

TEMA 4a. LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA (I): Galileo Galilei



Emilio Cáceres Vázquez

Tema 4a: La revolución científica (I): Galileo Galilei

1. La revolución científica
2. El método de Galileo
3. Galileo y el estudio del movimiento



1. La revolución científica

Durante el s XVII la **filosofía natural**⁽¹⁾ se empieza diferenciar de su versión previa en cuatro aspectos:

- La nueva conceptualización del conocimiento
 - Hecho, descubrimiento, ley y teoría
- Desarrollo del método experimental
- Profunda conexión de lo teórico con lo práctico.
- Institucionalización de la ciencia

⁽¹⁾ Esta era la forma de referirse a lo que a partir del siglo XIX se llamará ciencia.

1. La revolución científica

Nuevos conceptos: los hechos

Aparecen unas nociones que hasta entonces no se consideraban o se hacía de forma diferente.

Los hechos

Hasta el s XVI la ciencia se refería a los **fenómenos** observables, perceptibles por cualquier observador.

Sin embargo en esta época se empieza a usar la idea de **hecho** para referirse a una realidad verificable, aunque no fuera perceptible por los sentidos, ni siquiera indirectamente.

1. La revolución científica

Nuevos conceptos: los hechos

Las órbitas de Kepler se consideraban hechos:

- no eran observables directa ni indirectamente
- pero eran verificables indirectamente, en este caso mediante cálculos.

Para Ptolomeo los epiciclos no eran hechos, eran conjeturas para explicar los fenómenos, pero no los consideraban reales.

1. La revolución científica

Nuevos conceptos: los descubrimientos

Los descubrimientos

Relacionado con esta noción de hecho, está la de **descubrimiento**.

En la antigüedad se suponía que el conocimiento se basaba en la observación de los fenómenos, de forma, que al margen de cosas sin importancia, se conocía todo.

Pero la idea de hecho y su relación con los sentidos abren la puerta a la posibilidad de descubrirlos.

1. La revolución científica

Nuevos conceptos: los descubrimientos



¿Qué descubrió Américo Vesputio?

Al no ser perceptible en principio, los hechos estaban esperando ocultos a los **descubridores**.

El descubrimiento de América es un ejemplo de realidades esperando a ser descubiertas.

Además, estos descubrimientos son muchas veces buscados, lo que da pie a saber quien los descubre y relacionar el nuevo hecho con su descubridor.

América, leyes de Kepler, aparato de Golgi, la gravedad de Newton, etc

1. La revolución científica

Nuevos conceptos: las leyes

Siguiendo con aspectos vinculados a los hechos, está el concepto de **ley**.

Se entiende como una formulación **matemática** de un hecho con dos características importantes:

- La **precisión**: no solo por su naturaleza matemática en si, sino por sus consecuencias en las mediciones y en las predicciones.
- La **universalidad**: es válida en todo momento y lugar, la investigue quien la investigue.

1. La revolución científica

Nuevos conceptos: las leyes

Tercera ley de Kepler

$$R^3 = T^2 \cdot K$$

La relación encontrada por Kepler entre los periodos orbitales y las distancias de los planetas al Sol, es un ejemplo paradigmático de ley pues es...

- matemáticamente precisa, tanto en su formulación como en su descubrimiento.
- válida para los planetas y los satélites de Júpiter
- relativa a las órbitas planetarias elípticas como **hechos**, no fenómenos observables
- conocida por su descubridor

1. La revolución científica

Nuevos conceptos: las teorías

La idea de **teoría** existía en la antigüedad, con un significado relacionado con la contemplación y la **especulación** acerca de sus causas últimas.

Al buscar una **explicación última** de los fenómenos proponían una teoría (teorizaban), una especulación.

En esta especulación, la razón pura era clave

Los sólidos regulares, los cinco elementos, las esferas, etc. Son ejemplos de esta época.

1. La revolución científica

Nuevos conceptos: las teorías

Ahora aparece como un **sistema conceptual** que permite relacionar numerosos hechos y predecirlos.

Las causas últimas son, al menos en principio, menos importantes.

Una teoría describe los hechos como las leyes, pero de forma más general, y a partir de conceptos más amplios.

La teoría de la gravedad de Newton es un conjunto de leyes que explican hechos, no sus causas.

1. La revolución científica

Nuevos conceptos Un ejemplo

Observamos que un cuerpo cae al suelo, eso es un **fenómeno**.

Pero el **hecho** es que la Tierra y el cuerpo se atraen mutuamente y como resultado se aproximan.

Esto no es inmediatamente obvio, sino que debe ser **descubierto**, en este caso por Newton.

Éste formula una **ley**⁽¹⁾ matemáticamente⁽²⁾ precisa y universal encuadrada dentro de una **teoría** que lo describe pero no da una explicación causal última

⁽¹⁾ Dos cuerpos se atraen con una fuerza directamente proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias

⁽²⁾

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

1. La revolución científica

El método experimental

La experimentación ya se llevaba a cabo en la antigüedad, aunque no de la forma moderna.

Aristóteles abrió huevos serialmente a lo largo de los 21 días que tarda en eclosionar un huevo de gallina con la intención de observar lo que ocurría

También hizo colecciones, disecciones, etc, pero eran más observaciones planificadas o forzada de los fenómenos naturales que verdaderos experimentos.

1. La revolución científica

El método experimental

Un experimento es la construcción detallada y reproducible de un **sistema artificial** en el que se pueden observar ciertos fenómenos de forma controlada

Los **experimentos** necesitan de un marco teórico⁽¹⁾ que los valide como relevantes para la producción de conocimiento.

Permite forzar situaciones excepcionales para recabar datos y para comprobar predicciones.

⁽¹⁾ Este aspecto lo desarrollamos en el tema 4 de la asignatura de introducción al pensamiento científico del primer cuatrimestre

1. La revolución científica

El método experimental



Hasta 1600 no surge como actividad “reglada”, siendo **William Gilbert** y su libro sobre imanes el primer ejemplo significativo.

Gilbert describe muchos experimentos con imanes, ámbar frotado, diferentes metales, etc de los que extrae conclusiones.

Como curiosidad, durante ese siglo siguió siendo castigado con azotes que el aliento de un timonel naval inglés oliese a ajo por miedo a que desmagnetizase la brújula del barco

1. La revolución científica

El método experimental

Otros experimentos de la época, fueron:

- Los de **Evangelista Torricelli** acerca de la presión atmosférica, de los que deriva el barómetro.
- Los de **Otto von Guericke** y sus hemisferios de Magdeburgo, con los que mostró la enorme fuerza de la presión atmosférica.



1. La revolución científica

La conexión con lo práctico

La visión organicista considera el mundo, sobre todo lo vivo, como más que sus elementos componentes.

Aunque hay visiones que tienden a lo mágico como el holismo, el organicismo moderno se basa más en la importancia de la organización que en la de las partes y admite la existencia de las propiedades emergentes.

La teoría de sistemas estaría cerca de la visión moderna del organicismo

A partir del renacimiento se empieza a disolver la barrera social entre “sabios” y “artesanos”:

Los nuevos descubrimientos se buscan en gran medida por su relevancia práctica en la navegación, la cartografía, la ingeniería militar, la minería, etc.

El paradigma **mecanicista**, visión del mundo como una máquina en el que toda la causalidad se debe a la influencia física entre entidades predominó sobre la visión **organicista** de la antigüedad.

1. La revolución científica

La conexión con lo práctico

El reloj será un símbolo desde el s XVI, tanto como paradigma de mecanicismo como de la vinculación entre ciencia y tecnología.

En el s XIX se convertirá en el metáfora del diseño divino para luchar contra las tesis evolucionistas de la 2ª revolución científica, la darwinista.

Aunque esa conexión entre la teoría y su aplicación práctica comienza en esta época, es más una aspiración y a poca escala

La verdadera explosión de la tecnología será en el siglo XIX cuando se aplique a nivel industrial.



1. La revolución científica

Institucionalización de la ciencia

⁽¹⁾ La rama de la filología llamada **crítica textual** analiza estas variaciones. La **stematología** realiza un cladograma que vinculan las diferentes versiones en busca del “original”

En realidad también hay errores en las copias impresas, aunque muchos menos y que remite a errores tipográficos en las imprentas.

La **imprensa** resultó clave en la revolución científica al marcar unas diferencias cualitativas⁽¹⁾ entre los libros impresos y los copiados a mano. Entre ellas:

Fidelidad de la copia

Todos los libros impresos son iguales, mientras que los copiados podían llevar errores, interpretaciones, licencias artísticas, etc.

Algo especialmente palpable en los gráficos y diagramas.

1. La revolución científica

Institucionalización de la ciencia

⁽¹⁾ Galileo consiguió que le triplicaran el sueldo por regalar un telescopio de su propia manufactura.

Después logró y vivir en le palacio de los Médici y ser nombrado filósofo de la corte (más prestigioso que profesor) por denominar estrellas medíceas a los satélites de Júpiter

Aumento de la distribución

El tiempo para realizar las copias se redujo tanto que el número de ejemplares aumentó radicalmente.

Esto facilitaba la distribución de los ejemplares y por lo tanto de la expansión y del intercambio de ideas.

