es destrueix decantant-se la balança del costat de l'esfera buida. Aquesta, doncs, pesa més que abans, i com que actualment no obra sobre el conjunt més que la gravitació, és evident que en l'aire l'esfera perdia una certa part del seu pes.

AEROSTATS

57. Els aeròstats són globus de tela lleugera i impermeable que plens de gas d'enllumenatge, gas hidrogen o aire calent, s'elevan en l'atmosfera en virtut de la seva lleugeresa relativa.

B'ack, físic d'Edimburg, va anunciar, en 1767, que una veixiga plena d'hidrogen s'elevaria per l'atmosfera, però considerant, sens dubte, que no es tractava sinó d'un experiment recreatiu, mai no va fer l'experiment. Vers l'any 1782, Cavallo va comunicar a la Societat reial de Londres els experiments que ell havia fet, que consistien en omplir d'hidrogen bombolles de sabó que que s'elevaven per sí mateixes en virtut de la seva lleugeresa. Però la glòria d'haver inventat els aeròstats s'atribueix als germans Montgolfier, d'Annonay, els quals van fer el primer experiment l'any 1783.

58. Càlcul de la força ascensional d'un aeròstat. Suposem que l'aeròstat té una forma perfectament esfèrica (i això a fi de simplificar el càlcul i donar una fórmula més general). Sigui R el radi de l'esfera en metres. El volum de l'aeròstat serà

$$\frac{4 \pi R^3}{3}$$

i la seva superfície $4 \pi R^2$ metres cúbics i metres quadrats, respectivament. Sigui p el pes d'un metre quadrat de la tela empleada, P el pes de la barqueta i accesoris, a el pes d'un metre cúbic d'aire a zero i a la pressió de 76 cm i a' el pes d'un metre cúbic del gas usat per omplir l'aeròstat, en les mateixes condicions. El pes total de la coberta en kg serà $4 \pi R^2 P$, el del hidrogen

$$\frac{4 \pi R^3 a'}{3}$$

i el de l'aire desalloyat

$$\frac{4 \pi R^3 a}{3}$$

Representant per F la força ascensional tindrem

$$F = \frac{4 \pi R^3 a}{3} - \frac{4 \pi R^3 a'}{3} - \frac{4 \pi R^2 p}{100} - P$$

o bé

$$F = \frac{4 \pi R^3}{3} (a - a') - \frac{4 \pi R^2 p}{100} - P$$

F és, al mateix temps, el pes en kg que l'aeròstat podrà pujar.

De la fórmula anterior es dedueix que la força ascensional d'un aeròstat creix quan R augmenta, i disminueixen a' , p , i P , d'on resulta que per obtenir una gran força ascensional, l'aeròstat haurà d'ésser de gran diàmetre, el gas que l'ompli, molt lleuger, i els pesos de la tela i barqueta amb els accessoris, molt petits.

MAQUINA NEUMÀTICA

59. Les màquines neumàtiques serveixen per fer el buit en un espai donat o, més pròpiament, per enrarir l'aire, ja que, com veurem, no pot obtenir-se amb aquestes màquines un buit absolut.

La màquina neumàtica fou inventada per Otto de Guericke, burgmestre de Magdeburg, l'any 1650, poc temps després de l'invenció del baròmetre.

La fig. 29 representa el croquis d'una màquina neumàtica molt senzilla, formada per un cilindre buit A proveït un pistó que té una vàlvula V , que s'obre cap amunt, el qual és travessat per una tija que, emportada pel pistó, té un moviment molt petit i obre i tanca, mitjançant la vàlvula V' en què termina, el tub que comunica amb la platina P on descansa el recipient o campana B de vidre, les bores de la qual són esmerilades i untades amb sèu, a fi que ajusti bé a la platina i no pugui entrar-hi aire.

Suposem que el pistó es troba al fons del cilindre o *cos de bomba*; les vàlvules V i V' són tancades; si el fem pujar, la vàlvula V permaneix tancada i la V' s'obre, d'on resulta que l'aire de B augmenta de volum passant pel tub t i omplint l'espai que hi ha entre el fons del cos de bomba i el pistó. Quan aquest, després d'haver arribat a la seva posició més alta comença a baixar, es tanca immediatament la vàlvula V' i l'aire que hi ha sota el pistó es comprimeix i obre la vàlvula V , sortint al exterior per un foradet que hi ha en la part superior del cilindre, no representat en el dibuix. Quan el pistó arriba a la part més baixa de la seva carrera, la vàlvula V es tanca; al pujar altra volta s'obre immediatament la vàlvula V' (la V roman tancada) i l'aire de la campana es dilata com abans, i es reproduïxen aquests fenòmens a cada moviment alternatiu del pistó, resultant que la quantitat d'aire de la campana B va disminuint.

