

ANÁLISIS HEURÍSTICO DEL ORIGEN DEL PROBLEMA DE LA DISCONTINUIDAD DE LA ENERGÍA Y EL CUANTA.

César Garrido

Universidad de Panamá, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.

e-mail: labmicro@ancon.up.ac.pa

RESUMEN

El concepto de discontinuidad para una variable dinámica como la energía introduce una ruptura en la física de Hamilton-Lagrange, que se dio mediante un proceso que tuvo su máxima expresión en el descubrimiento de, o encuentro con, el cuanta por Max Planck hace cien años. En este trabajo realizamos una interpretación de este concepto enmarcada en el referente contextual de entonces del desarrollo de la electrodinámica, la termodinámica de la radiación y la física cinética. Se muestra cómo el uso del modelo físico continuista del resonador requirió de ajustes de las concepciones cinéticas de la física de los corpúsculos, para llevar a la distribución discreta de energía entre los resonadores sin introducir, en forma explícita, precisamente el atomismo; pero, en su defecto, la caracterización del cuerpo negro pasa por el intercambio absorción-emisión dejando como colateral la descripción del comportamiento de la radiación pura. El uso de la entropía, categoría central en el pensamiento físico de Planck, muy ligada a la irreversibilidad de los procesos, nos permite realizar un análisis heurístico, análogos a los cálculos que debió realizar, del camino hacia la fórmula que describe la radiación del cuerpo negro, en el que el punto medular consiste en un giro interpolativo más que una deducción basada en hipótesis físicas. Este hecho ha dado lugar a una polémica sobre la autoría del descubrimiento de la cuantización de la energía, la que resurgió con motivo del centenario de lo que se considera el inicio de la física cuántica y sobre lo cual nos limitamos a algunos criterios que forzosamente deben ser metodológico-filosóficos. En el análisis que realizamos del programa planckiano se observa la complejidad de la construcción epistemológica de una nueva ley, nunca lineal, a pesar de que, por razones metodológicas, no hemos incluido el aporte de otros contemporáneos de Planck. Finalmente, una percepción sobre las constantes universales y la energía del punto cero nos

permiten mostrar la variabilidad de las aristas que se coligen de la médula del programa principal.

PALABRAS CLAVES

Resonador, entropía, cuanta, radiación natural, atomismo.

INTRODUCCIÓN

La introducción de la discontinuidad de la energía electromagnética por Planck hace cien años es considerada el punto de partida de la teoría que rige para los entes del micro mundo. El continuismo no era otra cosa que la confirmación de la naturaleza continua de los campos clásicos y, a su vez, el fundamento del energitismo contraparte de las ideas atomísticas de la época. En el proceso de la síntesis del siglo de la teoría cuántica, el lugar del cuanta “primitivo” ocupa diferentes posiciones. Los éxitos de la mecánica cuántica (Tegmark y Wheeler, 2001) y el debate sobre sus consecuencias más recientes, como la computación cuántica de la conciencia, los universos paralelos, la naturaleza de la realidad física y las especulaciones sobre una teoría unificada de la gravedad cuántica, colocan la hipótesis de Planck solo a nivel del impacto que tuvo cuando Peter Debey mostró, basado en ella, el comportamiento de la energía vibracional de los sólidos. Hay físicos historiadores de la ciencia (Kragh, H. 2000) que son categóricos al señalar que no hubo ninguna revolución en 1900, que la importancia dada a su trabajo es sólo una gran reconstrucción histórica, un mito, y que Planck como Copérnico se convirtió en revolucionario a pesar de sí. Otros autores (Klein M, 1966, Kuhn T., 1980, Vlasak W., 2001) enfatizan sobre los conocimientos termodinámicos de Planck como el sustrato guía de su descubrimiento. En efecto, a pesar de haber sido alumno de H. Hertz, G. Kirchhoff y H. Von Helmholtz, dirigió sus primeros esfuerzos investigativos a perfeccionar las ideas de R. Clausius, quien introdujo el concepto de entropía y estableció una versión de la segunda ley de la termodinámica. Planck creía en la validez absoluta de esta ley, lo que lo hacía rechazar no sólo la versión estadística a la termodinámica dada principalmente por

L. Boltzmann, sin dudar de la hipótesis atómica sobre la cual se basaba. Para 1882, Planck pensaba que la concepción atómica de la materia era irreconciliablemente opuesta a la ley del crecimiento de la entropía, pues ésta la consideraba como altamente probable, más que como un aspecto absoluto de la naturaleza.

