George Gamow

Biografía de la física

Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *Biography of Physics*
Traducción de Fernando Vela

La edición original en inglés de esta obra se publicó en 1961 en la colección «Harper Modern Science Series» de la editorial Harper & Brothers, Publishers, de Nueva York

Primera edición: 1980
Tercera edición: 2014
Segunda reimpresión: 2025

Diseño de colección: Estrada Design
Diseño de cubierta: Manuel Estrada
Ilustración de cubierta: H. Armstrong Roberts: *Profesor señalando la pizarra con el puntero, años 1930.*

Selección de imagen: Carlos Caranci Sáez

Calle Valentín Beato, 21
28037 Madrid
www.alianzaeditorial.es

PAPEL DE FIBRA
CERTIFICADA

ISBN: 978-84-206-8970-8
Depósito legal: M. 15.942-2014
Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: alianzaeditorial@anaya.es

Índice

11 Prólogo

13 1. La aurora de la física
47 2. La Edad Media y el Renacimiento
86 3. Dios dijo: «Que Newton sea»
140 4. El calor como energía
191 5. La edad de la electricidad
240 6. La revolución relativista
314 7. La ley de los cuantos
403 8. El núcleo atómico y las partículas elementales

487 Láminas

A Perky

Prólogo

Hay dos tipos de libros sobre la ciencia física. Uno es el de los libros de texto encaminados a enseñar al lector los hechos y las teorías de la física. Los libros de esta clase suelen omitir todos los aspectos históricos del desarrollo de la ciencia; la única información sobre los grandes científicos del pasado y presente se limita a los años de su nacimiento y muerte puestos entre paréntesis detrás del nombre. El otro tipo es esencialmente histórico, consagrado a los datos biográficos y al análisis del carácter de los grandes hombres de ciencia, y no hace más que enumerar sus descubrimientos, suponiendo que el lector que estudia la historia de una ciencia determinada ya está al tanto de esta ciencia misma.

En el presente libro he intentado seguir un camino intermedio, exponiendo lo mismo el proceso a Galileo que las leyes fundamentales de la mecánica por él descubiertas, o presentando mis recuerdos personales sobre Niels Bohr junto con una detallada discusión del modelo de átomo de este físico. La exposición de cada uno de los ocho capítulos está centrada en torno de una sola gran figura o a lo más de dos, con otros físicos de la época y sus contribuciones a manera de fondo del cuadro. Esto explica la omisión de muchos nombres que se encontrarían en la mayoría de los libros sobre historia de la física así como la de muchos temas que son obligatorios en los libros de texto corrientes. La finalidad de este libro es dar al lector el sentimiento de *lo que es* la física y *qué clase de hombres son* los físicos, interesándole lo bastante para que prosiga sus estudios y busque otros libros más sistemáticos sobre el tema.

Espero que este libro servirá para que jóvenes lectores (y acaso algunos viejos) sientan el impulso de estudiar física; ésta es su finalidad principal.

George Gamow
Universidad de Colorado
1 junio 1960

1. La aurora de la física

Es muy difícil rastrear el origen de la ciencia física, tan difícil como rastrear el origen de muchos grandes ríos. Unas cuantas pequeñas fuentes que burbujean bajo el verde follaje de la vegetación tropical o gotean bajo las rocas cubiertas de musgo en el estéril país septentrional; unos cuantos arroyos que descienden alegremente por las laderas de la montaña y se reúnen para formar riachuelos que a su vez se juntan y forman corrientes bastante grandes para merecer el nombre de «río». Los ríos se hacen cada vez mayores, alimentados por numerosos tributarios, y, finalmente, se convierten en poderosas corrientes –sea el Misisipi o el Volga, el Nilo o el Amazonas– que vierten sus aguas en el océano.

Las fuentes que dieron origen al gran río de la ciencia física estaban diseminadas por toda la superficie de la Tierra habitada por el *homo sapiens,* es decir, el hombre pensante. Parece, sin embargo, que la mayoría estaban concentradas en la punta sur de la península balcánica, habitada por el pueblo que ahora llamamos los «antiguos griegos», o al menos así nos parece a los que heredamos la cultura de estos primeros «intelectuales». Es interesante saber que, mientras otras naciones antiguas, como Babilonia y Egipto, contribuyeron en gran medida al temprano desarrollo de las matemáticas y la astronomía, fueron completamente estériles respecto al desarrollo de la física. La explicación posible de esta laguna, en comparación con la ciencia griega, es que los dioses de Babilonia y Egipto vivían arriba, entre las estrellas, mientras los dioses de los antiguos griegos vivían en una elevación de sólo unos 10.000 pies, en la cima del monte Olimpo, y, por tanto, mucho más cerca de los problemas de tejas abajo. Según una leyenda, el término «magnetismo» proviene del nombre de un pastor griego, Μάγνης, que quedó sorprendido al observar que el regatón de hierro de su bastón era atraído por una piedra (mineral de hierro magnético) que había en el borde del camino. Análogamente, el término «electricidad» proviene de la palabra griega ἤλεκτρον (ámbar), a causa de que tal vez otro pastor helénico, al tratar de pulir un trozo de ámbar frotándole sobre la lana de una de sus ovejas, observó que poseía la misteriosa propiedad de atraer pequeños trozos de madera.