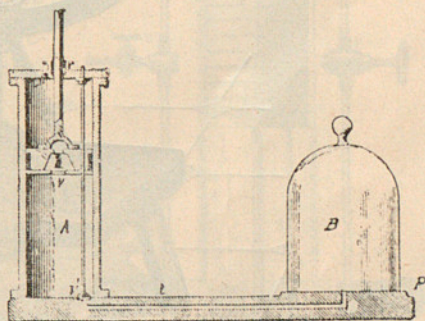


FIG. 29

60. Màquina neumàtica de doble efecte de Deleuil. Una màquina neumàtica construïda segons el croquis fig. 29 té l'inconvenient que no extreu l'aire més que quan el pistó puja. Perquè a cada moviment del pistó hi hagi extracció d'aire és precis emprar altres disposicions que constitueixen altres tipus

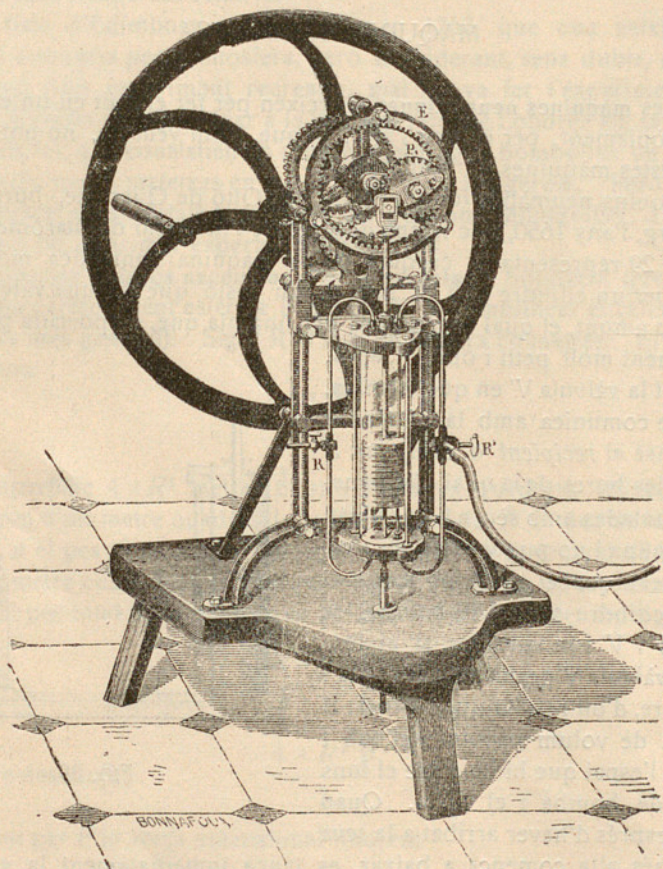


FIG. 30

de màquina neumàtica. Una de les més usades és la de Deleuil, representada en conjunt en la fig. 30. Aquesta màquina té un cilindre de vidre i presenta la particularitat que el pistó no toca el cilindre i no necessita untaatge, fundant-se en que els gasos passen molt difícilment per conductes capil·lars, sobre tot

si aquests tenen dilatacions i contraccions alternades. El pistó *P* (fig. 31) és metàl·lic i ple i seva la superfície lateral presenta ranures normals a l'eix.

El seu diàmetre és més petit que el del cilindre ($d' \frac{1}{50}$ de mil·límetre aproxi-

madament) i pot rrelliscar sense tencar-lo completament, però el coixí d'aire que queda allotjat en les ranures forma una espècie d'opturador compressible que basta per separar els gasos en els dos compartiments del cilindre. La transmissió del moviment es verifica mitjançant una tija metàl·lica que travessa les dues bases del cilindre. El recipient comunica alternativament amb cada compartiment del cilindre per un doble tub corbat els extrems del qual s'apliquen als orificis *SS'*, els quals són successivament tencats per dos taps cònics que porta la tija *TT* que travessa el pistó i és moguda per ell. Dues abertures proveïdes de vàlvules *A, A'* posen cada compartiment amb comunicació amb l'atmosfera per l'intermediari d'un doble tub els extrems del qual s'uneixen en *R*.

El cilindre és fix; el moviment del volant es transmet al pistó en forma de moviment rectilini alternatiu mitjançant un engranatge especial compost d'una peça de metall a la qual hi ha articulada la tija del pistó fixada en *M* a la circumferència del pinyó. *C* Aquest rep directament del volant un moviment de rotació i es veu obligat a engranar amb l'engranatge interior d'una roda fixa *A* de doble diàmetre. D'aquesta combinació resulta que la tija del pistó es mou seguint un diàmetre de la roda dentada.