Es importante señalar el recorrido de la construcción planckiana como un ejemplo de ruptura epistemológica (Garrido C.,1988), tal como veremos, pues los puntos de no retorno en la ciencia nunca han dejado de estar expuesto a las reconsideraciones producto del avance de ésta. En 1895, a raíz del trabajo de W.Wien, se propuso el programa de investigación de demostrar, una vez por todas, que la segunda ley de termodinámica no era simplemente una materia de probabilidad y para ello debía determinar la irreversibilidad termodinámica en términos de algún modelo micro-mecánico o micro-electrodinámico que no involucrara explícitamente la hipótesis atómica.

En este trabajo, realizaremos en detalle un enfoque heurístico de la deducción de la fórmula de Planck en su forma original, lo que, a diferencia de la que ofrecemos de los textos, permite centrar la polémica, mitos y aristas técnicas de las bases de los conjuntos canónicos estadísticos.

EL MODELO DEL RESONADOR

Planck decidió considerar el problema de la dispersión resonante de las ondas electromagnéticas plana por una especie de dipolo oscilante de dimensión pequeña comparada con las longitudes de onda. El modelo de cuerpo negro, establecido por Kirchoff, consistía en una cavidad cerrada en la cual la radiación electromagnética se encuentra en equilibrio termodinámico con las paredes internas de ésta a una temperatura dada. El punto medular del problema es que Planck consideraba la pared formada por “resonadores” armónicos de frecuencia ν puestas a oscilar por el campo oscilante de ondas electromagnéticas de frecuencia ν , modelo que supone regiones de vibración en la

pared similar a la de zonas microscópicas de una membrana vibrante. Es decir, un sistema oscilante continuo de dimensiones mucho más pequeñas que la longitud de onda de los campos exteriores. Este fue sustituido posteriormente por el modelo del oscilador armónico, identificable con el fotón, que revierte características corpusculares y discretas, pues es asimilado a una carga eléctrica sometida a una fuerza elástica que vibra bajo la acción de un campo electromagnético armónico exterior. El modelo de Planck atañía a la polémica sobre el atomismo y, a diferencia de las teorías físico estadísticas de Boltzman, conocidas en 1895 cuando Planck inicia sus trabajos sobre el cuerpo negro, éste prefirió el enfoque termodinámico.

Ya se habían establecido, en 1894, las conocidas relaciones de Wien para el cuerpo negro

$$u_\nu = \nu^3 f(\nu/T) = \alpha \nu^3 \exp(-\beta \nu / T) \quad \alpha, \beta - \text{constantes}$$

con $u_\nu = du/d\nu$ la densidad espectral de energía por unidad de volumen, f -una función de una sola variable, como los estableció Gustav Kirchoff (1849). Debió introducir un complicado cálculo del número de complejiones (resonadores) por unidad de volumen dentro de la cavidad que resulta ser:

$$N_J(\nu) = 8 \pi \nu^2 / c^3$$

llamado posteriormente número de Jeans, quien sugirió(1905) una mucho más fácil deducción del número de resonadores (u osciladores armónicos). Este número permite caracterizar las variables aditivas del oscilador armónico como su energía media u_0 y su entropía media s_0 . esto es,

$$u_\nu = N_J u_0 \quad s_\nu = N_J s_0 \quad (1)$$

En el caso de la segunda relación, hay que admitir que los diferentes modos de vibración son independientes, sin relación de fase entre ellos, para garantizar la linealidad. Señalemos que las entropías satisfacen la relación de aditividad sólo a condición de que los diferentes modos de vibración sean independientes sin relación de fase entre ellos, o sea que no debe haber coherencia

entre ellos; de allí que Planck introduce la hipótesis de lo que él llamó la radiación natural para remarcar la incoherencia de los resonadores, una contraparte al concepto de caos introducido por Boltzmann para las partículas de movimiento al azar. El tema de la coherencia en mecánica cuántica se estableció mucho después con la introducción de la matriz de densidad de estados.