La ley pitagórica de las cuerdas

Mientras que estos legendarios descubrimientos difícilmente encontrarían base para un litigio legal sobre la prioridad, el descubrimiento del filósofo griego Pitágoras, que vivió a mediados del siglo VI antes de Cristo, está bien documentado. Convencido de que el mundo está gobernado por los números, investigó la relación entre las longitudes de las cuerdas en los instrumentos musicales que producen combinaciones armónicas de sonidos. A este propósito empleó el llamado «monocordio», es decir, una sola cuerda cuya longitud se puede variar y someterla a diferentes tensiones producidas por un peso suspendido en su extremo. Usando el mismo peso y variando la longitud de la cuerda, vio que los pares de sonidos armónicos se producían cuando las longitudes de la cuerda estaban en relaciones numéricas sencillas. La razón de longitud 2:1 correspondía a lo que hoy llamamos «octava», la razón 3:2 a una «quinta», la razón 4:3 a una «cuarta». Este descubrimiento fue probablemente la primera formulación matemática de una ley física, y se puede muy bien considerar como el primer paso en el desarrollo de lo que hoy conocemos como física teórica. En la moderna terminología física podemos formular de nuevo el descubrimiento de Pitágoras diciendo que la *frecuencia,* es decir, el número de vibraciones por segundo, de una cuerda determinada sujeta a una tensión dada, es inversamente proporcional a su longitud. Así, si la segunda cuerda (figura 1.1*b*) es la mitad de larga que la primera (figura 1.1.*a*), su frecuencia será dos veces mayor. Si las longitudes de las dos cuerdas están en la proporción de 3:2 o 4:3, sus frecuencias estarán en la proporción de 2:3 o 3:4 (figura 1.1*c, d*). Como la parte del cerebro humano que recibe las señales de los nervios del oído está construida de tal forma que una senci-

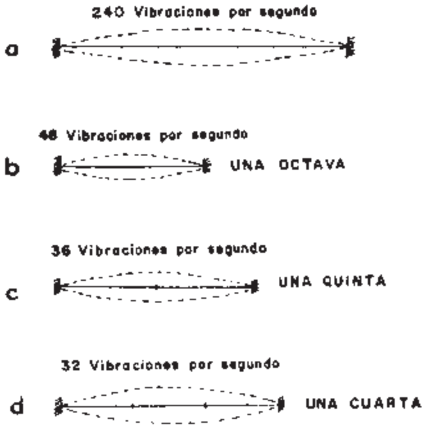

Figura 1.1. Ley pitagórica de las cuerdas.

lla relación de frecuencia como 3:4 proporciona «placer» mientras que una compleja como 137:171 «displacer» (hecho que tendrán que explicar los futuros fisiólogos del cerebro), las longitudes de las cuerdas que dan un acorde perfecto deben estar en una relación numérica sencilla.

Pitágoras intentó dar un paso más al sugerir que, como el movimiento de los planetas «debe ser armonioso», sus distancias de la Tierra deben estar en las mismas relaciones que las longitudes de las cuerdas (bajo la misma tensión) que producen las siete notas fundamentales de la lira, el instrumento musical nacional de los griegos. Esta idea ha sido probablemente el primer ejemplo de lo que ahora se llama a menudo «teoría física patológica».