Como consecuencia aparece la carrera por la prioridad, algo que preocupó mucho a Galileo y a Kepler, que se termina relacionando con el patrocinio como fuente económica⁽¹⁾ y de prestigio.

1. La revolución científica

Institucionalización de la ciencia

Instituciones científicas

La ciencia se separa de las universidades a la que consideraban antiguos centros vinculados con el aristotelismo, la escolástica y la teología

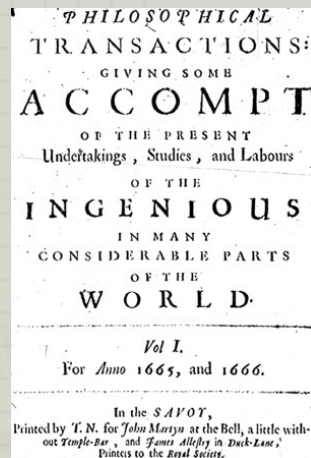
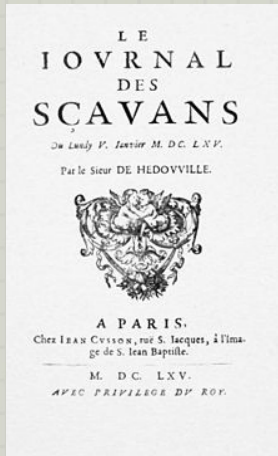
Ahora se centra en las instituciones científicas, que que mantienen cierto vínculos con las universidades.

Destacan la Accademia dei Lince (1603) o la Royal Society (1660)



1. La revolución científica

Institucionalización de la ciencia



Publicaciones científicas

Son estas instituciones las que comienzan a publicar con cierta periodicidad lo que hoy se denominan revistas científicas o *journals*. Se caracterizan por:

- la regularidad de las publicaciones: semestral, trimestral, anual...
- la revisión por pares, lo que implica que la decisión de publicar un texto depende del análisis realizado por iguales, es decir, otros científicos

2. El método de Galileo

Bacon y el inductivismo

⁽¹⁾ Diéguez señala que eso es en opinión de algunos, porque para filósofos de la ciencia del siglo XX como Alexander Koyré en realidad no aportó nada significativo ni original.



Francis Bacon (1561-1626) fue un filósofo inglés que reformuló el método aristotélico en su obra **Novum organon** de 1620

Bacon desarrolló un método científico inductivo – experimental⁽¹⁾ similar al antiguo pero añadía a la recopilación de datos positivos la importancia de los datos negativos, esto es, la falsación.

“la instancia negativa es más poderosa a la hora de establecer un axioma verdadero”.

2. El método de Galileo

Bacon y el inductivismo

Pero Bacon era contrario a dos elementos cruciales en el método de Galileo:

- Negaba la importancia de las matemáticas
- Era contrario al diseño experimental

Sin embargo, aunque la física se desarrolló en torno al método de Galileo y Descartes, el modelo baconiano triunfaría en el s XIX en las nuevas ciencias de la geología y la biología evolucionista.

2. El método de Galileo

El método de Galileo

⁽¹⁾ El principal aporte de Descartes a la matemática fue la geometría analítica, es decir, la representación mediante ecuaciones de la geometría euclidiana

La clave fue la creación de un eje de referencia ortogonal en las tres direcciones espaciales en base a las cuales se podían representar puntos, rectas y planos.

Sin embargo, en cuanto al método, Weinberg, como científico, dice que la deducción está sobre valorada y alaba el experimentalismo de Galileo.

El método matemático-deductivo elaborado por **Descartes⁽¹⁾**, fue desarrollado por Galileo, e incluía justo lo que negaba Bacon:

- aislar los fenómenos de su contexto natural, estudiando tan sólo los aspectos de dichos fenómenos que resultaban medibles
- y erigiendo luego un vasto cuerpo de teoría matemática sobre los resultados.

2. El método de Galileo

El método de Galileo

Aún así, cuando Galileo realizaba un experimento, era generalmente para ilustrar una conclusión ya alcanzada por un razonamiento matemático.

Es decir, su enfoque no era tanto su actitud hacia la experimentación como en su confianza acerca de la relevancia de las matemáticas.

Por tanto⁽¹⁾, la revolución galileana se puede reducir al descubrimiento del lenguaje de la naturaleza y que las matemáticas son la gramática de la ciencia.

⁽¹⁾ Diéguez citando a Koyré

3. Galileo y el movimiento

Durante el Renacimiento el movimiento dejó de verse como un proceso ontológico⁽¹⁾ orientado a completar la naturaleza de los seres para entenderse como un mero desplazamiento local.

Ya los escolásticos tardíos (Buridan y Oresme) analizaron por separado los efectos (**cinemática**) de las causas (**dinámica**) y junto a los estudios de Arquímedes de la **estática** y la hidrostática la nueva física se centró en el análisis computable del movimiento sin atender a cuestiones metafísicas.

⁽¹⁾ La tendencia de la tierra a ir al centro, del fuego a subir, etc...

3. Galileo y el movimiento

El **movimiento uniforme** pasó a verse como el estado neutral de cuerpos no sometidos a una fuerza, al igual que el reposo.

La **aceleración** dejó de verse como un **apetito** de los cuerpos por ir a su sitio natural como un efecto de una causa violenta para convertirse en el rasgo central de los cuerpos que caen.

El **movimiento circular uniforme** pasó a verse también como el resultado de una fuerza central.

3. Galileo y el movimiento

⁽¹⁾ Se tendía a ver la caída de los graves como un caso de la caída en un fluido, por lo que la masa específica (densidad) era clave.

Galileo fue una figura central en esta transformación. Estudió diferentes ámbitos de la física, aunque su mayor aportación fue en el campo de la **cinemática**.

Su comprensión resultaba crucial para el avance tecnológico y militar, por ejemplo en la artillería.

Las investigaciones mecánicas se basaban hasta entonces sobre todo en la estática⁽¹⁾ de Arquímedes.

3. Galileo y el movimiento

Además, en la época de Galileo, el movimiento era también era un problema central para resolver los problemas de la nueva astronomía heliocéntrica.

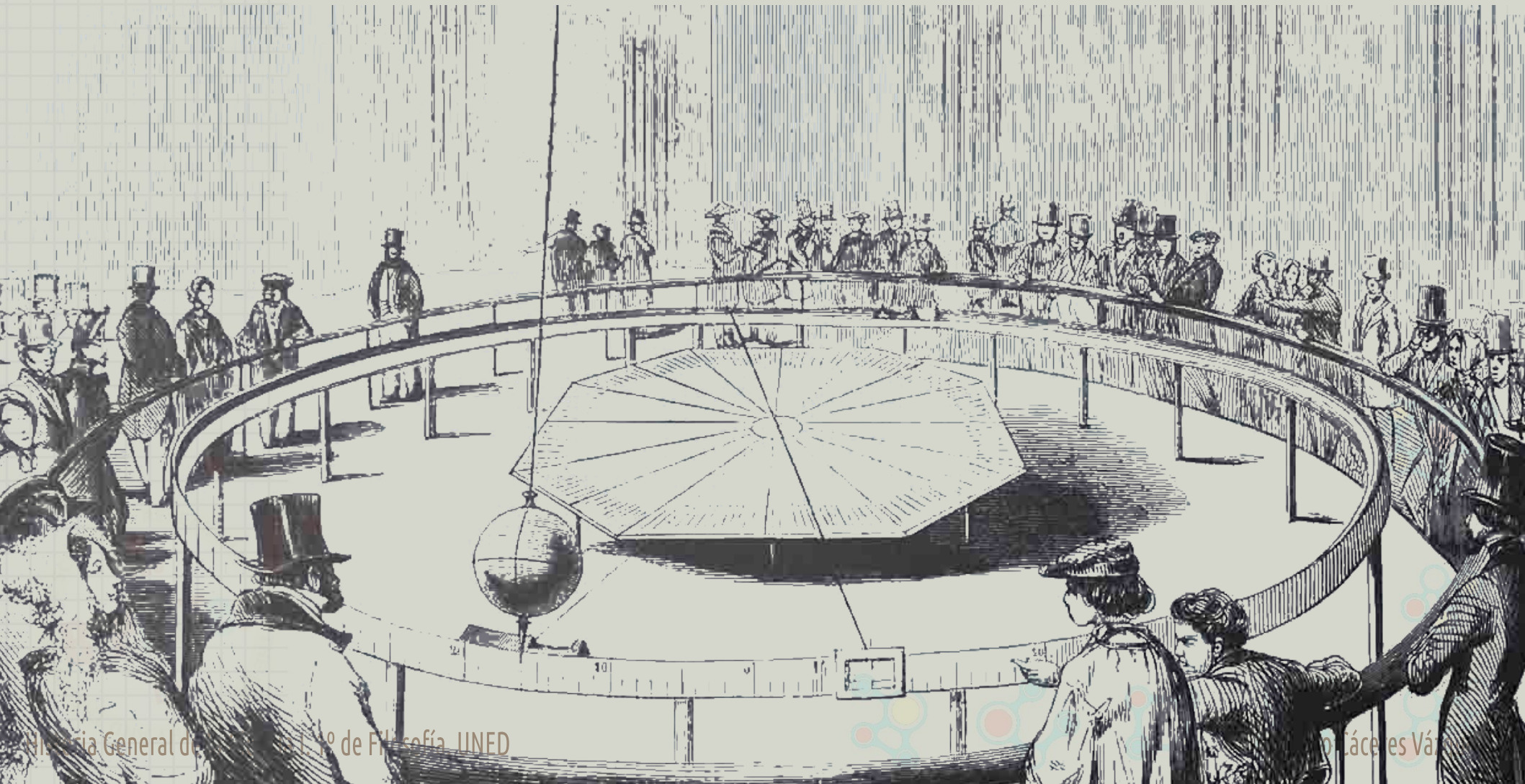
- ¿qué impulsa a los planetas en sus órbitas?
- ¿por qué no se observa el movimiento terrestre?,

Sobre todo este último aspecto era un problema urgente para hacer creíble⁽¹⁾ el movimiento terrestre.