UNA PRIMERA FORMULA DE RADIACIÓN

Planck partió de las dos leyes de la termodinámica, la conservación de la energía de un sistema que la intercambia en forma de calor dQ y trabajo dW

$$dQ = dU + dW$$

siendo dU el cambio cuasi-estático de su energía interna. Considerándose discípulo de Clausius habría de usar el concepto de entropía de este $dS = dQ/T$ que él mismo ayudó a desarrollar en su tesis doctoral (1879). Así que: $dU = TdS - PdV$ de donde,

$$\partial U / \partial S|_V = T \quad \text{o} \quad \partial S / \partial U|_V = 1/T$$

así como su variante espectral por unidad de volumen

$$ds_v / du_v = 1/T$$

y para cada uno de los resonadores

$$ds_o / du_o = 1/T \quad (2)$$

Esta es una expresión clave utilizada por Planck en su deducción de la fórmula de radiación del cuerpo negro, presentada ante la Sociedad Berlinesa de Física, el 9 de octubre de 1900, deducción que se presenta hoy bajo otras bases.

La ley de desplazamiento de Wien para un resonador usando el número de Jeans lleva a

$$u_\nu = \nu \left(N_J c^3 / 8\pi \right) f(\nu/T) = N_J u_o$$

o sea que $u_o = \nu F(\nu/T)$ o su expresión inversa

$$\nu/T = \Phi(u_o / \nu) \quad (3)$$

De aquí dirigió sus cálculos a la obtención de una expresión para la cantidad

$$R = (-d^2 s_o / du_o^2)^{-1}$$

que más tarde (1909), Einstein demostró que representa el cuadrado de las fluctuaciones de la radiación de estructura corpuscular mas aquella de estructura ondulatoria.

Al introducir la relación (2) en (3) tal que $ds_o = \Phi(u_o / \nu) d(u_o / \nu)$ la entropía media del resonador dependerá de una sola variable $\xi = u_o / \nu$.

De la expresión (3) y de la fórmula de Wien se observa que

$$u_o = u_v / N_j = \nu^3 \circ \alpha / N_j \circ \exp(-\beta \nu / T)$$

introduciendo la constante $h = \alpha c^3 / 8\pi$ hoy llamada de Planck, resulta en

$$u_o = h\nu \exp(-\beta\nu / T) \quad (4)$$

para avanzar hacia la expresión de R se combinan las relaciones (2) y (4)

$$\ln(u_o / h\nu) = -\beta\nu / T \quad \circ \quad 1/T = -(1/\beta\nu) \cdot \ln(u_o / h\nu) = ds_o / du_o$$

integrando esta expresión, tenemos

$$ds_o = -(h/\beta) \cdot \ln(u_o / h\nu) d(u_o / h\nu)$$

Planck obtiene de aquí una interesante versión de la ley de Wilhem Wien :

$$s_o = -h/\beta \cdot \{(\ln(u_o / h\nu) - 1) \circ (u_o / h\nu)\} + const \quad (5)$$

la segunda derivada es

$$d^2 s_o / du_o^2 = -1/\beta\nu u_o \quad \circ \quad R = -(d^2 s_o / du_o^2)^{-1} = \beta\nu u_o \quad (6)$$

una función lineal en u_o .

Estas relaciones obtenidas en 1899 llevaron a la convicción de la mayoría de los científicos a pensar en la fórmula de Wien como la definitiva. Pero a comienzos de 1900, con el desarrollo de las técnicas experimentales en el infrarrojo, los físicos berlineses Kurlbaum, Pringsheim y Rubens mostraron que para bajas

frecuencias los resultados contradecían la teoría hasta en un 40-50%. Esto implicaba la búsqueda inmediata de otros caminos para satisfacer teóricamente las divergencias experimentales.

HACIA LA FORMULA CORRECTA

Rayleigh y Jeans observaron inmediatamente el hecho de que el comportamiento obtenido a bajas frecuencias correspondían teóricamente al modelo del oscilador armónico para el cual el principio de equipartición de energía llevaba a:

$$u_o = kT \quad \text{k-la constante de Boltzmann}$$

La revisión de la evolución del problema indica que la intervención de Rayleigh fue sólo colateral, pues Planck utilizó esta relación sobre la base de una argumentación más bien de funcionalidad. En ese sentido, cabe señalar que la fórmula de Rayleigh y Jeans no tomó parte en lo absoluto en las primeras fases de la teoría cuántica (Kragh H, 2000), ya que éste no consideraba el teorema de equipartición como fundamental y en la práctica lo ignoró. Su uso posterior corresponde mas bien a recursos didácticos de los textos, o quizás a los importantes aportes posteriores de J. Jeans en diversas ramas de la física.