61. Amb les màquines neumàtiques descrites no es pot obtenir un buit perfecte. En efecte, suposem que el volum de l'aire de la campana més el del tub que comunica amb el cos de bomba sigui de 10 litres i que el volum del cos de bomba menys el del pistó sigui de un litre. Quan el pistó ha pujat, el volum de l'aire que abans era de 10 litres serà després, de 11 litres i quan ha baixat el

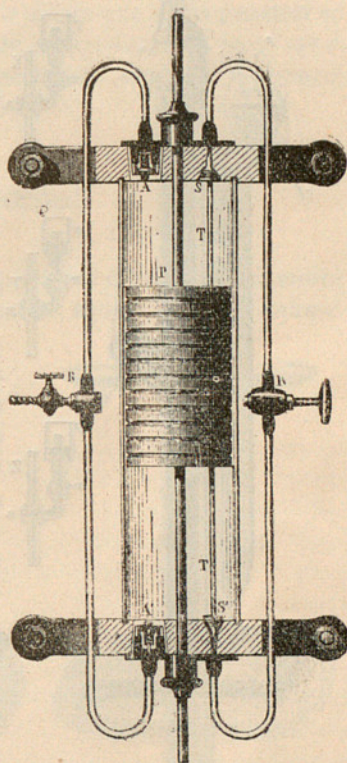


FIG. 31

pistó es treu $\frac{1}{11}$ de la quantitat d'aire del recipient, per consegüent mai no podrà extreure's tot l'aire, ja que cada vegada hom treu una fracció del que queda.

Segons això per obtenir el buit perfecte o absolut, caldria un nombre infinit de cops de pistó, d'on resultaria que podriem obtenir un buit tan aproximat com vulguéssim, però no és així, i arriba un moment que per més que es faci funcionar la màquina el buit no avança.

La causa d'aquest fet és que per ben construïda que sigui una màquina neumàtica, sempre té *espais perjudicials*, o sigui espais sota les vàlvules i sota el pistó on s'hi queda l'aire. Així, quan el buit ha arribat a un cert punt, ve un moment en que encara que el pistó s'apliqui a la base del cos de bomba, l'aire que queda en l'espai perjudicial no adquireix una tensió suficient per aixecar la vàlvula. A partir d'aquest instant la màquina deixa de funcionar i el buit no passa més enllà.

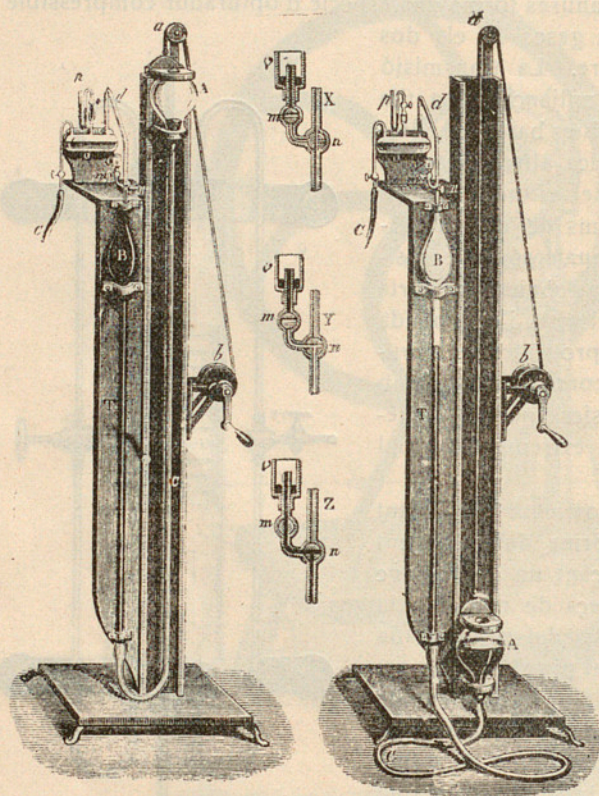


FIG. 32

62. Bomba neumàtica de mercuri. Amb aquesta màquina, que

utilitza el buit baromètric, pot obtenir-se un buit molt més perfecte que amb les altres màquines, tota vegada que no té espais perjudicials. La fig. 32 representa aquesta màquina que descriurem lleugerament.

Quan el dipòsit A és a dalt l'aixeta m és oberta i la n tancada, com es veu en Z, el tub de goma C, el tub baromètric T, el dipòsit B i el tub superior són

plens de mercuri fins a v . Tancant l'aixeta m (vegís Y) i baixant el dipòsit A , el mercuri descendeix en el dipòsit B i en el tub T , fins que la diferència de nivell del mercuri de les dues branques sigui igual a la altura baromètrica i llavors queda el buit en el dipòsit B . Es col·loca l'aixeta com veiem en X , el gas del recipient en el qual es fa el buit arriba pels tubs c i d a la cambra baromètrica B i el nivell del tub T s'abaixa. Col·locant altra volta les aixetes en la primera posició Z i aixecant el dipòsit A , l'excés de pressió del mercuri que hi ha en el tub de goma, llença per les aixetes m i n el gas que havia penetrat en la cambra B i si ha arrossegat algunes gotes de mercuri queden en el vas v . Aquestes operacions es repeteixen fins que el mercuri del manòmetre p tingui sensiblement un mateix nivell en les dues branques.

