

Hacia el 1600 Galileo ya había refutado convincentemente las ideas aristotélicas

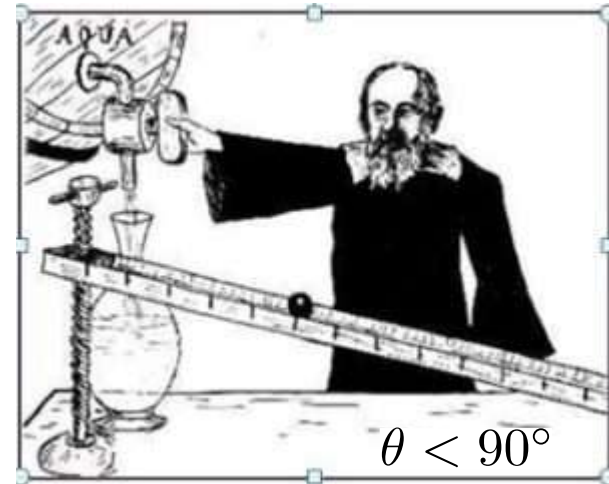
Ahora solo le restaba empezar todo de nuevo:



- Construir una nueva teoría de la caída libre
- No tenía un método para construir la teoría
- Construyó el método a medida que construía la teoría
- Le llevó todo el resto de su vida

# El experimento de las esferas rodantes en un plano inclinado

- en vez **observar** la caída libre **Galileo** se propuso **hacer mediciones precisas**
- tuvo que **diseñar un experimento** que facilitara sus mediciones
- **el problema** consistía en **medir precisamente el tiempo** de caída del cuerpo  
(tiempos **muy cortos** ----> **mucho error**)
- **gran intuición**: utilizar un **plano inclinado con esferas rodantes** de manera  
de **diluir la gravedad** con el ángulo de inclinación
- Cuando la **inclinación** es de **90 grado** -----> **caída libre** !



**Concretamente** el experimento consistió en:

**Medir el tiempo de caída desde distintas distancias**

$x_1=1\text{m}$ ,  $x_2=1,5\text{m}$ ,  $x_3=2\text{m}$ ,  $x_4=2,5\text{m}$ ,  $x_5=3\text{m}$  ----->  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$  se miden

Para medir el tiempo: **Galileo** utilizó un **clepsidra** (reloj de agua)

Recogía agua durante la caída,  $t \sim P_{\text{agua}}$ ,  $\frac{t_1}{t_2} = \frac{P_1}{P_2}$

DIST	TIEMPOS
$x_1 = 1\text{m}$	$t_1 = 1,538\text{ s}$
$x_2 = 2\text{m}$	$t_2 = 2,092\text{ s}$
$x_3 = 2,5\text{m}$	$t_3 = 2,264\text{ s}$
$x_4 = 2,8\text{m}$	$t_4 = 2,477\text{ s}$

# Análisis de los datos

$\frac{x_1}{x_2} = 0.5$	$\frac{t_1^2}{t_2^2} = 0.541$	$\frac{t_1}{t_2} = 0.735$	$\frac{t_1^3}{t_2^3} = 0.398$
$\frac{x_2}{x_3} = 0.8$	$\frac{t_2^2}{t_3^2} = 0.854$	$\frac{t_2}{t_3} = 0.924$	$\frac{t_2^3}{t_3^3} = 0.789$
$\frac{x_3}{x_4} = 0.893$	$\frac{t_3^2}{t_4^2} = 0.835$	$\frac{t_3}{t_4} = 0.914$	$\frac{t_3^3}{t_4^3} = 0.763$
$\frac{x_2}{x_4} = 0.714$	$\frac{t_2^2}{t_4^2} = 0.714$	$\frac{t_2}{t_4} = 0.845$	$\frac{t_2^3}{t_4^3} = 0.603$
$\frac{x_1}{x_4} = 0.357$	$\frac{t_1^2}{t_4^2} = 0.386$	$\frac{t_1}{t_4} = 0.621$	$\frac{t_1^3}{t_4^3} = 0.24$

Qué pueden concluir ?

