

## TEXT HISTÒRIC:

### Sobre la caiguda lliure

*Dues noves ciències (Galileu, 1638, Discorsi intorno a due nuove scienze)*

*El moviment de caiguda lliure dels cossos era un moviment que havia interessat als filòsofs des de l'antiguitat. Descriure'l de forma científica -basant-se en l'experimentació- significava posar les bases d'una nova ciència -la mecànica- i, d'altra banda, suposava obrir una escletxa en la visió aristotèlica del món.*



### FRAGMENT 1:

SALVIATI: Dudo grandemente que Aristóteles haya comprobado por el experimento, si es verdad que dos piedras, siendo una de ellas diez veces más pesada que la otra, al dejarlas caer en el mismo instante desde una altura de 100 cúbitos<sup>1</sup>, diferirían en velocidad de tal manera, que cuando la más pesada hubiese llegado a tierra, la otra no habrría recorrido en su caída más de 10 cúbitos...

SIMPLICIO: Su lenguaje parece indicar que él había ensayado el experimento, ya que dice: *Vemos el más pesado*; la palabra "vemos" indica que se había hecho el experimento.

SAGREDO: Pero, Simplicio, yo que he hecho la experiencia, puedo asegurarte que una bala de cañón que pesa 100 o 200 libras o más no alcanzará el suelo a mayor distancia de un *span*<sup>2</sup> por delante de una bala de mosquete que pesa sólo media libra, siempre que ambas sean lanzadas desde una altura de 200 cúbitos.

SALVIATI: Sin más experimentos es posible probar claramente, por medio de un argumento corto y concluyente, que un cuerpo pesado no se mueve más rápido que otro ligero, siempre que ambos sean del mismo material y, en resumen, aquellos mencionados por Aristóteles. Pero, dime, Simplicio, si tú admites que cada cuerpo que cae adquiere una velocidad definida fija por naturaleza, es decir, una velocidad que no puede aumentarse o disminuirse, excepto por el uso de la fuerza (*violencia*) o resistencia.

SIMPLICIO: No hay duda de que un cuerpo, moviéndose en un medio, tiene una velocidad fija determinada por la Naturaleza, la cual no puede incrementarse si no es por la acción de una cantidad de movimiento (impeto) o disminuida por alguna resistencia que la retarde.

SALVIATI: Entonces, si tenemos dos cuerpos cuyas velocidades naturales sean diferentes, es claro que, unificando a ambos, el más rápido será retardado por el más lento y éste apresurado por el más rápido. ¿No estás de acuerdo con esta opinión?

SIMPLICIO: Es una razón incuestionable.

SALVIATI: Pues si esto es cierto, y una piedra grande se mueve con una velocidad, por ejemplo, de ocho, y otra mas pequeña con una velocidad de cuatro, cuando estén unificadas, el sistema se moverá con una velocidad menor que ocho; sin embargo, cuando las dos piedras están atadas juntamente, forman una piedra mayor que la que antes se movía con velocidad de ocho. Por tanto, la piedra ahora más pesada se mueve con menos velocidad que la más ligera; este efecto es contrario a vuestra hipótesis. Es decir, de tu hipótesis de que el cuerpo pesado se mueve más rápido que el más ligero. Yo deduzco que el cuerpo pesado se mueve más lentamente.

SIMPLICIO: Estoy hundido... Esto es, ciertamente, superior a mi comprensión.

*Quando Simplicio retrocede confundido, Salviati sigue adelante con el argumento mostrando que es contradictorio suponer que un objeto caerá más rápidamente si su peso se incrementa en una pequeña cantidad. Simplicio no puede refutar la lógica de Salviati. Sin embargo, tanto el libro de Aristóteles como su propia observación, le dicen que un objeto pesado cae, al menos en cierta extensión, más deprisa que un objeto ligero.*

SIMPLICIO: Tu discusión es, realmente admirable, sin embargo, yo no encuentro fácil creer que un perdigón caiga con la misma velocidad que una bala de cañón.