⁽¹⁾ Como apunta jpzb en sus vídeos, notamos si nos movemos. Si vamos en un coche sabemos si vamos hacia delante o si giramos, al igual que notamos si vamos más deprisa o más despacio.

3. Galileo y el movimiento

No fue hasta la segunda mitad del s XIX cuando se demuestra experimentalmente el movimiento de la Tierra mediante el **péndulo de Foucault**



3. Galileo y el movimiento

En el problema concreto del movimiento local, la física de **Aristóteles** era claramente insatisfactoria,

No solo en la caída de graves, sino también en los lanzamientos horizontales y verticales

Decía que los cuerpos al caer aceleraban hasta su velocidad natural y luego la mantenían.

Además, cuando más denso era un objeto caía más deprisa, como en un fluido.

3. Galileo y el movimiento

Los primeros estudios de Galileo acerca del movimiento lo enfocaban más bien como un problema de hidrostática.

Es decir, se estudiaba como la caída de cuerpos sumergidos en el aire u otros fluidos.

Desde esta óptica asumían una definición errónea de movimiento acelerado como una **velocidad que dependía de la distancia recorrida.**

3. Galileo y el movimiento

La Escuela de Merton

Sin embargo la noción correcta de aceleración ya había sido formulada por la **Escuela de Merton** en el s. XIV y desarrollada por los citados Buridán, Oresme o Domingo de Soto.

Estos propusieron que el incremento de velocidad que supone la aceleración es **proporcional al tiempo transcurrido**, no al espacio recorrido.

Sin embargo, la escuela de Merton no pasó de hacer especulaciones dialécticas sin comprobarlas.

3. Galileo y el movimiento

La Escuela de Merton

Por tanto, había dos visiones de la aceleración:

La proporcional al espacio:

- Un grave que cae 2 **metros** va al doble de velocidad que cuando llevaba recorrido 1 metro.

La proporcional al tiempo:

- Un grave que cae durante 2 **segundos** va al doble de velocidad que cuando llevaba 1 segundo

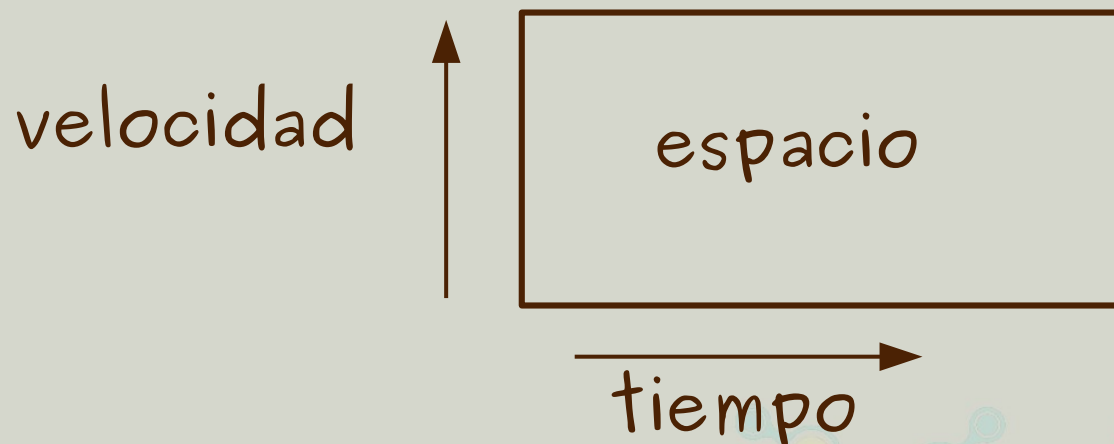
3. Galileo y el movimiento

La Escuela de Merton

La Escuela de Merton usó una herramienta gráfica similar a las coordenadas cartesianas

Representaban en horizontal el tiempo transcurrido y en vertical, la velocidad alcanzada.

Asumían que el espacio recorrido era proporcional al área que quedaba entre velocidad y el tiempo



3. Galileo y el movimiento

La Escuela de Merton

Partimos de dos cuerpos C_1 y C_2 que se mueven:

- C_1 con m.u.
- C_2 con m.u.a

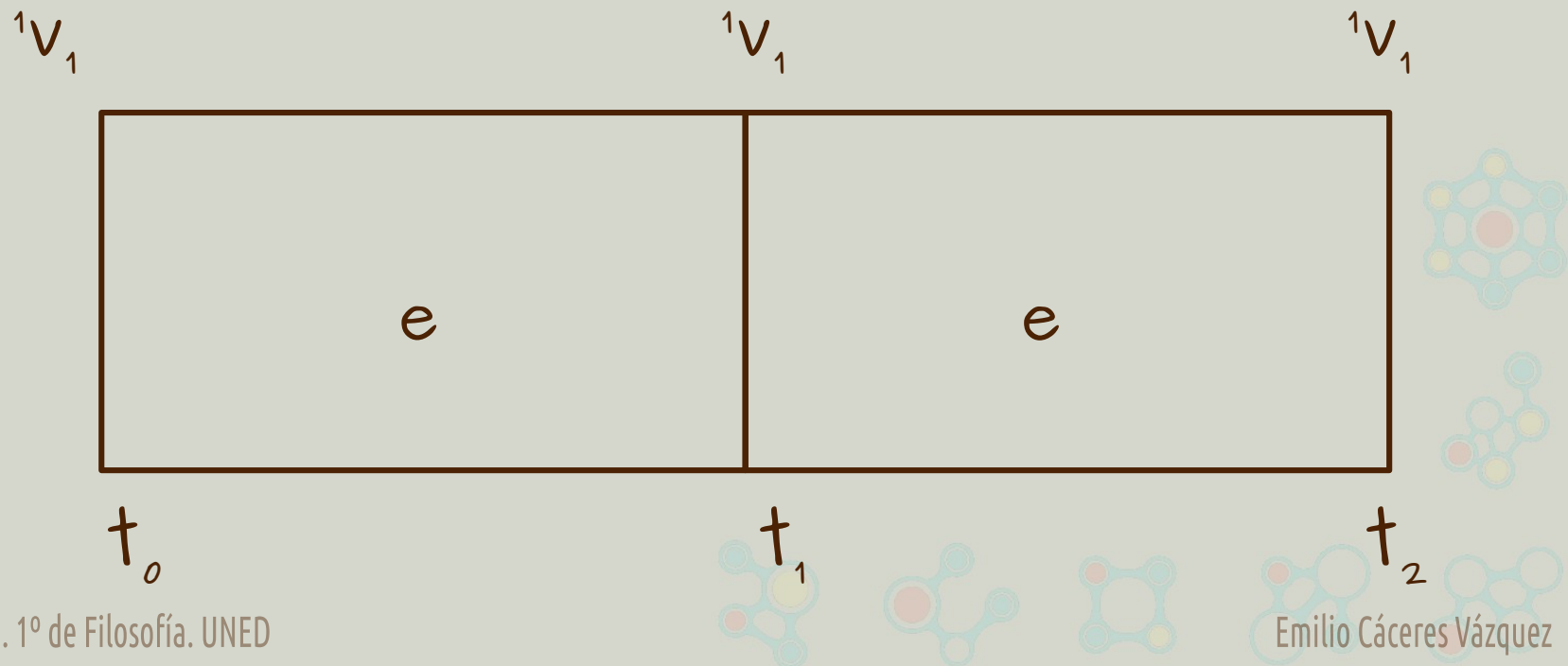
Y los estudia conforme pasan de t_0 a t_1 y a t_2

- C_1 partirá de v_1 y la mantendrá
- C_2 partirá de v_0 pasará a v_1 y luego a v_2

3. Galileo y el movimiento

El cuerpo 1, no variará su velocidad y recorrerá distancias iguales en tiempos iguales equivalentes a las áreas de los rectángulos.