Planck concluye de la última expresión de que a estas frecuencias

$$ds_o / du_o = 1/T = k / u_o \quad \text{o} \quad d^2 s_o / du_o^2 = -k / u_o^2$$

de donde se obtiene que $R = -(d^2 s_o / du_o^2)^{-1} = 1/k \cdot u_o^2$ (7)

una función cuadrática en u_o . Las relaciones (6) y (7) son los casos extremos, respectivamente, cuando la frecuencia es pequeña con valores u_o grandes y cuando la frecuencia es grande con valores de u_o pequeños. Este ultimo argumento, usado ahora en las demostraciones didácticas, llevó a Planck a argüir que un buen ansatz (realización de un reemplazo conceptual de variables) sería simplemente tomar la suma de ambas expresiones como propuesta para explicar los datos experimentales de la radiación del cuerpo negro, un argumento de cálculo y no de fundamentación física.

$$R = \beta v u_o + k u_o = (-d^2 s_o / du_o^2)^{-1} \quad (8)$$

Esta combinación de dos casos extremos, sin justificación teórica llevaría a la fórmula correcta. Observando los gráficos de Rubens y Kurlbaum de 1901 se puede afirmar (Carson C., 2000) que Planck obtuvo una interpolación razonable, lo que hoy se llamaría un buen ajuste.

Luego de pasar (8) a fracciones parciales nos queda integrar la expresión

$$d^2 s_o / du_o^2 = 1 / \beta v \cdot \{-1 / u_o + 1 / (k\beta v + u_o)\}$$

o sea

$$\begin{aligned} ds_o / du_o &= 1 / T = 1 / \beta v \cdot \{\ln(u_o + k\beta v) - \ln u_o + \ln const\} \\ &= 1 / \beta v \cdot \ln(1 + k\beta v / u_o) + const \end{aligned}$$

Sabemos que cuando v es pequeño $1/T = k / u_o$. Igualando y expandiendo en serie la función logarítmica para v pequeño, se obtiene la aproximación

$$k / u_o = 1 / \beta v \cdot \ln(1 + k\beta v / u_o) + const \cong k\beta v / \beta v u_o + const$$

lo que anula la constante. Ahora, una simple operación algebraica nos lleva a

$$u_o = \frac{k\beta v}{e^{k\beta v / T} - 1}$$

Cuando v es grande esta expresión se aproxima a: $u_o = k\beta v \cdot e^{-k\beta v / T}$ que al compararla con la expresión (4) de la ley de Wien se tiene que $k\beta = h$, de donde

$$u_o = \frac{h\nu}{e^{h\nu / kT} - 1} \quad (9)$$

rápido se observó que, la expresión concluyente de Planck

$$u_\nu = N_J u_o = (8\pi h \nu^3 / c^3) \cdot \frac{1}{e^{h\nu / kT} - 1} \quad (10)$$

se ajustaba muy bien a los recientes datos experimentales. Observe que lo discreto deriva indirectamente de el número discreto de resonadores N_J que no aparece en forma explícita.

Planck consideró su ansatz como un “feliz hallazgo” (Kastler A., 1983), por lo que se propuso encontrar un fundamento teórico a la fórmula, para lo cual se volcó, aunque con reticencias, hacia las ideas de Boltzmann, pero (y esto es importante) las usó reinterpretándolas en sus propios términos probabilísticos.

LAS CONSTANTES UNIVERSALES: a y β

En su presentación publicada en 1901 para la revista *Annales der Physik*, Planck utilizó como relación de partida:

$$\partial^2 s / \partial u^2 = -f(u) \quad (11)$$

Supongamos que en vez de perturbar un solo resonador en una cantidad Δu , a partir del equilibrio, desplazamos n resonadores en la misma cantidad $\Delta u = n\Delta u_0$. Siendo la entropía aditiva

podemos considerar que el cambio total de esta para los n -resonadores en función del cambio uno de ellos Δu_0 debe ser $\Delta s = n\Delta s_0$ por lo que de (11) se obtiene