SALVIATI: ¿Por qué no decir un grano de arena, tan rápidamente como una piedra de molino? Pero, Simplicio, tengo la esperanza de que no seguirás el ejemplo de muchos otros, que desvían la discusión de un punto principal y dicen que algunas de mis afirmaciones se apartan de la verdad por un cabello, y por este cabello esconden las faltas de otras teorías, tan gruesas como un cable de navío. Aristóteles dice que “una esfera de hierro de 100 libras, cayendo desde una altura de 100 cúbitos, llega a tierra antes que una bola de una libra haya caído un simple cúbito”. Yo digo que las dos llegan al mismo tiempo. Tú encuentras, al hacer la experiencia, que la más pesada adelanta a la más ligera en dos o tres dedos...; ahora no puedes esconder detrás de estos dos dedos los 99 cúbitos de Aristóteles, ni puedes mencionar mi pequeño error y al mismo tiempo pasar en silencio el suyo, mucho mayor.

NOTAS:

1.- 1 *cúbito*  $\approx$  50 cm. El cúbito es una medida derivada del antebrazo humano (del latín *cubitum* = codo)

2.- 1 *span*  $\approx$  23 cm (distancia aproximada de un palmo).

*FONT: Grup Recerca-Faraday (1988). Física Faraday. Barcelona. Teide*

## **QÜESTIONS:**

1.- Indica quines serien les prediccions que farien *Simplici i Salviati* en els següents casos:

a) una pedra de 5 kg es deixa caure al mateix temps que una altra de 4,5 kg.

b) una pedra de 1 kg es deixa caure des d'una muntanya i, mentre cau, es trenca en dues parts iguals.

2.- Una bossa de paper que conté una pedra es deixa caure des d'una finestra. Explica com prediu la teoria d'Aristòtil que la bossa i la pedra juntes cauen més lentament del que cauria la pedra sola. Utilitza ara la mateixa teoria per concloure que les dues juntes cauen més ràpid que la pedra sola.

3.- Descriu qualitativament com és el moviment de caiguda lliure d'un cos. Formula hipòtesis sobre com varia la velocitat d'un cos en caiguda lliure en funció del temps o del desplaçament.

*FONT: Grup Recerca-Faraday (1988). Física Faraday. Barcelona. Teide*

4.- Raona per què s'adjectiva la física aristotèlica com la física del "sentit comú"?

5.- Informa't de quins eren els tres protagonistes de l'obra de Galileu de la qual hem transcrit els fragments i de quin era el seu paper.

*FRAGMENT 2: Dos noves ciències (Galileu, 1638, Discorsi intorno a due nuove scienze). Definició de Galileu de **moviment uniformement accelerat** per al moviment de caiguda lliure.*

SALVIATI:... Cuando observo una piedra inicialmente en reposo, cayendo desde una posición elevada y adquiriendo de un modo continuo incrementos en su velocidad, ¿por qué no habría yo de creer que tales incrementos se realizan de la manera más simple y fácil para todo cuerpo? Si ahora examinamos la materia cuidadosamente, no encontramos adición o incremento más simple que aquel que se repite también del mismo modo. Podemos comprender esto fácilmente cuando consideramos la última relación entre tiempo y movimiento, pues justamente el movimiento uniforme se define y se piensa en términos de intervalos iguales de tiempo e iguales de distancias (de este modo, hablamos de movimiento uniforme, cuando las distancias recorridas en iguales son iguales); así también podemos pensar, de una manera similar, que los incrementos de velocidad son iguales para intervalos iguales de tiempo sin complicaciones... Y de esta manera, la definición del movimiento que vamos a discutir puede establecerse como sigue:

*"Un cuerpo se dice que está uniformemente acelerado cuando partiendo del reposo adquiere incrementos iguales de velocidad en iguales intervalos de tiempo"*

*FONT: Grup Recerca-Faraday (1988). Física Faraday. Barcelona. Teide*

## **QÜESTIONS:**

6.- Quina és la hipòtesi que fa Galileu? Reformúla-la utilitzant els símbols:  $v$ ,  $t$ ,  $a$ . Expressa-la en forma d'equació i gràficament.

7.- Per què creus que la hipòtesi de Galileu no pot contrastar-se experimentalment de forma directa?

8.- Quines variables resulten més fàcils de mesurar en la caiguda lliure d'un cos?

