

# El Principi de tot.

## L'enigma més antic de la física

ADRIÀ CALM PADROSA

IX PREMIS JORDI PUJIULA 2020

ex-AEQUO MODALITAT CIÈNCIES NATURALS · BATXILLERAT



### Introducció i objectius

La motivació d'aquest treball sorgeix de la curiositat que em generava la idea de comprovar per mi mateix un fenomen físic que no som capaços d'observar en la nostra vida quotidiana. Tenim la certesa de que els cossos més grans i amb més pes cauen més ràpidament, però i si et diguéssim que és fals? O que, si més no, només es compleix degut a les condicions de la Terra, que no tot és realment el que sembla?

Per respondre aquestes preguntes primer cal començar pel principi físic darrer de tot. A l'època d'Aristòtil (384-322 a.C) no es qüestionava l'obvietat de que un cos, com més massa poseís, més acceleració adquiria en una caiguda. No va ser fins molts segles més tard que

Galileu Galilei (1564-1642) va desmentir aquesta creença. Mitjançant experiments rudimentaris de caigudes d'objectes i estudis del moviment dels cossos en plans inclinats va determinar que l'acceleració d'un cos en una caiguda era independent de la massa. En canvi, el que sí que intervé en la caiguda són totes les partícules de l'entorn: l'aire.

El principi d'equivalència dèbil o de Galileu és el principi que demostra l'observació de Galileu. Matemàticament podem demostrar que qualsevol objecte,

independentment de les seves propietats químiques i físiques, sotmès en un camp gravitatori adquireix la mateixa acceleració en una caiguda lliure. I aquest últim punt és molt rellevant, perquè una caiguda lliure implica una caiguda exempta de qualsevol força que no sigui la de la gravetat. Però nosaltres som incapaços d'observar en condicions normals una caiguda en aquestes condicions, ja que l'aire actua sobre els objectes provocant una força addicional, la força de fregament.

Aquestes observacions serien clau pel desenvolupament del meu treball. Una vegada entesos els principis físics era hora de passar a la pràctica i intentar demostrar pels meus propis medis aquest principi.

## **Desenvolupament del treball**

Deixar caure dos objectes de masses diferents i comprovar que queien idènticament podria haver estat suficient per concloure que la massa no afectava a la caiguda, però no ho era en un planeta com la Terra que gaudeix d'una atmosfera.

Com hem comentat anteriorment, tots els cossos haurien de veure's atrets amb la mateixa intensitat i acceleració gravitatòria. I de fet, és així. Però ens trobem amb una força que intervé en el procés que ens impedeix observar-ho. Aquesta força és, en general, la resistència de l'aire, però depenent del medi on ens trobem existiran diferents substàncies i resistències. En el cas de l'aire ens trobem amb una gran quantitat de partícules dels gasos de l'atmosfera que xoquen constantment amb el nostre entorn. Si deixem anar qualsevol objecte, abans que arribi al terra, s'haurà vist afectat per aquestes partícules que s'oposen a la seva trajectòria. Tenim, doncs, una força persistent però que no té el mateix efecte en tots els cossos. Depenent del que deixem caure, les partícules de l'aire exerciran una força més o menys apreciable. No és el mateix que deixem caure un full de paper que un martell. Mentre el full és fi i té una forma poc aerodinàmica, el martell sent una resistència de l'aire menyspreable.

Veiem doncs que, depenent dels objectes que escollim, les partícules de l'aire tindran una importància més o menys rellevant. Aquí podríem tenir la nostra primera idea per demostrar el principi d'equivalència de Galileu. Si escollíssim dos cossos de mida i forma similar, però de masses diferents, com que les partícules de l'aire interactuarien de la mateixa manera amb els dos cossos tindríem una força de fregament igual i, per tant, s'hauria de complir que els dos cossos cauen amb la mateixa acceleració.

Ara bé, aquesta demostració seria poc exacte i seria molt difícil controlar com actua la resistència de l'aire sobre cada cos. En canvi, podem plantejar el problema

de manera més precisa. En comptes d'adaptar-nos a les condicions de l'atmosfera terrestre, crear unes condicions d'idealitat per observar el nostre fenomen. Per fer-ho només caldria eliminar el factor que ens ho impedeix: l'aire.

Els components necessaris per aconseguir les condicions idònies són una bomba de buit i una cambra on tindrà lloc la caiguda dels cossos. Per la bomba de buit, vaig utilitzar-ne una de poc usual. Per fer-ho, vaig emprar un compressor bàsic per inflar rodes i pilotes. La teoria era simple. Contradictòriament al que podria semblar, es pot aprofitar un compressor per aconseguir que, en comptes d'introduir aire, l'elimini. Si tanquem hermèticament el compressor dins un pot, deixant únicament a l'exterior la seva vàlvula, aconseguiríem que el compressor anés agafant l'aire del pot i el buidés expulsant-ne gran part a l'exterior. Si, a més, connectem el pot amb un cilindre tancat també hermèticament, aconseguirem tenir una cambra de buit. Em vaig ajudar d'un manòmetre connectat a la cambra per conèixer en tot moment la pressió del seu interior.