MAQUINES DE COMPRESSIÓ

63. Així com es pot enrarir l'aire o un gas qualsevol d'un recipient, també es pot comprimir-lo, i les màquines utilitzades en aquest cas, són anomenades *Màquines de compressió*. La més senzilla és la representada en la fig. 33, coneguda amb el nom de *bomba de mà*. Quan el pistó baixa, l'aire que hi ha sota d'ell, obre la vàlvula s i es dirigeix al recipient on volem comprimir l'aire, quan el pistó puja, es fa el buit de sota d'ell, la vàlvula s es tanca i s'obre la o omplint-se d'aire el cilindre; quan aquest torna a baixar es repeteixen els mateixos efectes i així successivament.

Com podem comprendre, aquesta bomba pot servir per fer el buit; per això bastarà fer comunicar el tub m amb el recipient d'on es vol extreure l'aire, i el tub n el farem comunicar amb l'atmosfera.

SORTIDA DELS LÍQUIDS

64. **Teorema de Torricelli.** Si obrim un orifici practicat en la paret d'un recipient que contingui un líquid pesant en equilibri, el líquid raja, es destrueix l'equilibri de les pressions, i es verifica que:

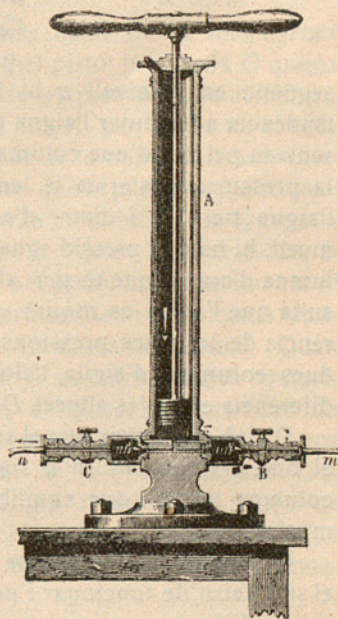


FIG. 33

La velocitat de sortida del líquid és igual a la que tendria un cos que caigués lliurement en el buit des de la superfície lliure del líquid fins al centre de l'orifici de sortida.

Representant (fig. 34) per v la velocitat de sortida, per h l'altura des del nivell superior al centre del orifici, tindrem segons la llei de la caiguda dels cossos

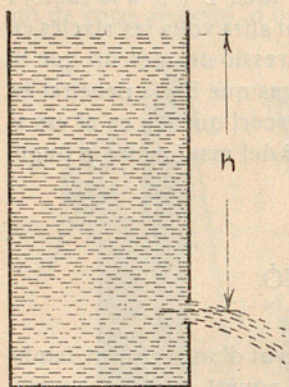


FIG. 34

$$v = \sqrt{2gh}$$

65. Sifó. El sifó és un tub corbat, formant dues branques de desiguals longituds, obert pels dos extrems, que serveix per traslladar un líquid des d'un nivell a un altre inferior, passant per un punt més elevat que els dos nivells. En la fig. 35 A i B són els dos dipòsits col·locats a diferent altura i c és el sifó. Si aquest es troba ple d'aigua, i col·locat com veiem en la fig. amb la branca més curta en el dipòsit superior, l'aigua d'aquest dipòsit passarà a l'altre mentre el nivell del dipòsit A sigui més alt que el dipòsit B . El funcionament del sifó és el

següent: en el nivell a hi ha fora del tub, la pressió atmosfèrica que té tendència a fer pujar l'aigua del tub ac, i dintre del tub hi ha una força representada pel pes d'una columna d'aigua l'altura de la qual és d . En el nivell b , la pressió atmosfèrica té tendència a fer pujar l'aigua pel tub i dintre d'aquest, en el mateix nivell, hi ha una pressió igual al pes d'una columna d'aigua que té per altura D . D'aquí resulta que l'aigua es mourà en virtut de la diferència de les dues pressions representades per dues columnes d'aigua, l'altura de la qual es la diferència entre les altures D i d .

D'això es dedueix que el sifó no funcionarà en el buit ni quan l'altura d sigui més gran que la columna líquida que equilibri a la pressió atmosfèrica.