$$\partial s / \partial u = -f(u)\Delta u \quad \text{o sea} \quad ds = -f(u)\Delta u du$$

que para un resonador individual es

$$ds_0 = -f(u_0)\Delta u_0 du_0$$

ya que $\partial^2 s_0 / \partial u_0 = -f(u_0)$

y para n de ellos $nds_0 = -nf(u_0)\Delta u_0 du_0 = -f(nu_0)n^2\Delta u_0 du_0$

de donde $f(u_0) = n f(nu_0)$ relación que se satisface sólo si

$$f(u_0) = -a/u_0 \quad a - const$$

como se puede comprobar fácilmente o sea

$$\partial^2 s_0 / \partial u_0^2 = -a/u_0 \quad \text{o} \quad (-\partial^2 s_0 / \partial u_0^2)^{-1} = u_0 / a \quad (12)$$

Para generalizar, Planck asume (12) como el primer término de una descomposición en serie de potencias de u_0 , al cual le agrega el siguiente término

$$(-\partial^2 s_0 / \partial u_0^2)^{-1} = u_0 / a + \beta u_0^2 \quad \beta - const$$

Lo que lleva a la expresión

$$\partial^2 s_o / \partial u_o^2 = -\frac{a}{u_o(1+bu_o)} \quad b - const \quad (13)$$

o en fracciones parciales

$$\partial^2 s_o / \partial u_o^2 = \frac{a}{u_o} - \frac{a}{1/b + u_o}$$

que luego de la integración y usando (2) se obtiene

$$ds_o = a \ln\left(\frac{1/b + u_o}{u_o}\right) du_o = du_o / T$$

despejando u_o se obtiene finalmente

$$u_o = \frac{1/b}{e^{1/aT} - 1}$$

comparando con la relación de Wien (5) se colige que

$$1/b = h\nu \quad y \quad 1/a = \beta\nu$$

o sea
$$u_o = \frac{h\nu}{e^{\beta\nu/T} - 1}$$

y para bajas frecuencias esta lleva a

$$u_o \cong hT / \beta = kT \quad o \quad \beta = h/k$$

con lo cual se obtiene la fórmula de Planck (9) para la energía de un resonador. En su versión original, se presenta la relación (13) como el ansatz perfectamente análogo a (8).

Es necesario comentar aquí, independientemente de la interpretación que daría sobre la cuantización de la energía del resonador, que las constantes k y h entraron en existencia debido al requisito de que se cumpla la ley de desplazamiento, la que lleva a hacer el quantum de energía proporcional a la frecuencia (reemplazando las constantes a y β). Siendo $k=R/N_o$, R -la constante de los gases ideales y N_o - el número de Avogadro, Planck logró obtener el valor de R y con la constante de Faraday, la masa de los átomos y nada menos que la carga del recién descubierto electrón (Planck M., 1901). Los valores obtenidos $h= 6,55 \cdot 10^{-27}$ erg-sec, $k= 1,346 \cdot 10^{-16}$ erg/grad y $e= 4,69 \cdot 10^{-12}$ ues son los más precisos de los obtenidos hasta entonces; aunque sus contemporáneos no evaluaron adecuadamente estos resultados, sólo hasta que Rutherford lo empleara en su trabajo sobre la

estructura de la materia. Con ello introduce, en resonancia con su carácter de buscador de lo universal absoluto, el sistema absoluto de unidades de medida: la constante de gravitación universal G , la rapidez de la luz c y su constante a (que luego llamó h igual a $6,55 \cdot 10^{-27}$ erg-sec). Para él, el uso de las líneas D del sodio parecían tener un carácter antropomórfico, por lo que consideró las constantes G , c y h “independientes de los cuerpos específicos o sustancias, tales que deben mantener su significado para todos los tiempos y todas las culturas incluyendo las extraterrestres y las no-humanas” (Klein M., 1966)-

HACIA LA FUNDAMENTACION DEL QUANTA

Frente a la interpretación física de sus resultados, Planck (Planck M., 1900) consideró que debería dar un mejor fundamento a su fórmula, para lo cual decidió abandonar el escepticismo respecto a las ideas atomísticas de Boltzmann y sus métodos probabilísticos y le atribuye a la energía radiante una estructura discontinua y la dividió en un número finito de elementos de energía E :

$$u_v = NE = N_j u_o$$

Define el número medio de elementos de energía radiante por resonador como $n = N / N_j = u_o / E$