El procés de fabricació va ser laboriós i costós. Quan el muntatge va finalitzar calia comprovar que funcionava. No va ser així. Provant i errant vaig descobrir un orifici a la cambra que m'impedia obtenir els primers buits. Solucionar-ho va provocar un altre imprevist, ja que, tot i crear un baix nivell de buit, les parets de la cambra no van ser capaces de suportar la pressió i van cedir. Aquests i d'altres problemes van anar apareixent al llarg del muntatge i inici de les proves de caiguda d'objectes, però finalment l'experiència va donar el seus fruits.



Muntatge final per realitzar les proves de caiguda. A davant, la bateria de cotxe amb les pinces alimentant el compressor dins el pot. Al fons, la cambra de buit. A dins d'aquesta l'esfera i el paper sostingut per imans de neodimi a l'exterior.

Les pinces de cotxe connectades a una bateria permetien subministrar electricitat al compressor. Dues claus de pas controlaven la sortida i entrada d'aire, de manera que quan el compressor havia buidat suficientment la cambra i el manòmetre marcava la pressió que buscava, tancava qualsevol entrada d'aire de la cambra. En aquest moment, dos objectes situats dins la cambra, al sostre, sostinguts per la força d'atracció de dos imans a l'exterior de la cambra, es deixaven caure simultàniament fins que xocaven contra el terra. Els objectes van ser una esfera de ferro de 13,92 grams i un trosset de paper de 0,04 grams.

Les proves realitzades van ser moltes. En un principi desconeixia la capacitat del compressor, no oblidem que aquesta no era la seva funció, i que no tenia cap referència de persones que haguessin dut a terme el mateix experiment. Així doncs, les primeres proves buscaven pressions similars a 1 bar, el que seria la pressió habitual de la nostra atmosfera a alçades properes al mar, i a mesura que realitzava més proves, el nivell de buit augmentava progressivament.

En la prova que vaig aconseguir un major buit el manòmetre marcava 0,03 bars, un nivell de buit excel·lent, i més si tenim en compte l'aparell utilitzat.

Una vegada realitzats els llançaments, les gravacions mostraven clarament com, a mesura que disminuïem la pressió, els dos objectes queien més similarment. Mentre que la primera prova els objectes tenien una diferència de temps d'arribada al terra de 2 segons (la distància que recorrien era aproximadament 60 cm), en la última prova la diferència va ser només de 0,01 segons. Les gravacions també van permetre calcular les acceleracions adquirides pels objectes. Dels càlculs s'observava la relació inversament proporcional entre la pressió i l'acceleració dels objectes, concretament del paper, ja que l'esfera de ferro no va veure's pràcticament afectada pels canvis de pressions.

Les acceleracions de la prova amb menys buit van ser de 9,62 m/s<sup>2</sup> pel paper i de 9,82 m/s<sup>2</sup> per l'esfera. Com volíem demostrar, tots els cossos haurien de caure amb la mateixa acceleració en una caiguda lliure. Concretament, a la Terra tots els objectes haurien de caure a la mateixa acceleració, la qual és 9,8 m/s<sup>2</sup> que, com podem comprovar, és molt similar a les dues de la prova.

## Conclusions

l'objectiu de tota l'experimentació era demostrar de primera mà el principi d'equivalència de Galileu, és a dir, que tots els objectes en una caiguda lliure cauen amb la mateixa acceleració, independentment de les seves propietats com la massa. Per tant, podem assegurar que hem demostrat el principi amb èxit en haver escollit dos objectes molt diferents entre si, ja sigui en massa, mida, forma, densitat... però que ha resultat que en una caiguda molt propera a una caiguda lliure adquirien una acceleració molt similar, i queien pràcticament al mateix instant.

En un principi l'objectiu que m'havia proposat era idèntic, però suposant que les meves limitacions tècniques m'impedirien arribar a observar què succeiria en condicions molt properes al buit absolut i que, per tant, hauria d'extrapol·lar la relació observada en petits buits entre la disminució de la pressió i les acceleracions dels objectes, que haurien d'anar augmentant.

La realitat és que no havia trobat a ningú que hagués dut a terme el mateix experiment amb unes condicions similars a les meves, de manera que era incapaç de conèixer en un principi si seria capaç de fer funcionar tot el muntatge i, si fos el cas, d'arribar a observar el principi d'equivalència de Galileu. Per tant, personalment, els resultats obtinguts han estat tot un èxit. És més, a l'hora de decidir utilitzar un compressor com a bomba de buit, el meu objectiu principal era abaratir costos i, al mateix temps, buscar una via més original per a la realització de l'experiment. Per contra, m'exposava a un major risc. D'un compressor senzill d'inflar rodes se'n podrien esperar molts problemes si l'utilitzes per un treball d'aquestes dimensions, com el sobreescalfament del dispositiu que, de fet, vaig patir-lo. Per sorpresa meva però, no només va donar una eficiència extraordinària, sinó que va resultar ser millor opció que una bomba de buit convencional. Durant les proves vaig aconseguir-ne una, i haig de ressaltar que només va ser capaç d'obtenir una pressió de 0,2 bars, molt inferior a la meva bomba "casolana".