Quan per qualsevol causa entra aire en el tub, el sifó deixa de funcionar i per tornar-lo a posar en condicions o *encevar-lo* és precis expulsar tot l'aire, ço que és aconseguit mitjançant

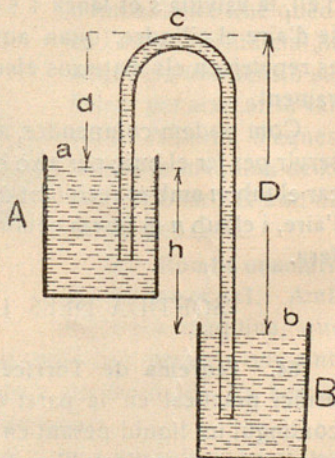


FIG. 35

una copa col·locada en la part més alta del tub per on cal tirar aigua que ompli el tub, i tancant l'aixeta de què va proveïda quan la copa és plena.

BOMBES

66. Les bombes són màquines que serveixen per elevar els líquids, ja sigui per aspiració, per pressió o pels dos efectes combinats, d'on resulta la següent classificació de les bombes: en *bombes aspirants*, *bombes impelents* i *bombes aspirants i impelents*.

Bomba aspirant. Es compon aquesta bomba (fig. 36): 1.^{er} d'un *cos de bomba* cilíndric, proveït d'un tub situat en la seva part superior i lateral, i en la inferior, d'un forat cobert per una vàlvula *s* que s'obre de baix a dalt. 2.^{on} d'un *tub d'aspiració* *A* fixat a la part inferior del cos de bomba i enfonsat en el líquid que es vol elevar; 3.^{er} d'un pistó *P* articulat a una tija moguda per una palanca *B*, que té un forat cobert per una vàlvula *O* que, com l'anterior, s'obre de baix a dalt.

Si suposem que el pistó es troba en la part més baixa de la seva cursa i comença a elevar-se, tendeix a fer-se el buit sota el pistó; la vàlvula *O* queda tancada en virtut del seu pes i de la diferència de les pressions que actuen en la part superior i la inferior mentre que l'aire del tub *A*, per efecte de la seva elasticitat, aixeca la vàlvula *S* i passa, en part, al cos de la bomba. L'aire queda per consegüent enrarit, i l'aigua puja pel tub fins que la pressió de la columna líquida, sumada a la pressió de l'aire que queda en el tub, sigui igual a la pressió atmosfèrica que actúa sobre l'aigua del pou. Quan el pistó baixa, la vàlvula *S* es tanca pel seu pes; l'aire, comprimit pel pistó, aixeca la vàlvula *O* i surt a l'atmosfera. Al segon cop de pistó es reproduïxen els mateixos fenòmens i després d'alguns cops, l'aigua penetra en el cos de bomba. Quan arriba aquest moment, al baixar el pistó la vàlvula *S* es tanca, l'aigua comprimida aixeca la vàlvula *O* i passa a la part superior del pistó, per sortir pel tub lateral quan aquest puja. A partir d'aquest moment el tub d'aspiració i el cos de bomba són plens d'aigua, la qual, en virtut de la pressió atmosfèrica segueix el moviment del pistó: sempre que no estigui a una altura major de 10,33 metres sobre el nivell de l'aigua del pou, per què havem vist (n.º 44) que el pes d'una columna d'aigua de 10,33 metres equilibra a la pressió atmosfèrica.

67. **Altura del tub d'aspiració.** En primer lloc el pistó no s'aplica mai exactament al fons del cos de bomba, de manera que quan es troba en la part

més baixa de la seva cursa, queda sota d'ell un *espai perjudicial* ple d'aire. Si suposem que aquest espai perjudicial és igual a $\frac{1}{30}$ del volum del cos de bomba, l'aire que s'hi troba es dilata a mesura que pistó puja, i quan aquest arriba al extrem superior de la seva cursa, la tensió de l'aire en el cos de bomba és (segons la llei de Mariotte) $\frac{1}{30}$ de la pressió atmosfèrica. D'aquí resulta que

