

GALILEO Y EL NACIMIENTO DE LA FISICA

P. Kittl

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Casilla 2777, Correo 21, Santiago, Chile

Resumen: Se señala como la primera estructura lógica extraída de la experiencia a la Geometría de Euclides. La física de Aristóteles es un simple malabarismo verbal. Desde esa época hasta los precursores de Galileo, como Leonardo Da Vinci y Benedetti no hay un cambio hasta que hace eclosión con Galileo. Las consecuencias de una serie de hipótesis que tratan de explicar una fenomenología deben confrontarse con la experiencia. Se señala brevemente la contribución genuina de Galileo a la física, además de su metodología. Finalmente, hay que señalar que es el primero o uno de los primeros que imagina experimentos que ponen a prueba una teoría.

La Física Antigua. La geometría de Euclides, sin proponérselo, es una correcta investigación sobre la naturaleza del espacio. Basada en la experiencia que nació de las necesidades de la construcción y la mensura de terrenos, tiene una impecable estructura lógica. La obra de Euclides (-315, -255) es el resumen de los trabajos de muchos otros geómetras (1), en esta obra hay una óptica y una catatróptica. En la física de Aristóteles (-384, -322) no se encuentra ninguna forma de controlar experimentalmente lo que dice (2). Según Aristóteles los cuerpos mas pesados caen más rápido. Hay un punto de contacto entre la geometría y la estática y es que las experiencias son más fáciles. Luego, Arquímedes de Siracusa (-287, -212) (1,2) puede escribir un “Tratado del equilibrio de los planos y de sus centros de gravedad”, donde se desarrolla la teoría de la palanca y de los centros de gravedad de varias figuras planas entre ellas la parábola. Hay que hacer notar que la óptica de los antiguos es básicamente la teoría de la reflexión.

Precursores de Galileo. Las conexiones de la ciencia antigua con la época medieval es a través de los árabes y solo en el año 1200 aparecen sus primeros exponentes, como Rogelio Bacon (1214 – 1292). Bacon creía en la experiencia (3): “La ciencia experimental no recibe la verdad de manos de las ciencias superiores pues ella es el ama de las ciencias, que no son más que sus sirvientes”. De la misma época es Santo Tomás de Aquino (1225 – 1274) a quien debemos nombrar como un antiprecursor ya que es él quién colocó como base de la teología cristiana al Aristotelismo, como la teología era sagrada en el mundo cristiano, transfirió esta propiedad al Aristotelismo. Esto posteriormente significó un grave problema a Galileo, Juan Buridan (~ 1350) se aproximó a la cantidad de movimiento ($\zeta mv. = Ft?$), al principio de inercia (3) y a la caída uniformemente acelerada de los cuerpos. Oresme (~1300 – 1382) se aproxima a $x = a t^2 / 2$. Alberto de Sajonia (1350), creía como Buridan en el aumento de la velocidad con la caída, pero creía que ésta era proporcional al camino recorrido. Domingo Soto (3) (1494 – 1560) se aproxima a $x = a t^2 / 2$. Finalmente, llegamos a Juan Bautista Benedetti (1530 – 1590) quién se opone a la mecánica de Aristóteles, introduce el momento estático y tiene ideas correctas sobre la fuerza centrífuga.

Galileo (1564-1642) el estudio de Galileo se puede dividir en tres partes: La Física terrestre, la astronómica y finalmente su conflicto con la Iglesia Católica.

La Física Terrestre: Las leyes del péndulo, que fue su primer descubrimiento, son obtenidas en forma puramente experimental, como el isocronismo de las pequeñas oscilaciones y lo que es muy importante, que el período no depende de la masa del péndulo sino sólo de la longitud del hilo del cual cuelga. También el que en ninguna oscilación pueda superar la altura desde donde partió, aunque se varié el largo del hilo, da la conservación de la energía. La ley de inercia se obtiene a partir de una combinación de planos inclinados. Si de un plano inclinado un móvil sube por otros de menos inclinación, el camino recorrido será mayor cuanto menor era la inclinación, en un plano horizontal sin roce, se desplaza hasta el infinito. En las leyes de la caída, como sabe que la velocidad aumenta al descender el cuerpo, supone primero que su velocidad es proporcional al espacio recorrido, como de allí obtuvo una contradicción la rechazó. Esto es fácil ver porque si suponemos $v = ke$, donde v es la velocidad adquirida luego que cayó el espacio e y k un coeficiente constante. También es $e = vt$ así que $\frac{e}{t} = ke$ y

por lo tanto $k = \frac{1}{t}$, el coeficiente es variable lo que es contrario a la hipótesis. En cambio, si suponemos $v = gt$, g un coeficiente constante, como $e = vt$ y v es variable, pero podemos suponerlo constante en el intervalo Δt , se tiene $\Delta e = v(t) \Delta t$, en consecuencia, si representamos v en función de t , el espacio recorrido $e = \sum \Delta e$ es el área entre la recta $v = g t$, t y la vertical = constante, es decir, $e = t g t \frac{1}{2}$, que es el área de un triángulo. Obviamente que Galileo no hace la deducción así, para ver los detalles recurrir al libro de Galileo comentado, en forma de apéndices, por Teofilo Isnardi (4).