Galileo concluyó:

$$x \sim t^2$$



**Ley observacional:**

La forma en que se comporta la naturaleza, y es verdadera

## Experimento -----> ley observacional

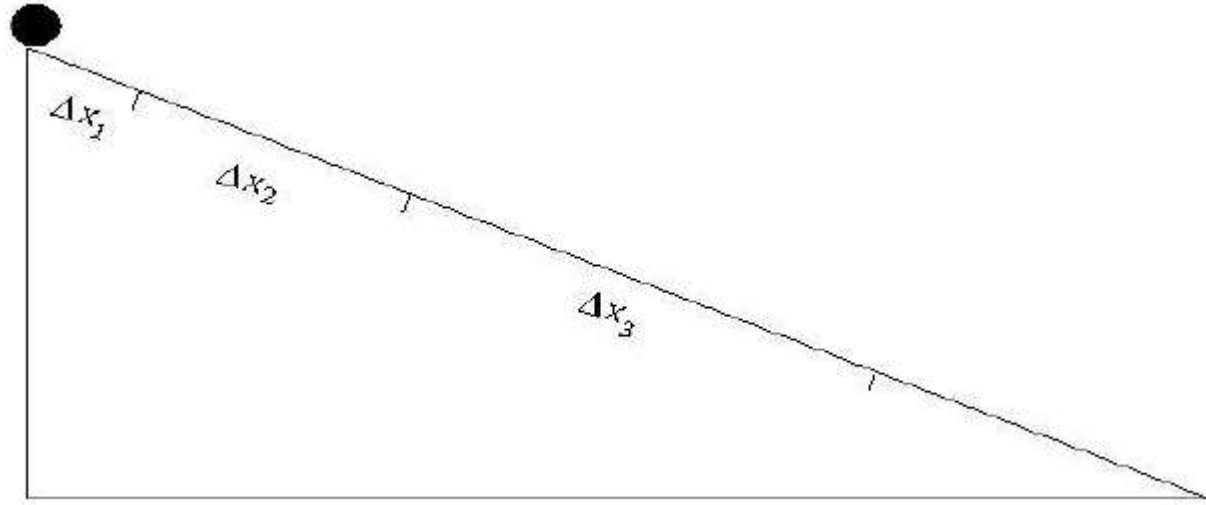
la distancia total recorrida durante cierto periodo de tiempo  
es proporcional al cuadrado del tiempo :

$$x \sim t^2 \text{ (ley observacional)}$$

Galileo demostró

**era equivalente** a decir: “la relación de las distancias recorridas  
en intervalos iguales de tiempo durante la caída sigue  
la sucesión de los números impares 1,3,5,7,9.....”

$$x \sim t^2$$



$\Delta x_1$  es la distancia recorrida en el primer intervalo de tiempo  $\Delta t$   
 $\Delta x_2$  es la distancia recorrida en el segundo intervalo de tiempo  $\Delta t$   
 $\Delta x_3$  es la distancia recorrida en el tercer intervalo de tiempo  $\Delta t$ , etc.

$$\Delta x_1 = 1^2$$

$$\Delta x_1 + \Delta x_2 = 2^2$$

$$\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 = 3^2$$

$$\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4 = 4^2, \text{ etc,}$$

$$\Delta x_2 = 4 - 1,$$

$$\Delta x_3 = 9 - 4,$$

$$\Delta x_4 = 16 - 9,$$

**1**

**3**

**5**

**7**

## La sucesión de los números impares

$$\Delta x_1/\Delta x_1 = 1 : \Delta x_2/\Delta x_1 = 3 : \Delta x_3/\Delta x_1 = 5 : \Delta x_4/\Delta x_1 = 7 : \Delta x_5/\Delta x_1 = 9, \text{ etc.}$$

el mismo estatus observacional      ley  $x \sim t^2$ .