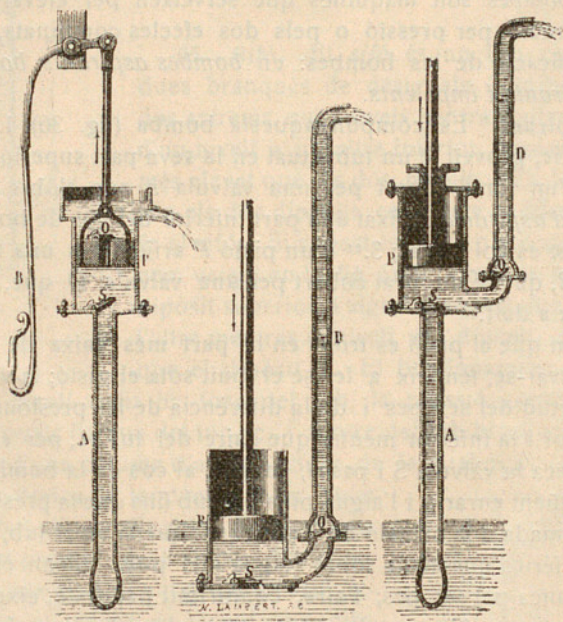


FIG. 36

FIG. 37

FIG. 38

l'aire del tub no pot ésser enrarit més enllà d'aquest límit i, per tant, l'aigua no pot pujar en el tub a més de $\frac{29}{30}$ de 10,33 metres o sigui 9,98 metres. Però aquesta altura es encara massa gran perquè l'aigua ha d'eivar-se per sobre de a vàlvula S. De manera que, en general l'altura del tub d'aspiració no té del passar de 8 metres.

En aquesta bomba l'aigua s'eleva primer pel tub d'aspiració per efecte de

la pressió atmosfèrica, i l'altura així obtinguda no té de passar de 8 a 9 metres, però una vegada passa l'aigua per sobre del pistó, la força ascensional d'aquesta fa pujar a una altura que depèn únicament de la força que mou el pistó i de l'altura del tub d'elevació, col·locat a la part superior del cos de bomba.

68. Bomba impel·lent. En aquesta bomba (fig. 37) no intervé la pressió atmosfèrica i actua únicament per pressió. La bomba impellent consta d'un cos de bomba proveït d'una vàlvula *S* que s'obre de baix a dalt, situada en la part inferior, d'un tub *D* que surt del fons del cos de bomba, proveït d'una vàlvula *O* que s'obre de baix a dalt, i d'un pistó ple *P*. El cos de bomba està submergit en l'aigua que volem elevar. Quan el pistó puja la vàlvula *S* s'obre per efecte de la pressió del líquid, i el cos de bomba s'omple. Al descendir el pistó, la vàlvula *S* es tanca pel seu pes i la pressió que suporta, mentre que l'aigua comprimida pel pistó obre la vàlvula *O* i s'eleva en el tub *D* a una altura que sols té per límit la pressió exercida pel pistó i la resistència de l'aparell.

69. Bomba aspirant i impel·lent. Com el seu nom indica, aquesta bomba funciona per aspiració i per pressió. La fig. 38 representa aquesta bomba que és una bomba impel·lent proveïda d'un tub d'aspiració i com la bomba aspirant té el cos de bomba sobre de l'aigua que ha d'eleva. Quan la bomba funciona, l'aigua és aspirada pel tub *A* cada vegada que el pistó puja, i quan aquest baixa la vàlvula *S* es tanca i s'obre la *O* sortint l'aigua pel tub *D*. Els límits de funcionament d'aquesta bomba són els mateixos que per a les dues bombes abans descrites.

70. Bombes de doble efecte. En les bombes que havem explicat, l'aigua és elevada únicament quan el pistó puja (bomba aspirant) o quan el pistó baixa (bomba impel·lent i aspirant i impel·lent) de manera que l'aigua s'eleva solament quan el pistó es mou en un sentit, i per això són anomenades de *simple efecte*. Quan desitgem que l'aigua s'elevi a cada cop de pistó, és a dir, quan baixa i quan puja, són utilitzades les bombes anomenades de *doble efecte*.

El funcionament d'aquestes bombes és com segueix: Quan el pistó es mou cap a la dreta (fig. 39) les vàlvules *b* i *c* es tanquen, i s'obren les *a* i *d*;

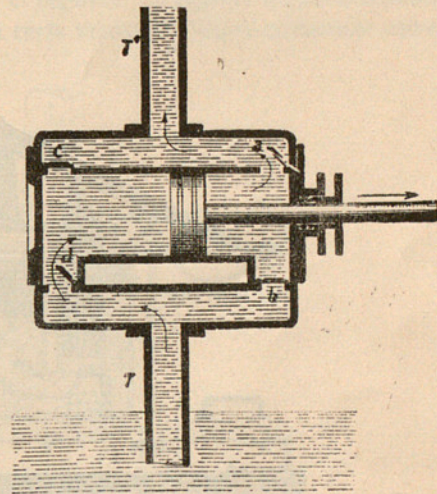


FIG. 39

l'aigua que es troba a la dreta del pistó puja pel tub d'impulsió T', i l'aigua del tub d'aspiració T passa a ocupar el buit que deixa el pistó a la seva esquerra. Quant el pistó va cap a l'esquerra, les vàlvules *a* i *d* es tanquen i s'obren les *b* i *c*, l'aigua que hi ha a l'esquerra del pistó puja pel tub d'impulsió i la del tub d'aspiració ocupa el buit que deixa el pistó a la seva dreta. Com veiem, a cada cop de pistó l'aigua puja pel tub d'impulsió de manera que la sortida de l'aigua és contínua, experimentant únicament una petita parada quan el pistó arriba als extrems de la seva cursa.