Galileo para comprobar esta fórmula, muy difícil de hacer en su tiempo, estudia la caída en un plano inclinado, para lo cual debe introducir la aceleración en un plano que forma un ángulo α respecto a la longitudinal, que lo hacen $g' = g \sin \alpha$, el espacio recorrido es $s = g' \frac{t^2}{2} = g \sin \alpha \frac{t^2}{2}$. Si hacemos $s = 2r \sin \alpha$, que es la ecuación de un círculo cuyo centro está sobre la vertical a la distancia r , s es la distancia entre el pie del vértice y la intersección de una recta de pendiente α con el círculo, todos los móviles lanzados por esa recta llegan al mismo tiempo al pie de la vertical, teorema VI, proposición VI en el libro de Galileo (4, p, 236). Este teorema permite determinar la relación entre el período de un péndulo y su longitud, para ello suponemos un trayecto muy pequeño entre un punto bajo del círculo, el período es el doble de tiempo que tarda al cubrir ese trayecto muy pequeño entre un punto bajo del círculo, el período es el doble que tarda en cubrir $2r$ en la vertical o sea $2r = g \left(\frac{T}{2} \right)^2 \frac{1}{2}$, o sea $T = 4 \sqrt{\frac{L}{g}}$. Con respecto a la fórmula exacta

$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ tiene la misma forma y difiere en el coeficiente 4, parecido a $2\pi = 6.28$. Otro

problema que resuelve Galileo es el tiro oblicuo, problema que resuelve postulando la independencia del movimiento horizontal, $x = vt$, con el vertical $y = gt^2/2$ de donde $y = (g/2V^2_0) X^2$, que es una parábola. Un ejemplo es un chorro de agua saliendo en forma horizontal que describe una parábola, hay otros métodos simples (5) para mostrar esto. En la física Terrestre Galileo tiene, el atisbo del principio de los desplazamientos virtuales, los momentos y el concepto de fuerza. Experimentalmente inventó un compás

geométrico (primera regla de cálculo), una balanza hidrostática (aunque C.S. Smith demostró que tendría poca precisión (6)), hay también contribuciones a la termometría, la microscopía y otras materias (7).

La Astronomía: No se sabe el momento exacto en que Galileo adoptó el sistema heliocéntrico de Copérnico, pero ésta hace eclosión con la llegada del telescopio y el que lograra fabricar uno con 30 aumentos (7). Las observaciones que confirman el sistema heliocéntrico de Copérnico aparecen en un libro (8). La publicación de este libro es lo que hace estallar finalmente sus conflictos con la Iglesia Católica que adoptó como sagrado el sistema geocéntrico de Tolomeo. Las observaciones de Galileo se pueden asumir en: las fases de Venus incompatibles con el sistema de Tolomeo y compatibles con el de Copernico. La configuración montañosa de la superficie lunar. La vía Láctea es un conglomerado de estrellas pequeñas lo mismo que las nebulosas. Los satélites de Júpiter. La forma extraña del planeta Saturno. Todo esto formaba un cuerpo de doctrina que era incompatible con la cosmogonía de Aristóteles y Tolomeo.

Conflicto con la Iglesia Católica. Ya dijimos más arriba que el sistema de Aristóteles – Tolomeo fue adoptado por lo Iglesia a través de Tomás de Aquino y aunque el libro de Copérnico fue dedicado al Papa Paulo III, bajo el Pontificado de Paulo la congregación del índice lo condena como herético en 1616. Así que era muy difícil que el libro de Galileo no corriera finalmente la misma suerte. Esto ocurrió junto con su condena en 1633. Varias causas contribuyeron a que esto sucediera, una importante fue que el sistema de Copérnico estaba aceptado por los protestantes y el Papa Urbano VIII pensó que no podía autorizar una teoría profesada por los protestantes y que estaba en el Index desde 1616. Una segunda y tal vez la más importante es que el personaje, que en los diálogos de los “Dos grandes sistemas”, representa la posición de Aristóteles – Tolomeo y por lo tanto la de la Iglesia, Simplicio, es ridiculizado y el papa creía que lo representaba. Para evitar esa condena trató con anterioridad (9), usando una idea de Copérnico, que el movimiento de rotación del sol sobre si mismo era el que inducía los movimientos de los planetas, el justificar que para detener el sol –según la Biblia- en el firmamento bastaba con detener su rotación y los planetas quedarían inmóviles. Claro que esto, sea como sea, debido al principio de inercia haría que todos salieran volando. Esto último se podría evitar cancelando, durante el tiempo que el sol estaba detenido, el principio de inercia. Pero esto no convenció ni al papa ni a los inquisidores, así que Galileo fue condenado. Si se quiere estudiar con detalle su vida y sus trabajos científicos puede usarse primeramente sus obras completas, que incluyan su correspondencia, cuya primera edición es de 1718 (10). Posteriormente, Venturi publicó memorias y cartas (11). Se encuentran datos interesantes en Libri (12), Biot (13), Brewster (14) Cortés-Pla (15) y Bubleinikov (16).