En total recorre $2e$

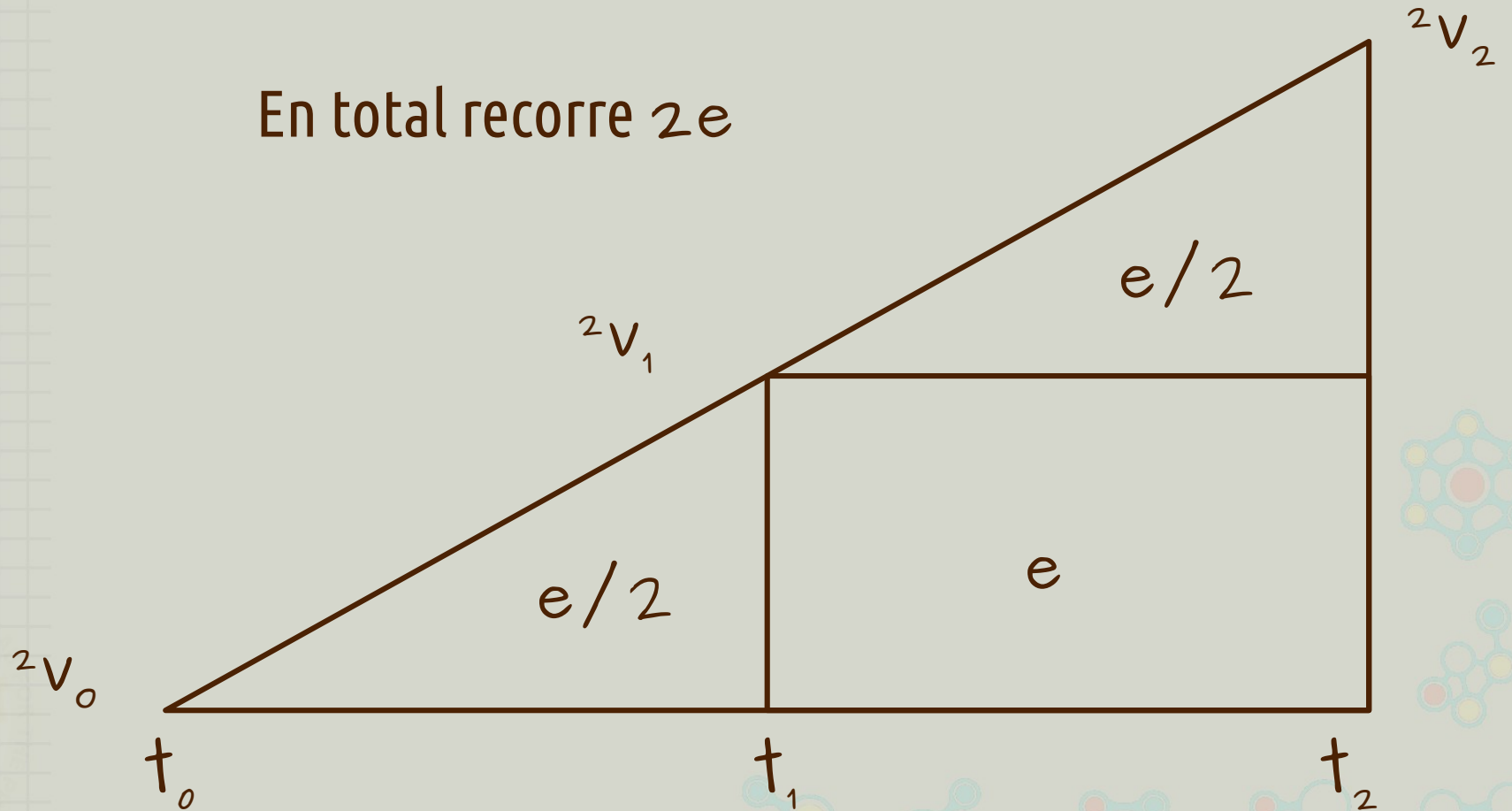


3. Galileo y el movimiento

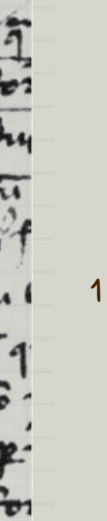
La Escuela de Merton

El cuerpo 2, variará su velocidad y recorrerá distancias diferentes en tiempos iguales, $e/2$ en el primer periodo y $e+e/2$ en el segundo

En total recorre $2e$



La Escuela de Merton



- C_1 recorre en total 2e manteniendo la velocidad
- C_2 recorre el mismo 2e doblando la velocidad



3. Galileo y el movimiento

La Escuela de Merton

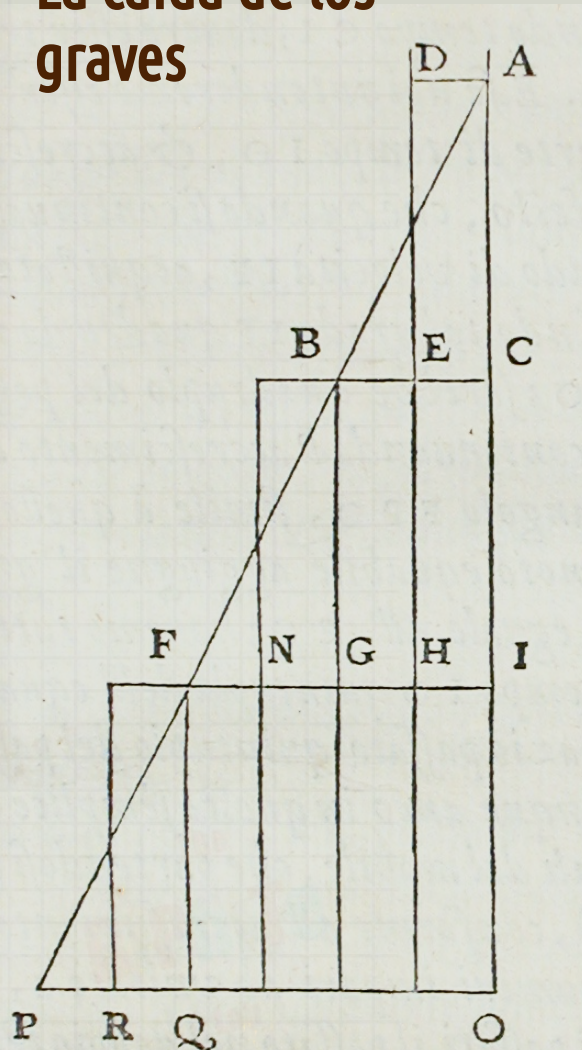
Regla de Merton

La distancia recorrida en un tiempo determinado por un cuerpo en movimiento uniformemente acelerado y que empieza a moverse desde el reposo es igual a la distancia recorrida en ese mismo tiempo por un cuerpo que se mueve a una velocidad constante igual a la mitad de la velocidad final del primero.

Pero esta regla era un teorema deducido a partir de una suposición que nunca comprobaron.

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves



Galileo aplicó la regla de Merton a la caída de un cuerpo y lo representó de forma similar:

- Ahora la vertical es el tiempo
- La horizontal la velocidad
- Las superficies siguen siendo el espacio recorrido

Pero al contrario que los escolásticos de los que procede la idea, va a extraer una ley matemática y posteriormente lo comprobará experimentalmente.