71. La bomba representada en la fig. 40 és també de doble efecte en quan

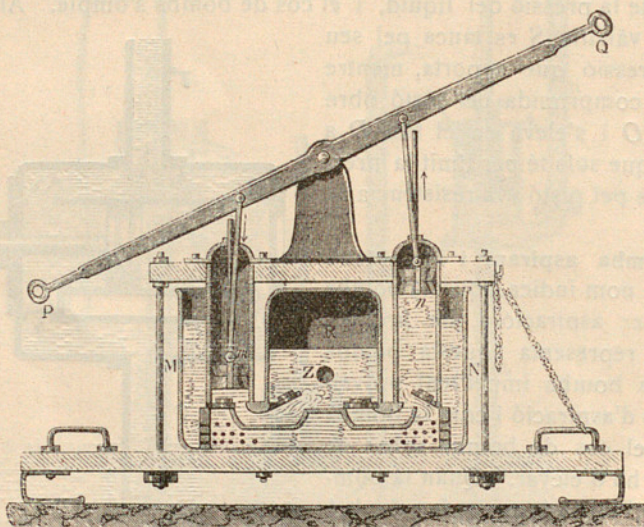


FIG. 40

el seu conjunt i es compon de dues bombes impel·lents, aconseguint-se la sortida contínua de l'aigua pel funcionament alternatiu dels dos pistons i un dipòsit d'aire. Les dues bombes *m* i *n* són mogudes per un balancí *PQ*, al qual poden posar-se diversos homes. Quan una de les bombes aspira l'aigua del dipòsit amb el qual comuniquen, l'altra l'injecta a un dipòsit *R* que conté aire, d'on surt pel tub *z*. Si no hi hagués el dipòsit d'aire, l'aigua deixaria de sortir quan els pistons es trobessin en els *punts morts* o posicions extremes de les seves curses.

BOMBES CENTRÍFUGUES

72. Aquestes bombes són completament diferents de les que havem estudiat fins aquí i consten de les següents parts (fig. 41): Una sèrie de paletes corbes a que unides a l'arbre b giren ràpidament en el sentit indicat per la fletxa l dins d'una cambra tancada c proveïda d'un tub d fixat en son centre, per on entra l'aigua, i d'un altre tub e fixat en la perifèrie, per on aquella surt. El tub d comunica directament amb les paletes mitjançant el tub corbat f .

El funcionament d'aquesta bomba és el següent: Si suposem que la bomba és plena d'aigua i les paletes giren a una certa velocitat, l'aigua compresa entre

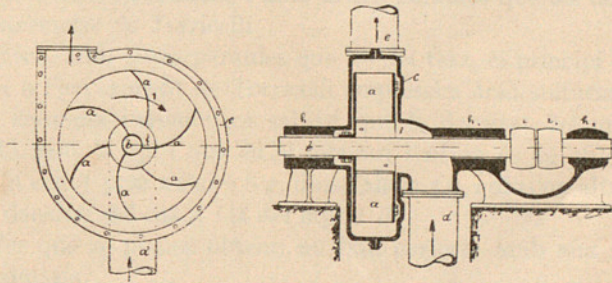
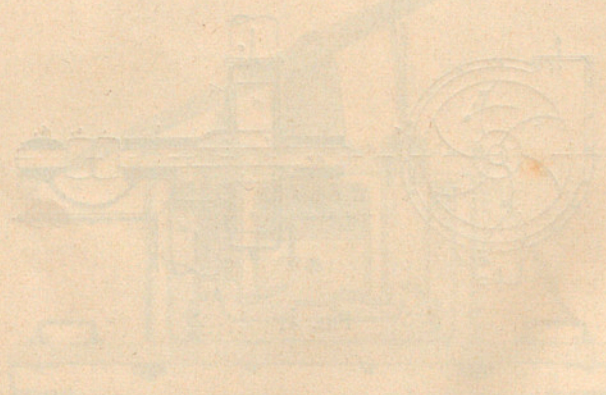


FIG. 41

elles participarà d'aquest moviment de rotació, desenrotllant-s'hi una força centrífuga que tira l'aigua cap a la superfície afavorida per la forma corba de les paletes. Ara bé, l'espai que ocupava l'aigua queda buit, i com que comunica amb el tub d'aspiració d , l'aigua que omple aquest tub passa a ocupar el buit format. En el mateix moment que l'aigua es posa en contacte amb les paletes és expulsada per aquestes, com havem dit, i ajuntant-se amb la que hi havia, és comprimida i obligada a sortir pel tub e . La successió contínua d'aquests efectes dona per resultat una sortida d'aigua sense intermitències de cap mena.