Demócrito, el atomista

Otra importante teoría física, que en la moderna terminología podría llamarse «una teoría sin ninguna base experimental», pero que resultó ser «un sueño que se torna realidad», fue propuesta por otro griego, el filósofo Demócrito, que vivió, pensó y enseñó hacia el año 400 antes de Cristo. Demócrito concibió la idea de que todos los cuerpos materiales son agregados de innumerables partículas tan pequeñas que no son visibles para los ojos humanos. Llamó a estas partículas *átomos* o indivisibles (ἄτομος) en griego, porque creía que representaban la última fase de la división de los cuerpos materiales en partes cada vez más pequeñas. Creía que hay cuatro clases diferentes de átomos: los átomos de piedras, pesados y secos; los átomos de agua, pesados y húmedos; los átomos de aire, fríos y ligeros, y los átomos de fuego, fugitivos y calientes. Por una combinación de estas cuatro diferentes clases de átomos se suponía que están hechos todos los materiales conocidos. El suelo era una combinación de átomos de piedra y agua. Una planta que crece desde el suelo bajo la influencia de los rayos solares consistía en átomos de piedra y agua del suelo y átomos de fuego procedentes del Sol. Por esta causa los troncos de madera seca que han perdido sus átomos de agua pueden arder, desprendiendo átomos de fuego (llamas) y dejando átomos de piedra (cenizas). Cuando ciertas clases de piedras (minerales metálicos) son puestas a la llama, los átomos de piedra se unen a los átomos de fuego, produciendo las sustancias conocidas como metales. Los metales baratos, como el hierro, contienen muy pocos átomos de fuego y, por tanto, parecen bastante apagados, mientras que el oro tiene el máximo de átomos de fuego, y, por esta razón, es brillante y valioso. En consecuencia, si se pudieran añadir más átomos de fuego al simple hierro, ¡se podría obtener el preciado oro!

Un estudiante que dijera todo esto en su examen de química elemental seguramente sería suspendido. Pero aunque estos ejemplos particulares de la naturaleza de la transformación química eran desde luego erróneos, la idea fundamental de obtener un número casi ilimitado de sustancias diferentes por combinación de unos cuantos elementos químicos básicos era, indudablemente, correcta, y ahora representa el fundamento de la química actual. Sin embargo, tardó veintidós siglos, desde la época de Demócrito a la de Dalton, en demostrarse su verdad.

La filosofía aristotélica

Uno de los gigantes del antiguo mundo griego fue un hombre llamado Aristóteles, que se hizo famoso por dos razones: primera, porque era un verdadero genio; segunda, porque fue preceptor y más tarde protegido de Alejandro Magno de Macedonia. Nació en el 384 a. C. en la ciudad colonial griega de Estagira, en el mar Egeo; su padre había sido médico de la corte de la familia real de Macedonia. A la edad de dieciocho años se trasladó a Atenas y se unió a la escuela filosófica de Platón, siendo un ardiente discípulo de Platón hasta la muerte de éste en el año 347 a. C. Después siguió un período de extensos viajes hasta que por fin regresó a Atenas y fundó una escuela filosófica llamada «peripatética», que se reunía en el Liceo. La mayor parte de las obras de Aristóteles conservadas hasta nuestros días son los «tratados», que probablemente representan los textos de las lecciones que explicaba en el Liceo sobre diversas ramas de la ciencia. Son tratados de lógica y psicología, de la que fue el inventor, tratados sobre ciencia política y sobre diversos problemas biológicos, especialmente sobre la clasificación de las plantas y los animales. Mientras que en todos estos campos hizo enormes descubrimientos que influyeron sobre el pensamiento humano durante dos milenios después de su muerte, probablemente su mayor contribución en el campo de la física fue la invención del nombre de esta ciencia, que se deriva de la palabra griega, que significa *naturaleza.* La deficiencia de la filosofía aristotélica en el estudio de los fenómenos físicos debe ser atribuida al hecho de que la gran inteligencia de Aristóteles no estaba orientada matemáticamente como la de otros muchos antiguos filósofos griegos. Sus ideas respecto al movimiento de los objetos terrestres y los cuerpos celestes probablemente hicieron más daño que beneficio al progreso de la ciencia. Cuando resurgió el pensamiento durante el Renacimiento, hombres como Galileo tuvieron que luchar duramente para libertarse del yugo de la filosofía aristotélica que, en aquel tiempo, era considerada generalmente como «la última palabra del conocimiento», que hacía innecesarias más investigaciones sobre la naturaleza de las cosas.

La ley de la palanca de Arquímedes

Otro gran griego de la Antigüedad, que vivió un siglo después de la época de Aristóteles, fue Arquímedes (figura 1.2), padre de la ciencia mecánica, que vivió en Siracusa, capital de la colonia griega de Sicilia. Como hijo de un astrónomo, se interesó muy pronto por las matemáticas, en las que adquirió una gran destreza, y en el

Figura 1.2. Arquímedes y la corona.

transcurso de su vida hizo una serie de contribuciones muy importantes en las diferentes ramas de esta disciplina. Su obra más importante en el dominio de la matemática pura fue el descubrimiento de la relación entre la superficie y el volumen de una esfera y un cilindro que la circunscribe; en efecto, de acuerdo con su deseo, su tumba está señalada por una esfera inscrita en un cilindro. En su libro titulado *Psammites* (Arenario) expone el método de escribir números muy grandes dando a cada cifra un «orden» diferente según su posición[1] y aplicándolo al problema de escribir el número de granos de arena contenidos en una esfera del tamaño de la Tierra.