3. Galileo y el movimiento

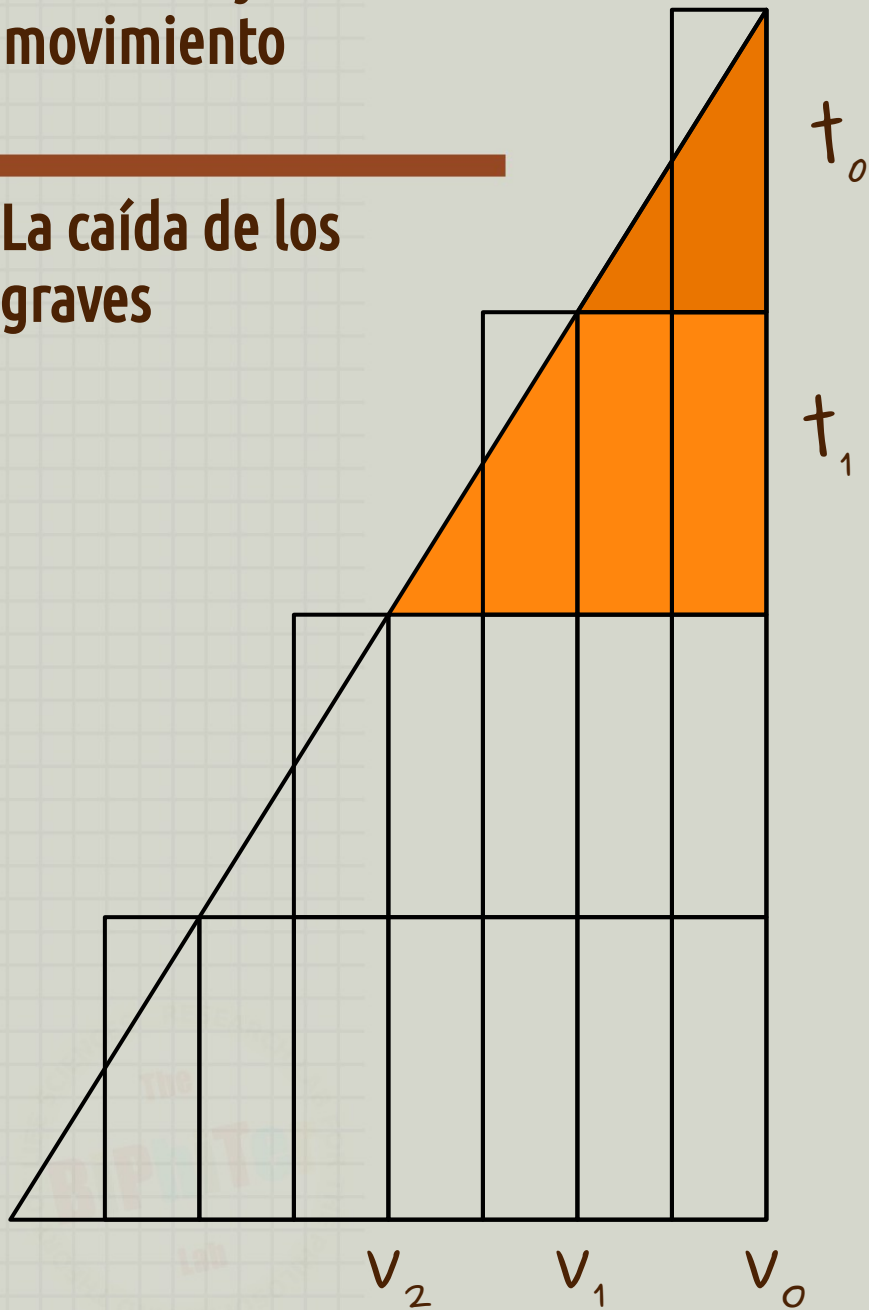
La caída de los graves



En la 1ª unidad de tiempo, habrá recorrido 1 unidad de distancia y duplicado la velocidad.

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves

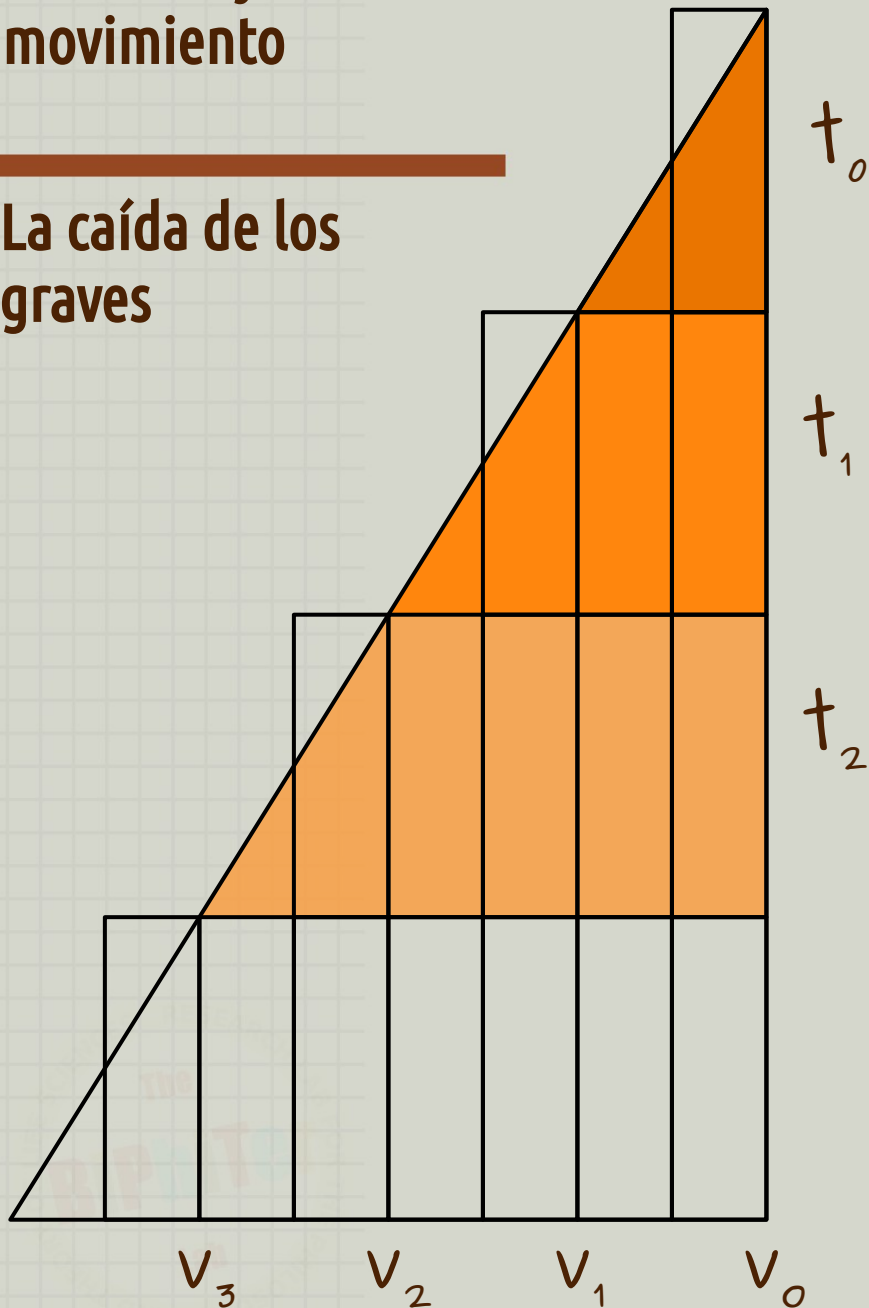


En la 1ª unidad de tiempo, habrá recorrido 1 unidad de distancia y duplicado la velocidad.

En la 2ª unidad de tiempo, habrá recorrido 3 unidades de distancia y duplicado la velocidad

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves



En la 1ª unidad de tiempo, habrá recorrido 1 unidad de distancia y duplicado la velocidad.

En la 2ª unidad de tiempo, habrá recorrido 3 unidades de distancia y duplicado la velocidad

En la 3ª unidad de tiempo, habrá recorrido 5 unidades de distancia y duplicado la velocidad

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves



En la 1ª unidad de tiempo, habrá recorrido 1 unidad de distancia y duplicado la velocidad.

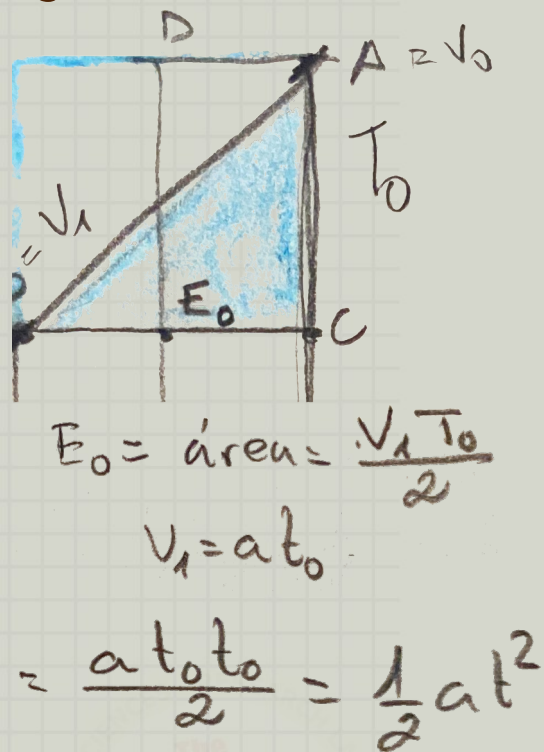
En la 2ª unidad de tiempo, habrá recorrido 3 unidades de distancia y duplicado la velocidad

En la 3ª unidad de tiempo, habrá recorrido 5 unidades de distancia y duplicado la velocidad

En la 4ª unidad de tiempo, habrá recorrido 7 unidades de distancia y duplicado la velocidad

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves



Si lo vemos de forma acumulada...

- En 1^{ud} de tiempo recorre 1 de distancia
- En 2^{uds} de tiempo recorre $(1+3)= 4$ de distancia
- En 3^{uds} de tiempo recorre $(1+3+5)= 9$ de distancia
- En 4^{uds} de tiempo recorre $(1+3+5+7)= 16$ de distancia

Luego la **distancia** recorrida por un cuerpo que cae es **proporcional al cuadrado del tiempo de caída**

$$e = k \cdot t^2 \quad (1)$$

⁽¹⁾ Hoy conocemos la fórmula y su deducción a partir de los cálculos de Galileo es esta. (Gracias Federico)

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves

⁽¹⁾ El primer experimento conocido de caída libre lo llevo a cabo Simon Stevin en Holanda en 1586

Esta reflexión de Galileo sobre la regla de Merton era difícil de llevar a cabo en una caída libre⁽¹⁾ debido a la poca precisión de los instrumentos de la época.

Para resolverlo, se plantea que en un plano inclinado el comportamiento debe ser el mismo, pero más lento y por tanto lo podrá medir.

Aún así, tendrá que diseñar el experimento.

Pero, ¿es esta suposición cierta?

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves

Galileo justificó que la caída por un plano inclinado es uniformemente acelerada, aunque con una aceleración menor al de caída libre

Esta aceleración era inversamente proporcional a la inclinación del plano.

La clave de los argumentos los basó en sus estudios sobre los **péndulos** simples.

Observó que la clave del comportamiento de éstos se debía **solo** a la altura desde la que se soltaba.