Durante mucho tiempo **Galileo** no pudo avanzar más allá de esta ley observacional

En 1604 creía que la ley obs. se debía a que  $V \sim X$

Luego, deduce teóricamente esta ley observacional

asumiendo  $a = \text{cte}$

## Para Galileo **el movimiento uniforme**

*“era aquel cuyos espacios, recorridos en tiempos cualesquiera iguales, eran iguales entre sí”*

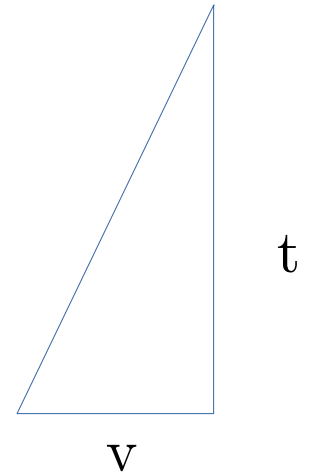
$$x = v \cdot t$$



## el **movimiento naturalmente acelerado**

*“era aquel que, partiendo del reposo, iba adquiriendo incrementos iguales de velocidad durante intervalos iguales de tiempo”*

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = a = cte$$





## Primer Teorema

*El tiempo en que un móvil recorre un espacio con un movimiento uniformemente acelerado desde el reposo es igual al tiempo en que el mismo móvil recorrería el mismo espacio con movimiento uniforme, cuyo grado de velocidad fuera la mitad del mayor y último grado de velocidad alcanzado en el movimiento uniformemente acelerado*

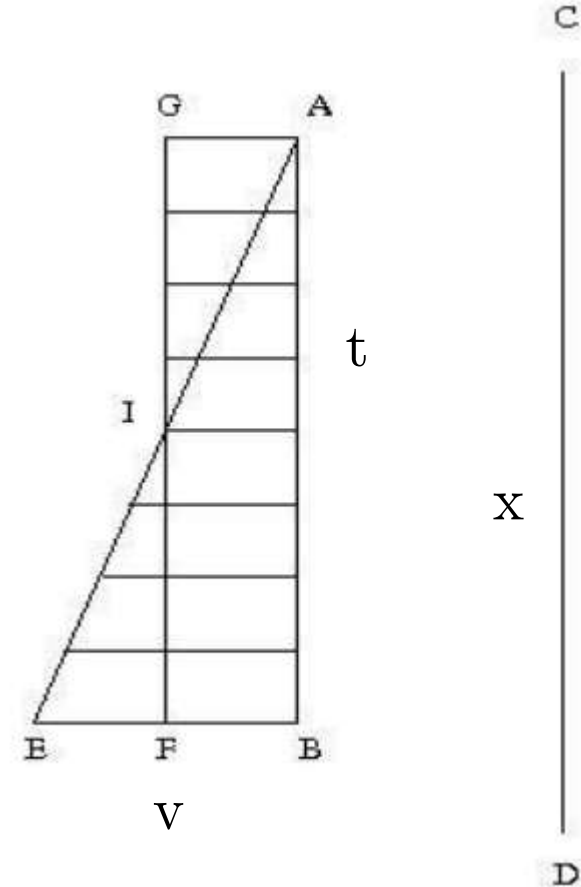
### *Demostración de Galileo (1633)*

- La suma de todas las paralelas del rectángulo **GABF** equivale a la suma de todas las paralelas del triángulo **EAB**