9.- Com podem relacionar el desplaçament ( $d$ ) amb el temps de caiguda a partir del gràfic  $v-t$  ?

10.- La relació obtinguda, és contrastable experimentalment? En cas negatiu modifica-la, tenint en compte la relació que existeix entre la velocitat final i el temps de caiguda, fins a aconseguir que sigui contrastable experimentalment.

11.- Dissenya un experiment per a comprovar la relació trobada entre  $d$  i  $t$  i pensa quines seran les dificultats pràctiques amb les quals et trobaràs. Proposa modificacions de l'experiment per tal de salvar aquestes dificultats.

12.- Realitza (si pots) l'experiment per tal de comprovar si el desplaçament és proporcional al temps al quadrat.

13.- Calcula l'acceleració de caiguda.

14.- Com comprovaries si l'acceleració depèn de la massa de la bola?

*FONT: Grup Recerca-Faraday (1988). Física Faraday. Barcelona. Teide*

### *FRAGMENT 3: Descripció de l'experiment de Galileu (dues noves ciències)*

SALVIATI: Tomemos una tabla de madera de unos 10 cúbitos de largo, medio cúbito de ancho y tres dedos de espesor. En su extremo superior hacemos un canal en línea recta, de una anchura aproximada a la de un dedo, este canal se suaviza frotándolo con pergamino, de manera que quede lo más pulido posible, para facilitar el deslizamiento por él de una bola muy redonda y suave construida del bronce más duro. Ahora colocamos la tabla en posición inclinada, elevando uno de los extremos en uno o dos cúbitos sobre el otro, y dejamos deslizar rodando la bola por el canal, anotando el tiempo requerido para el descenso. Repetimos esta experiencia más de una vez para estar seguros del tiempo de descenso y encontrar que la desviación entre dos observaciones nunca exceda de una décima de pulsación. Habiendo llevado a cabo esta operación hasta estar seguros de su realidad, dejemos rodar la bola desde una longitud de  $\frac{1}{4}$  del canal, y al medir el tiempo de descenso encontramos que es precisamente la mitad del anterior. Probemos ahora otras distancias, comparando el tiempo para recorrer la longitud total con el correspondiente a la mitad, dos tercios, tres cuartos o cualquier fracción de la misma. En tales experimentos, repetidos hasta un centenar de veces, siempre encontramos que las distancias recorridas están en la misma relación que los cuadrados de los tiempos, y esto se cumple para cualquier inclinación del canal a lo largo del cual la bola rueda...

Para la medida del tiempo empleamos una vasija grande de agua, colocada en una posición elevada; en la parte baja de esta vasija colocamos un tubo de vidrio de pequeño diámetro para formar un delgado chorro de agua que recogemos en una copa durante el tiempo del descenso; si para la longitud total del canal, o para una parte de la misma, el agua así recogida se pesa en una balanza de precisión, las diferencias y razones de estos pesos nos darán las diferencias y razones de los intervalos de tiempo, y esto con tal precisión que, aunque la operación fuese repetida una y otra vez, no se obtendrían discrepancias apreciables en los resultados.

*FONT: Grup Recerca-Faraday (1988). Física Faraday. Barcelona. Teide*



Imatge obtinguda de:

[http://www.liceoggalilei.it/immagini/foto/galileo\\_piano.jpg](http://www.liceoggalilei.it/immagini/foto/galileo_piano.jpg)

pintura de Giuseppe Bezzuoli (1784-1855):

<http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/isim.asp?c=300064>

### **QÜESTIÓ:**

15.- Fes una relació dels passos que va seguir Galileu des de la primera definició de moviment uniformement accelerat fins que va confirmar que la seva definició era útil per a descriure el moviment de caiguda lliure dels cossos. Identifica cada pas com a hipòtesi, deducció, observació, càlcul, etc. Quines idealitzacions i limitacions apareixen en l'exposició?

*FONT: Grup Recerca-Faraday (1988). Física Faraday. Barcelona. Teide*

### **Enllaços molt interessants:**

Simulació del pla inclinat:

<http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/esim.asp?c=500045>

i moltes més coses:

<http://galileo.imss.fi.it/>