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves

En un péndulo, al soltar una masa situada en **C** pasa por **B** y sube hasta **D** situado a la altura de **C**

Si interponemos un objeto en la cuerda en **E** o en **F** se comprueba que llegará a **G** e **I** respectivamente, pero siempre hasta la misma altura de **D**

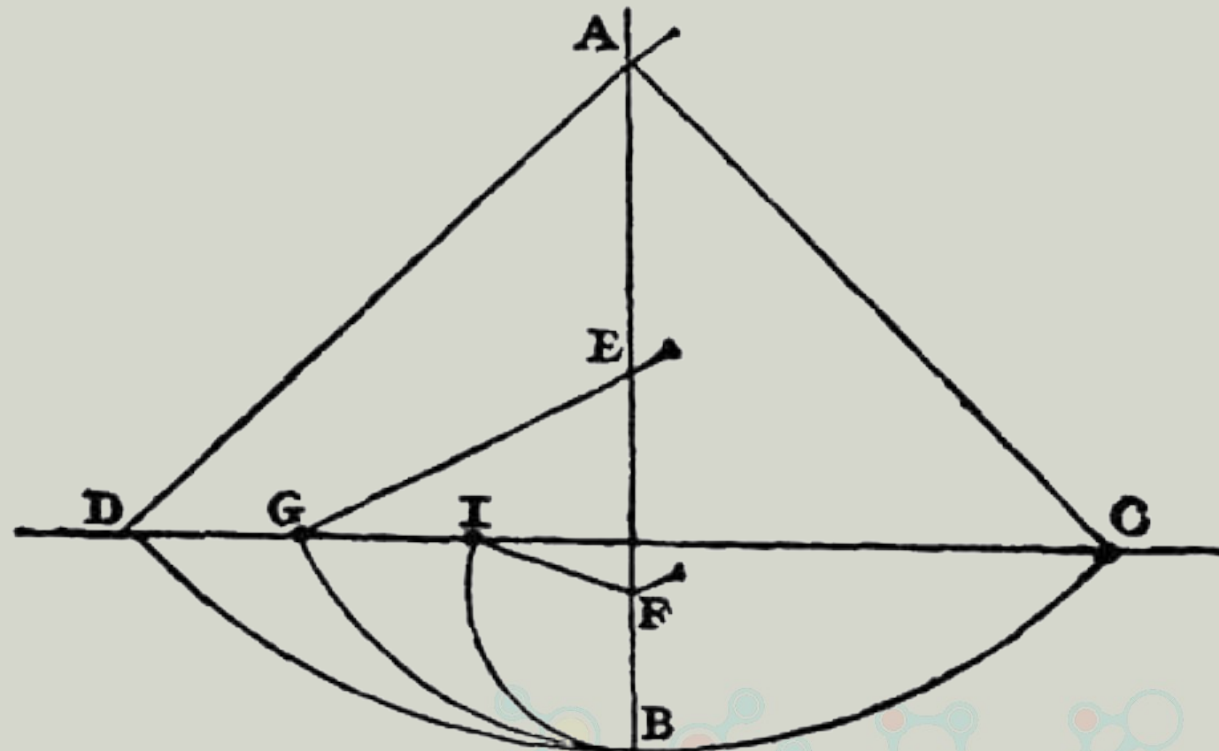


Fig. 46

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves

Su propuesta era que la altura depende del **momento** o **cantidad de movimiento** que el péndulo tiene en $\mathcal{B}$ que depende solo de la altura desde el que se suelta, no de la trayectoria.

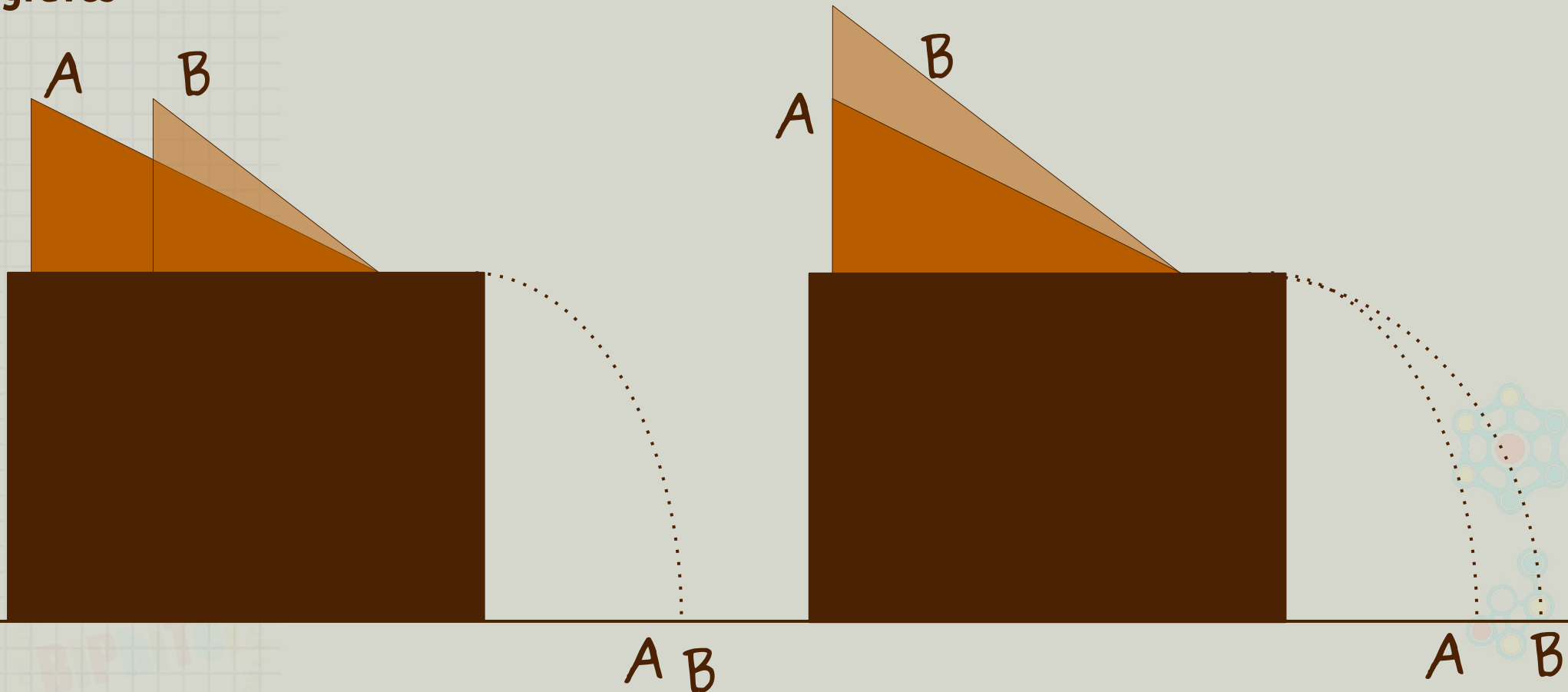
Extrapoló esta idea al plano inclinado, asumiendo que el movimiento sobre el plano depende de la altura y no del espacio recorrido.

Por tanto podría usar un plano inclinado como análogo de una caída libre.

3. Galileo y el movimiento

Aun así, demostró la dependencia exclusiva de la altura del plano con varios experimentos.

La caída de los graves



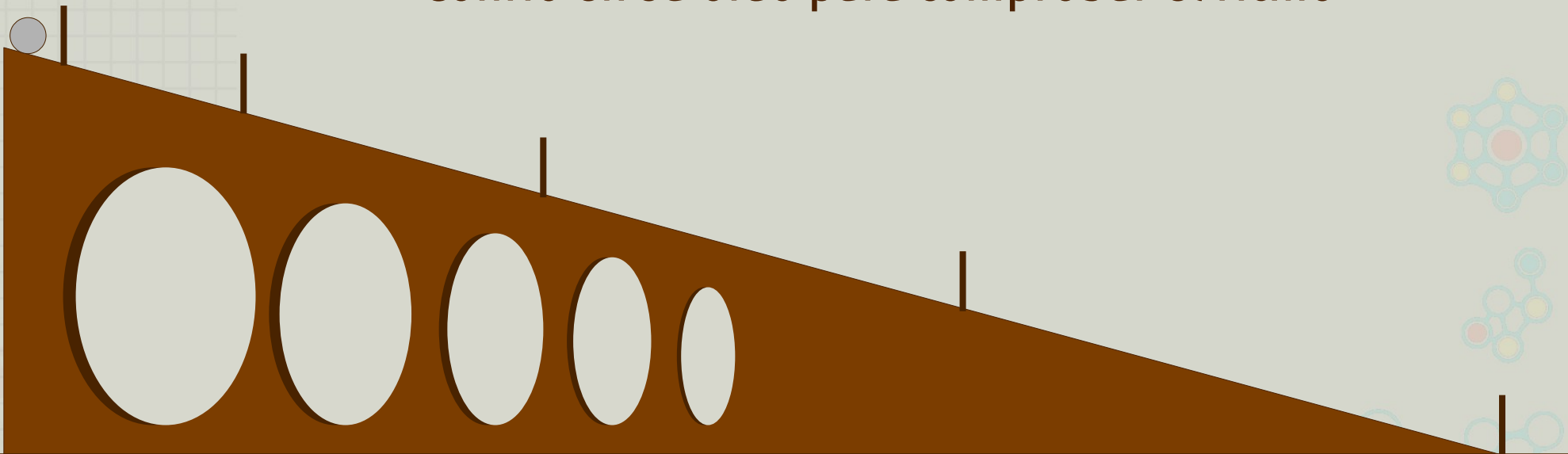
3. Galileo y el movimiento

La aplicación de Galileo

Diseñó un plano dividido y lo dividió en separados entre si a 1, 4, 9, 16 y 25 sobre los que colocó unas **campanas** que sonarían al pasar una bola cayendo.