luego

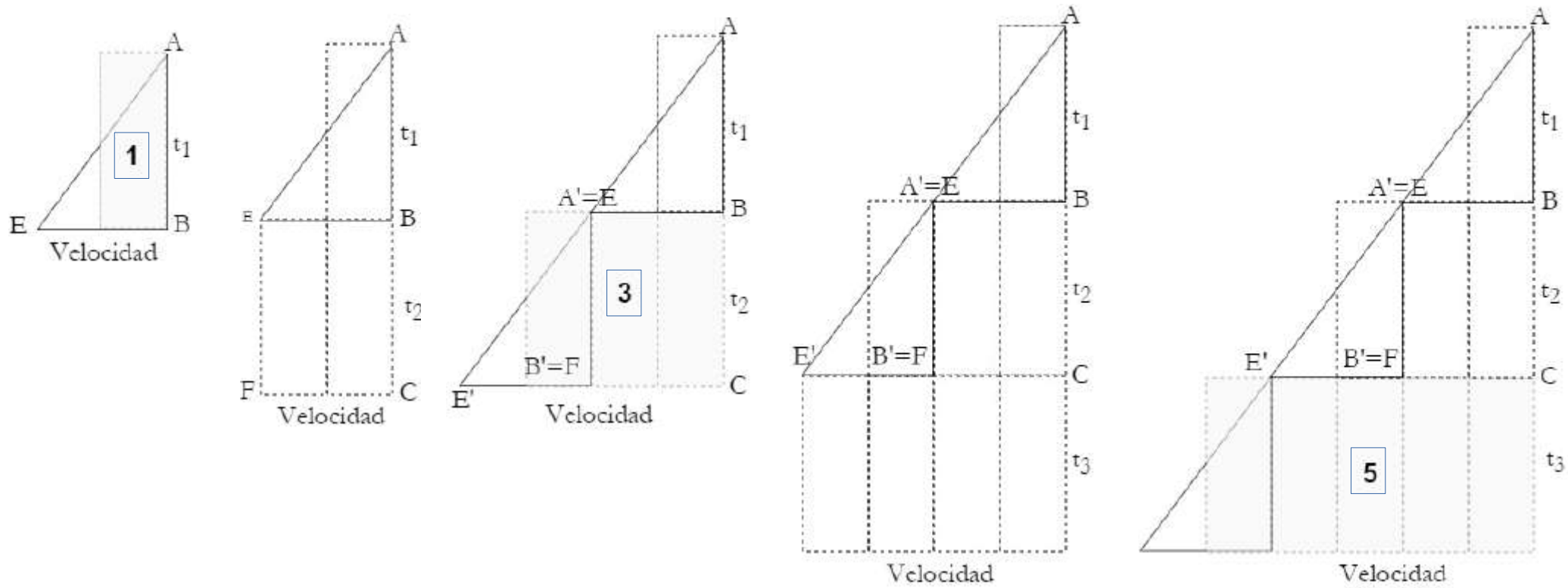
- La cantidad total de la velocidad de ambos mov. es la misma y equivale a la distancia recorrida