En su famoso libro *Sobre el equilibrio de los planos* (en dos volúmenes) desarrolla las leyes de la palanca y discute el problema de encontrar el centro de gravedad de cualquier cuerpo dado. A un lector moderno, el estilo en que Arquímedes escribía le parece más bien pesado y prolijo, semejante en muchos respectos al estilo de los libros de geometría de Euclides. De hecho, en la época de Arquímedes, la matemática griega estaba limitada casi exclusivamente a la geometría, porque el álgebra fue inventada mucho después por los árabes. Así, en diversas demostraciones en el campo de la mecánica y otras ramas de la física se valía de figuras geométricas en lugar de formular, como hacemos ahora, ecuaciones algebraicas. Como en la *Geometría* de Euclides, sobre la cual muchas

1. El método que empleamos para escribir números en el sistema decimal; es decir, tantas unidades, tantas decenas, tantas centenas, tantos millares, etc.

veces un estudiante ha sudado en sus días escolares, Arquímedes formulaba las leyes fundamentales de la «estática» (es decir, el estudio del equilibrio) comenzando por formular los «postulados» y derivando de ellos cierto número de «proposiciones». Reproducimos el comienzo del primer volumen.

1. Pesos iguales a igual distancia están en equilibrio, y pesos iguales a distancias desiguales no están en equilibrio, sino que se inclinan hacia el peso que está a mayor distancia.
2. Si, cuando los pesos a cierta distancia están en equilibrio, se añade algo a uno de los pesos, no hay equilibrio, sino que se inclinan hacia el peso al cual se ha añadido algo.
3. Análogamente, si se quita algo a uno de los pesos, no están en equilibrio, sino que se inclinan hacia el peso del que no se ha quitado nada.
4. Si figuras planas iguales y similares coinciden cuando se superpone una a otra, sus centros de gravedad también coinciden.
5. Si las figuras son desiguales pero semejantes, sus centros de gravedad estarán situados de modo semejante. Entiendo por puntos situados de modo semejante en relación con figuras semejantes, puntos tales que si se trazan líneas a su través a los ángulos iguales, éstas forman ángulos iguales con los lados correspondientes.
6. Si dos pesos a cierta distancia están en equilibrio, otros dos pesos iguales a ellos estarán también en equilibrio a las mismas distancias. [*¿No está claro?*]
7. En una figura cuyo perímetro es cóncavo en la misma dirección, el centro de gravedad debe estar dentro de la figura.

A estos postulados siguen quince proposiciones derivadas de ellos por argumentos lógicos directos. Damos aquí las primeras cinco proposiciones, omitiendo su prueba, y citamos las pruebas exactas de la sexta proposición, que implica la *ley fundamental de la palanca.*

Proposiciones

1. Pesos que se equilibran a igual distancia son iguales.
2. Pesos desiguales a igual distancia no se equilibrarán, sino que se inclinarán hacia el peso mayor.
3. Pesos desiguales a distancias desiguales se equilibrarán (o más bien pueden equilibrarse) cuando el peso mayor está a menor distancia.
4. Si dos pesos iguales no tienen el mismo centro de gravedad, el centro de gravedad de los dos juntos es el punto medio de la línea que une sus centros de gravedad.
5. Si tres pesos iguales tienen sus centros de gravedad en línea recta a distancias iguales, el centro de gravedad del sistema coincidirá con el del peso del medio.

Veamos ahora la prueba de la proposición sexta, modernizándola ligeramente en obsequio del lector.

6. Dos pesos se equilibran a distancias recíprocamente proporcionales a sus pesos.

Supongamos que los pesos A y B son conmensurables[2] y que los puntos α y β representan sus centros de gravedad (figura 1.3*a*).

2. Es decir, que la relación de los dos pesos está representada por una fracción racional como $\frac{5}{3}$, $\frac{117}{32}$, etc.