Esta separación es la que, según su deducción, se debe recorrer **en el mismo tiempo**.

Confió en su oído para comprobar el ritmo



3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves



<https://youtu.be/mOGVcMJl25E?t=320>

3. Galileo y el movimiento

La caída de los graves

⁽¹⁾ Aunque propone experimentos, físicos o mentales, que apuntan a ello.

Posteriormente se llevó a cabo en la Luna en 1971 en la misión Apolo XV

<https://www.youtube.com/watch?v=BN EI9wop1KM>

Sus observaciones no llegan a demostrar que todos los cuerpos caen con la misma aceleración⁽¹⁾, aunque apunta que toda diferencia se debe a la **interacción con el medio**

Galileo sugirió que esto se podría demostrar experimentalmente observando caer en el **vacío** cuerpos de densidad y forma distintas, un experimento que se realizó en 1660 por Robert Boyle gracias a la invención de la bomba de vacío.

3. Galileo y el movimiento

El movimiento inercial

Una consecuencia de la idea de momento es el **movimiento inercial**.

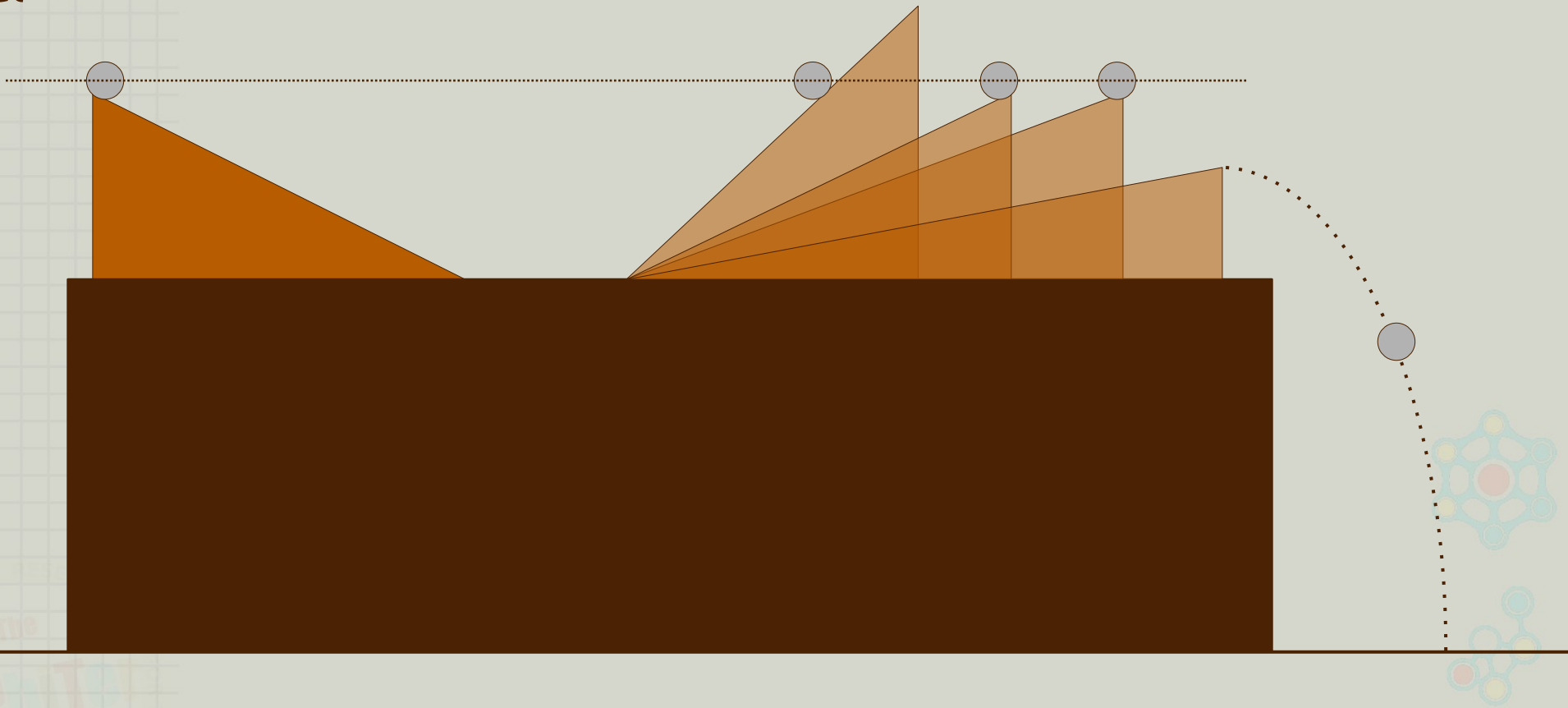
Esto implica que, en ausencia fuerzas contrarias al movimiento (como el rozamiento) un elemento móvil mantendrá su velocidad **indefinidamente**.

Galileo lo experimentó con planos inclinados haciendo caer una bola por uno y comprobando que subían a la misma altura independientemente del ángulo del plano.

3. Galileo y el movimiento

El movimiento inercial

La altura alcanzada es la misma, al margen del ángulo, pero si éste es más bajo, la bola saldrá despedida porque aún tiene momento inercial



3. Galileo y el movimiento

El movimiento inercial

⁽¹⁾ Hoy sabemos que es lineal. Para que sea circular debe someterse a alguna fuerza

Galileo considera que el movimiento inercial es **circular⁽¹⁾**, pues en realidad sería un movimiento sobre la superficie de la tierra.

Esto implicaría que no sería necesaria ninguna causa para explicar el movimiento de los planetas en torno al sol, y de los satélites en torno a los planetas.

Bastaría con una velocidad inicial y una ausencia de otras fuerzas para que los planetas se mantuvieran girando indefinidamente

3. Galileo y el movimiento

La composición de los movimientos

A partir de la idea de movimiento inercial (m.u.) y del movimiento acelerado de caída de los graves, Galileo postuló los **movimientos compuestos** de objetos como los proyectiles y de caída horizontal.

Una bola que rodara sobre una mesa, al llegar al borde estaría sometida a dos movimientos:

- Uno inercial uniforme que lo llevaría hacia delante
- Otro acelerado de caída que lo llevaría hacia abajo

3. Galileo y el movimiento

La composición de los movimientos

Así, el proyectil recorrería, cada unidad de tiempo

- Una distancia idéntica en horizontal
- Una distancia que seguía la regla de Merton en vertical, esto es, cada unidad de tiempo recorrería 1, 3, 5, 7, 9 etc unidades de distancia