El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte



El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte
El tub de contacte amb les pel·les muntant el tub de contacte

MECÀNICA DELS FLUIDS

PROBLEMES

1. Trobar el volum d'un cos de forma irregular, el qual havem pesat a l'aire i dins l'aigua; el pes és de 40 kg i 35 kg respectivament.
2. Un paralelepípede de fusta d'un metre de longitud, 40 cm d'amplada i 25 cm de gruix flota a l'aigua. Determinar l'altura de la part que sobresurt de l'aigua sabent que la densitat de la fusta és 0,6 i la de l'aigua 1.
3. Citeu abreujadament, i amb altres paraules que les del text, el principi del baròmetre de Torricelli.
4. Citeu, amb altres paraules que les del text, el principi d'Arquímedes.
5. Si a l'experiment de Torricelli empréssim àcid sulfúric, quina altura tindria la columna baromètrica sabent que la densitat del mercuri és 13,6, la de l'àcid sulfúric 1,8 i que en el mercuri l'altura és de 76 cm?
6. Un cos *A* pesa a l'aire 8 g, dins l'aigua 5 g, i dins un altre líquid *B* 6 g. Trobar la densitat del cos *A* i la del líquid *B*.
7. Per què no podem obtenir un buit perfecte amb una màquina neumàtica ordinària?
8. Volem sostenir dins l'aigua un cub de plom de 6 cm de costat, ho i suspenent-lo d'una esfera de suro; quin diàmetre haurà de tenir aquesta esfera perquè quedi enfonsada fins a la meitat, tot sostenint el pes del plom. La densitat del plom és 11,34 i la del suro 0,24.
9. Citeu el recíproc del principi d'Arquímedes.
10. Descriuiu els nivells d'aigua i d'aire.
11. Un manòmetre d'aireco mprimit és dividit en 100 parts d'igual cabuda; quan la pressió exterior és de 76 cm el mercuri es manté a la divisió zero. Fent comunicar l'aparell amb una màquina de compressió veiem que el mercuri puja dins el tub fins a la divisió 80; mesurant llavors l'altura del mercuri dins el tub, resulta que aquest és de 45 cm. Trobar en atmosferes la pressió exercida per la màquina compressora.
12. El pes específic d'un cos és de 7800 gr per dm³; quina serà la seva densitat?
13. Descriure els areòmetres de Baumé i de Nicholson.
14. Per què no pot funcionar una bomba aspirant si el tub d'aspiració és de 12 metres?

15. Què és una bomba de doble efecte?
16. Quin pes podrà sostenir un aeròstat esfèric de 15 m de diàmetre ple de gas d'enllumenatge, sabent que la coberta pesa 0,200 kg per m^2 i que el gas té una densitat de 0,45, essent 1 la densitat de l'aire?
17. En què consisteix el sífó?
18. Descriure les bombes aspirants, impellents i aspirants-impellents.
19. Citeu el principi de Pascal.
20. El pistó gran d'una premsa hidràulica té un diàmetre de 40 cm, el petit de 2 cm; una força de 20 kg és aplicada al braç de palanca de la potència que és 4 vegades el de la resistència. Quina serà la pressió obtinguda?
21. Un vas cilíndric de 7 cm de diàmetre, que conté una mica de mercuri, està en equilibri dins l'aigua; el nivell de l'aigua exterior és 25 cm més alt que el del mercuri del vas, i l'altura del mercuri en aquest és de 2 mm. Determinar el pes del vas.
22. Per pujar $22,5 m^3$ d'aigua per hora a una altura de 20 metres podem emprar una bomba impellent que té un pistó de 20 cm de diàmetre i una cursa de 40 cm, o bé una bomba del mateix tipus, que té un pistó de 10 cm de diàmetre i una cursa de 50 cm. El rendiment de cada bomba és de 0,65. Calcular en casa cas; a) el nombre de pistonades de la bomba per minut; b) la força teòrica necessària per a moure l'èmbol, i c) la potència en cavalls absorbida per la bomba.
23. Quines són les condicions d'equilibri d'un líquid en diversos vasos comunicants?
24. Quines són les condicions d'equilibri de diversos líquids superposats?
25. Un tub en forma de U conté àcid sulfúric la densitat del qual és 1,74 i un altre líquid menys dens que no pot barrejar-se amb ell. La diferència dels nivells superiors dels líquids dins les dues branques és igual a l'altura del nivell superior del líquid més dens sobre la superfície de separació. Trobar la densitat d'aquest altre líquid. Vegi's acuradament la taula de densitats i es trobarà el líquid a què ens referim.



533 Ext

8º

5-C2/10 8º

GENERALITAT
DE CATALUNYA

BIBLIOTECA POPULAR
«PERE VILA»

Reg. 3519

Sig. 533

Ext

RF-6-33



53
801