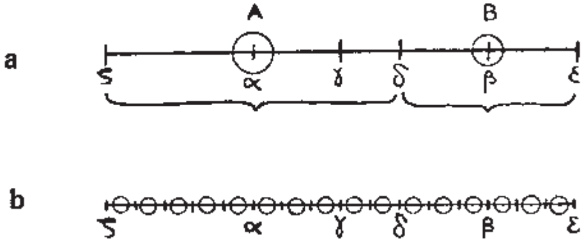

Figura 1.3. Prueba arquimédica de la ley de la palanca.

Tracemos por α y β una recta divididas en γ, de modo que

$$A : B = \overline{\beta\gamma} : \overline{\gamma\alpha}$$

Tenemos que probar que γ es el centro de gravedad de los dos pesos tomados en conjunto. Como A y B son conmensurables, también lo serán $\overline{\beta\gamma}$ y $\overline{\gamma\alpha}$. Supongamos que $\overline{\mu\upsilon}$ es la medida común de $\overline{\beta\gamma}$ y $\overline{\gamma\alpha}$. Hagamos $\overline{\beta\delta}$ y $\overline{\beta\varepsilon}$ cada uno igual a $\overline{\alpha\gamma}$, y $\overline{\alpha\varsigma}$ igual a $\overline{\gamma\beta}$.

Entonces, $\overline{\alpha\delta} = \overline{\gamma\beta}$, puesto que $\overline{\beta\delta} = \overline{\gamma\alpha}$. Por tanto, $\overline{\varsigma\delta}$ está dividida en dos partes iguales en α, como lo está $\overline{\delta\varepsilon}$ en β. Así, pues, $\overline{\varsigma\delta}$ y $\overline{\varepsilon\delta}$ deben contener cada una a $\overline{\mu\upsilon}$ un número par de veces.

Tomemos un peso Ω tal que Ω esté contenido tantas veces en A como $\overline{\mu\upsilon}$ está contenido en $\overline{\varsigma\delta}$, de donde

$$A : \Omega = \overline{\varsigma\delta} : \overline{\mu\upsilon}$$

Pero

$$B : A = \overline{\gamma\alpha} : \overline{\beta\gamma} = \overline{\delta\varepsilon} : \overline{\varsigma\delta}$$

Por tanto, *ex aequalis,* $B : \Omega = \overline{\delta\varepsilon} : \overline{\mu\upsilon}$, o sea, que Ω está contenido tantas veces en B como $\overline{\mu\upsilon}$ está contenido en $\overline{\delta\varepsilon}$. Así, pues, Ω es una medida común de A y B.

Dividamos $\overline{\varsigma\delta}$ y $\overline{\delta\varepsilon}$ en partes iguales cada una a $\overline{\mu\upsilon}$ y A y B en partes iguales a Ω. Las partes de A serán, por tanto, iguales en número a las de $\overline{\varsigma\delta}$, y las partes de B iguales en número a las de $\overline{\delta\varepsilon}$.

Coloquemos una de las partes de A en el punto medio de cada parte $\overline{\mu\upsilon}$ de $\overline{\varsigma\delta}$ y una de las partes de B en el punto medio de cada parte $\overline{\mu\upsilon}$ de $\overline{\delta\varepsilon}$ (figura 1.3*b*).

Entonces, el centro de gravedad de las partes de A situadas a igual distancia de $\overline{\varsigma\delta}$ estará en α, el punto medio de $\overline{\varsigma\delta}$, y el centro de gravedad de las partes de B situadas a distancias iguales a lo largo de $\overline{\delta\varepsilon}$ estará en β, el punto medio de $\overline{\delta\varepsilon}$. Pero el sistema formado por las partes Ω de A y B juntos es un sistema de pesos iguales, en número par y situados a iguales distancias a lo largo de $\varsigma\varepsilon$. Y como $\overline{\varsigma\alpha} = \overline{\gamma\beta}$ y $\overline{\alpha\gamma} = \overline{\beta\varepsilon}$, $\overline{\varsigma\gamma} = \overline{\gamma\varepsilon}$, así que γ es el centro de gravedad del sistema colocado a lo largo de $\overline{\varsigma\varepsilon}$. Por tanto, A actuando en α y B actuando en β se equilibran sobre el punto γ.

Esta proposición es seguida por la séptima, en la cual se prueba la misma tesis cuando los pesos son inconmensurables[3].

El descubrimiento del principio de la palanca y sus diversas aplicaciones produjo gran sensación en el mundo antiguo, como puede verse en la descripción dada por Plutarco en su *Vida de Marcelo,* un general romano que

3. Es decir, cuando la relación de los dos pesos es un número irracional, como, por ejemplo $\sqrt{2}$.