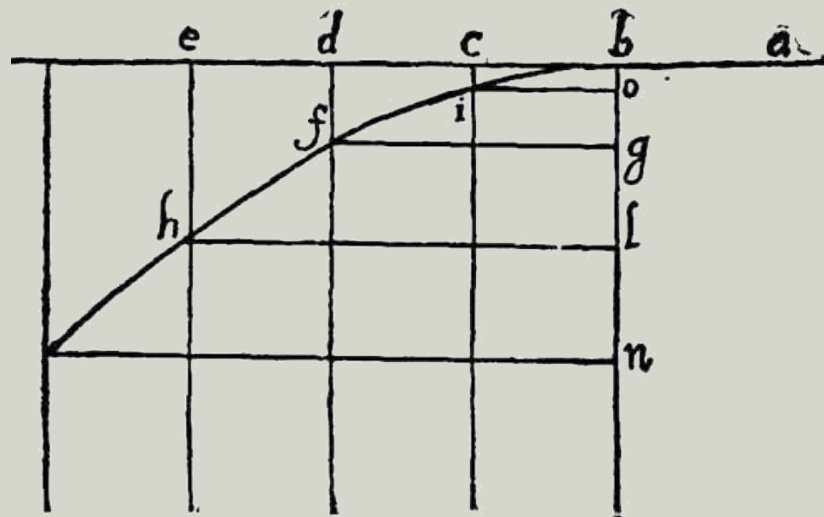
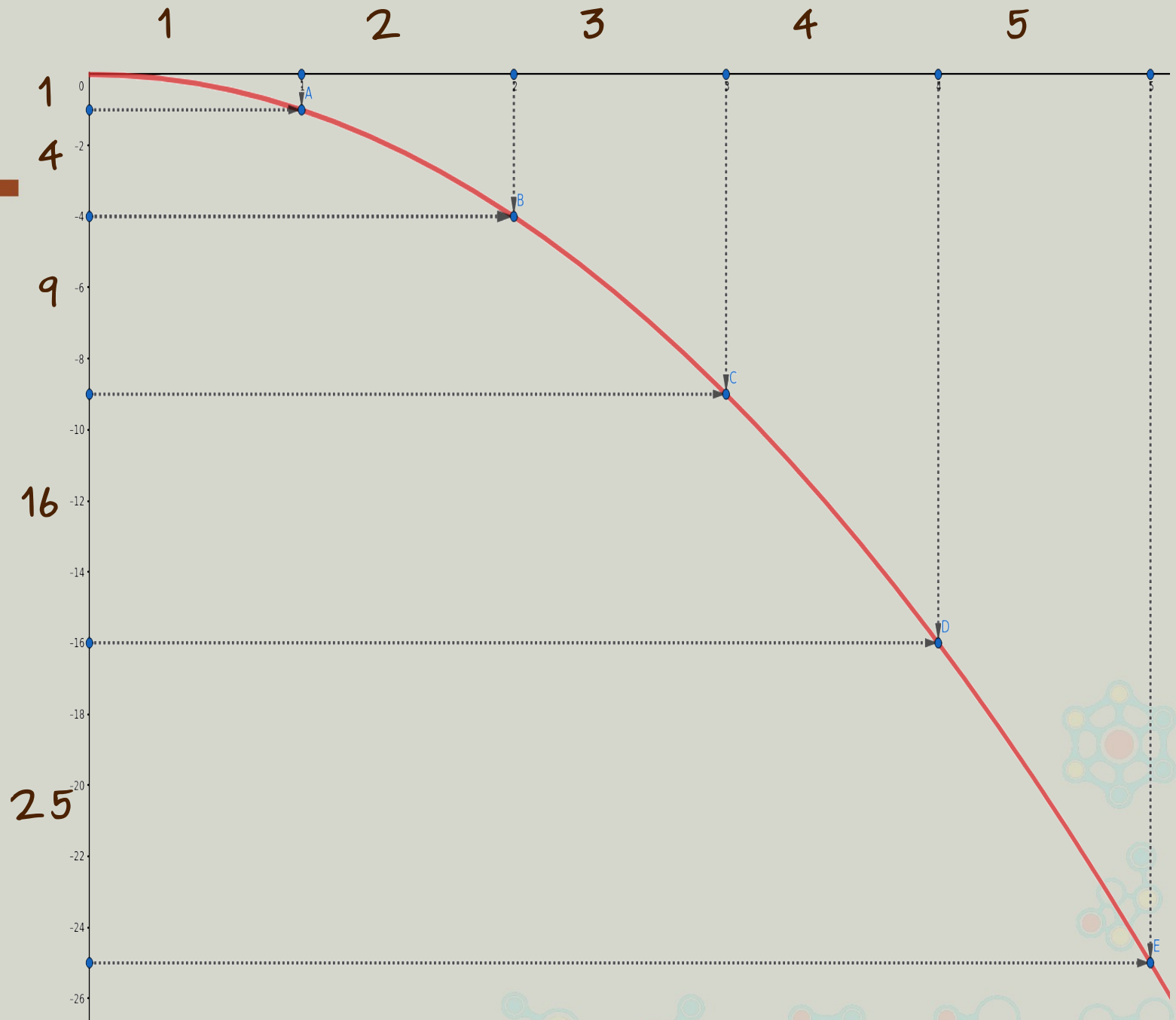


Fig. 108

3. Galileo y el movimiento

La composición de los movimientos

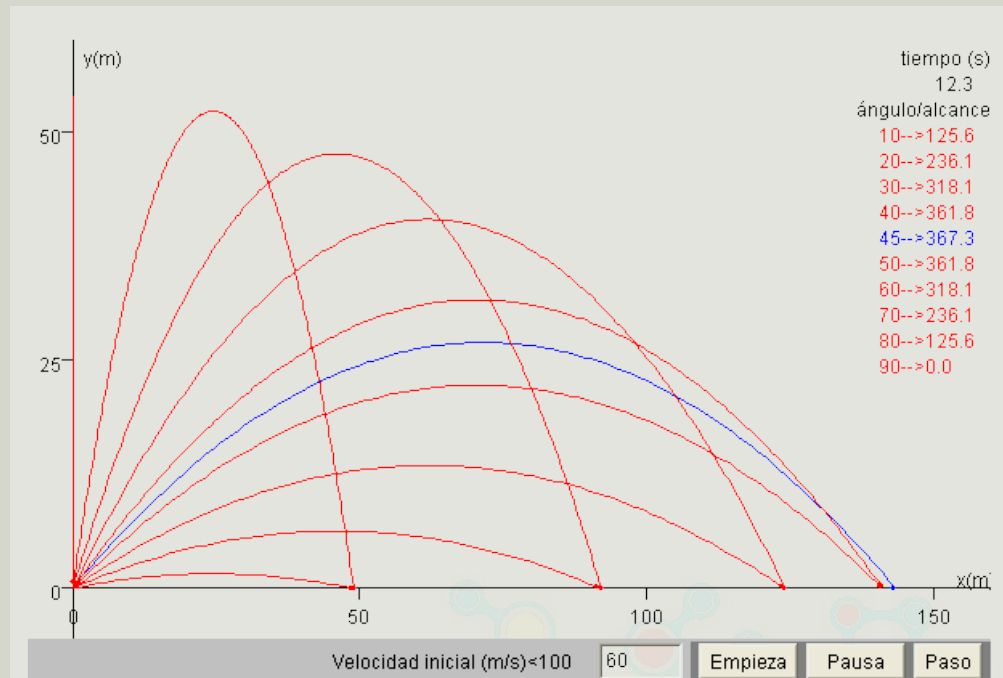


3. Galileo y el movimiento

La composición de los movimientos

Galileo demuestra que el movimiento resultante es una parábola

Aplicado al lanzamiento de proyectiles, la distancia máxima se alcanza lanzando el proyectil con una inclinación de 45°



3. Galileo y el movimiento

La composición de los movimientos

También intentó explicar las mareas en base a la combinación de los movimientos de rotación y traslación de la tierra, pero eso sólo conseguía explicar una pleamar diaria, no dos:

«Si la Tierra estuviera inmóvil, el flujo y reflujo de los océanos no podría ocurrir naturalmente, si atribuimos al globo terrestre los movimientos que se le acaban de asignar los mares deben estar necesariamente sometidos a un flujo y reflujo que en todo concuerda con lo que en ellos se observa».

3. Galileo y el movimiento

El principio de relatividad galileano

⁽¹⁾ Diálogo sobre los dos sistemas del mundo (1632)

Ágora y el barco

<https://www.youtube.com/watch?v=4qJlotcgVfc>

«Encerraos con un amigo en la cabina principal bajo la cubierta de un barco grande, y llevad con vosotros moscas, mariposas, y otros pequeños animales voladores... colgad una botella que se vacíe gota a gota en un amplio recipiente colocado por debajo de la misma... haced que el barco vaya con la velocidad que queráis, siempre que el movimiento sea uniforme y no haya fluctuaciones en un sentido u otro....

Las gotas caerán... en el recipiente inferior sin desviarse a la popa, aunque el barco haya avanzado mientras las gotas están en el aire... las mariposas y las moscas seguirán su vuelo por igual hacia cada lado, y no sucederá que se concentren en la popa, como si cansaran de seguir el curso del barco...».⁽¹⁾

3. Galileo y el movimiento

El principio de relatividad galileano

Con estas palabras Galileo explicaba su principio de relatividad, que luego desarrollaría Newton como los **sistemas de referencia inercial**.

La idea señala la imposibilidad de distinguir entre sistemas en reposo o con movimiento rectilíneo y uniforme, lo que explica la no percepción de los movimientos terrestres.

Al estar todos sometidos al mismo movimiento inercial de la Tierra y no tener ninguna referencia externa no lo percibimos

Vídeo explicativo del PSSC sobre los sistemas de referencia inerciales

https://www.youtube.com/watch?v=W2QU_WSaZhM

3. Galileo y el movimiento

El principio de relatividad galileano

⁽¹⁾ Imaginemos que llueve de forma completamente vertical. Un observador en reposo verá la lluvia caer de arriba a abajo y se cubrirá con el paraguas de forma perpendicular al suelo. Sin embargo, un observador en movimiento percibirá la lluvia con un ángulo proporcional a su velocidad, y se cubrirá inclinando el paraguas. Más cuanto más deprisa vaya.

Relacionado con esto, años más tarde, en 1725 **James Bradley** (1693-1762) descubrió la aberración estelar y su explicación confirmó el modelo copernicano frente al tychónico, aún indiferenciables

La aberración estelar es el cambio de posición aparente de una estrella debido no a la posición (eso sería paralaje) sino a la velocidad vectorial de la Tierra en su órbita alrededor del sol.

3. Galileo y el movimiento

Como **resumen**, Galileo:

Desarrolló una **matemática** mucho más detallado: ley de los cuadrados, idea de velocidad instantánea, descomposición de los componentes del movimiento

Contrastó sus leyes **experimentalmente**

Desarrolló la relatividad y del movimiento inercial

Encuadró el análisis del movimiento en el marco de una cosmovisión mecanicista y una física y epistemología profundamente **antiaristotélicas**