Conclusión

Hay un paulatino cambio en la forma de estudiar el funcionamiento de la naturaleza desde la época de Aristóteles hasta Galileo. Desde los malabarismos verbales de Aristóteles hasta los estudios completamente experimentales. Galileo pone a la experiencia como último e inapelable juez de toda teoría y es el primero que desafía grandes peligros para defender esta idea. Con esto puede decirse que nace la física que debe describir al mundo de la manera más exacta. Por último, es Galileo quien pone énfasis en que lo que importa es cómo suceden las cosas, no por qué éstas suceden.

Agradecimientos: Al profesor Gerardo Díaz R. por su paciencia para corregir este trabajo.

Nota: La forma en que mostramos que el suponer que la velocidad de caída es proporcional al espacio recorrido, no es lógica, no es totalmente exacta. Usando los métodos modernos, esto se puede escribir $dy/dt = ky$, ecuación diferencial que integrada da $\ln y = kt + C$, o sea $e^{kt+C} = y$. Si tomamos como condiciones iniciales que cuando $t = 0$, $y = 0$, se tiene $e^C = 0$, por lo tanto $C = -\infty$, con lo cual la solución se transforma en $y = 0$. El cuerpo no se mueve, lo cual es una contradicción.

BIBLIOGRAFIA

1. Marie, M., Histoire des Sciences Mathématiques et Physiques, Paris, Gauthière, Villars, 1883, Tomos I – XII, Tomo I, p42.
2. Mach, E. La Mecánica exposición histórica crítica de su desarrollo, traducción de la 4ta. Edición alemana por Emile Bertrand, París, Herman, 1904. Existe traducción al castellano de J. Babini, editorial Espasa Calpe.
3. Schurman, P. F., Historia de la Física, Tomo I, p. 81, Editorial Nova, Buenos Aires, Segunda Edición , 1945.
4. Galileo, G. Diálogo acerca de dos nuevas ciencias, Traducción de José San Román Villasante de la obra: Discorsi e dimostrazioni matematiche in torno a due nuove scienze atinenti alla meccanica y il movimento locali, publicada en 1638 por Elsevier, con notas de Teofilo Isardi, Librería del Colegio, Buenos Aires, 1945.
5. Loedel, E., Enseñanza de la Física, Editorial Kapeluz, Buenos Aires, 1949.
6. Fermi, L. y Bernardini, G., Galileo and the Scientific revolution, Basic books, New York, 1961, p. 133.
7. Santillana, J.P. y otros. Galileo Galilei, Caminos Abiertos, Editorial Hernando, 1977, Madrid.
8. Galilei, G. Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano, Landini, 1632, Florencia, existen traducciones en casi todos los idiomas.
9. Galilei, G., Carta del señor Galileo Galilei, Académico Linceo escrita a la señora Cristina de Lorena, Gran Duquesa de Toscana, Cartas Copernicanas, Editorial Ercilla, 1988, Santiago Chile.
10. Galilei, G., Opera completa di Galileo Galilei, 1842-1856, Florencia; hay edición anterior no completa de 1718.
11. Venturi, J.R., Memoria e lettere inedite finora o disperse di Galileo Galilei. 1818 y 1821, Modena.
12. Libri, G., Historie des Sciences Mathématique en Italia, Reninaud, 1841, Paris.
13. Biot, J.B. Melanges Scientifiques et Litteraires, Tomo 3 p1, Michel Léves, 1858, Paris.
14. Brewster, Sir. A., The Martirs of science, Chatto and Windus, 1874, London.
15. Pla, C., Galileo Galilei, Colección Austral, Espasa Calpe, 1942, Buenos Aires.
16. Bubleinikov, F.O., Galileo Galilei, Colección ABC, Tecnociencia, 1964, Buenos Aires.