**Problema de la Calidad** (recordar)



# Deducción teórica de la ley observacional

a partir de  $a=cte$ , Galileo deduce la sucesión de los números impares

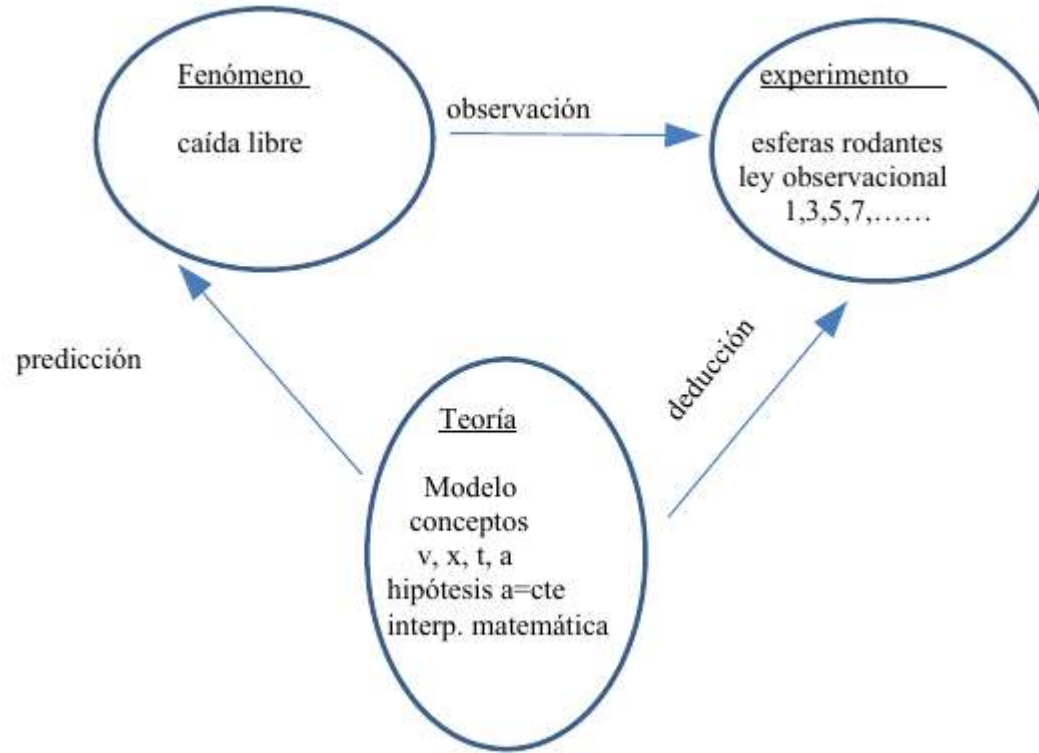


## Síntesis esquemática del método de Galileo

- la hipótesis consistió en asumir  $a=cte$
- representar el movimiento acelerado mediante triángulos permitió deducir matemáticamente la ley observacional (1,3,5,7....)
- haber demostrado matemáticamente (teóricamente) la ley observacional a partir de la hipótesis  $a=cte$  (imaginada por la mente) le permitió asignar el estatus de verdadera a la hipótesis  $a=cte$ .
- Criterio de verdad por correspondencia !

método hipotético deductivo contrastado con la experiencia,

# Método de Galileo- Método de la Mecánica- Método de la Física



## *Discurso sobre dos nuevas ciencias*

*Vamos a instituir una ciencia nueva sobre un tema muy antiguo. Tal vez no haya, en la naturaleza, nada más antiguo que el movimiento; y acerca de él son numerosos y extensos los volúmenes escritos por los sabios. Sin embargo, entre sus propiedades, que son muchas y dignas de saberse, encuentro yo no pocas que no hayan sido observadas ni demostradas hasta ahora. Se ha fijado la atención en algunas que son de poca importancia, como por ejemplo, que el movimiento natural de los graves en descenso se acelera continuamente; sin embargo no se ha hallado hasta ahora en qué proporción se lleve a cabo esta aceleración; pues nadie, que yo sepa, ha demostrado que los espacios, que un móvil en caída y a partir del reposo recorre en tiempos iguales, retienen entre sí la misma razón que tiene la sucesión de los números impares a partir de la unidad. Se ha observado que las armas arrojadas o proyectiles describen una línea en cierto modo curva; sin embargo nadie notó que esa curva era una parábola.*

Yo demostraré que esto es así, y también otras cosas muy dignas de saberse; y, lo que es de mayor importancia, dejaré expeditos la puerta y el acceso hacia una vastísima y prestantísima ciencia, cuyos fundamentos serán estas mismas investigaciones, y en la cual, ingenios más agudos que el mío podrán alcanzar mayores profundidades.

- Galileo **terminó el discurso** a los **71 años**
- en **prisión domiciliaria** --prácticamente ciego-- con la ayuda de su **discípulo Torricelli**.
- Finalmente, **logra sacar el manuscrito** de Italia y **publicarlo** en la editorial holandesa **Elsevier** en 1638.
- En 1642 Galileo **muere** a los **74 años**.