Obsérvese que en la forma de asignar la energía con $N_j \neq N$, Planck presentó a lo largo de su vida científica serias dudas sobre esta su hipótesis. Treinta años después admitiría que esto fue un “acto de desesperación”, o sea una pura suposición que le sirvió para encontrar un resultado positivo. Estas posiciones dieron lugar a una discusión sobre su rol en el descubrimiento de la existencia del quanta o fotón. Las dudas de Planck aún son consideradas por algunos físicos que cuestionan la teoría cuántica, la que “continúa dominando la ciencia debido a las influencias puramente subjetivas de Thomas Kuhn” (Kirilyuk A., 2000).

El uso de la fórmula de Boltzmann $S = k \ln W$ llevó a la necesidad de calcular W obteniendo

$$W = \prod_v W_v \quad y \quad W_v = \frac{(N + N_j - 1)!}{N!(N_j - 1)!} \quad (14)$$

conocida expresión de la física estadística. Recordemos que W es la llamada probabilidad termodinámica, o sea el número de configuraciones diferentes de distribución de N elementos de energía radiante entre los N_j resonadores. Es de interés señalar que esta forma del postulado de Boltzmann se debe al propio Planck, quien a su vez definió la constante k , curiosamente hoy denominada de Boltzmann; y la versión de Boltzmann, de quien lleva el nombre esta fórmula, estaba contenida en el conocido teorema H de este último. Ahora, a pesar de que la estadística de Bose-Einstein se estableció sólo en 1924, fundamentando la relación (14) para sistemas de elementos indistinguibles de spin entero, Planck la dedujo bajo otros preceptos para el cálculo de la entropía de un sistema de micro resonadores, físicamente compuesto de elementos distinguibles.

El cálculo es similar al habitual para las variables termodinámicas. Usando la fórmula de Stirling $\ln N! \cong N \ln N - N$ se observa, usando la definición de n que

$$s_v = k \ln W_v = k \{ \ln(N + N_j) - \ln N - \ln N_j \} \\ = k N_j \{ (1 + n) \ln(1 + n) - n \ln n \}$$

o bien, usando la definición de n

$$s_o = k \left\{ \left(1 + \frac{u_o}{E}\right) \ln\left(1 + \frac{u_o}{E}\right) - \frac{u_o}{E} \ln \frac{u_o}{E} \right\}$$

aplicando la derivada a

$$ds_o / du_o = 1/T = \frac{k}{E} \ln\left(1 + \frac{E}{u_o}\right)$$

de aquí que $u_o = \frac{E}{e^{E/kT} - 1}$, al compararla con la relación (9),

nos lleva a la definición de la energía E para cada porción de los N elementos de radiación

$$E = h\nu \quad (15)$$

el conocido paquete de energía de radiación o quantum de radiación (quantum era denominación en los puertos de Alemania a los paquetes de carga de los barcos). Esta nueva deducción fue

presentada por Max Planck ante la Sociedad de Física de Berlín, el 14 de diciembre de 1900, marcando una nueva fase en el desarrollo de la física contemporánea.

CONCLUSIÓN

La Teoría de los Cuantos es el producto de un proceso en el cual intervinieron varios científicos, que germinó con los intentos de crear una teoría del comportamiento de la radiación pura, al que se dio un giro profundo e imprevisto con el programa de investigación de Planck, consistente en establecer la absolutez del segundo principio de termodinámica, para lo cual eligió el problema de la radiación del cuerpo negro como vía de probarla. En la conferencia Solvay de 1911, que versó sobre la teoría de la radiación y el cuanta, estuvieron varios de ellos presentes y constituyó una especie de reconocimiento institucional de la teoría, aun antes del descubrimiento de la estructura atómica por N. Bohr. Quizás por ello, sólo en 1912, Planck abandonó sus reservas sobre la naturaleza estadística de la segunda ley, pero no así sus trabajos sobre los mecanismos de absorción y emisión del resonador. Está claro que no tomó h para indicar la discontinuidad física que expresa la atomicidad de la energía (lo que sí hizo Einstein al aplicar la termodinámica a la luz ella misma). Quizás, como alguno afirma, la teoría cuántica no pertenece en sus orígenes a ninguna falla de la física clásica, sino a la convicción de Planck en la termodinámica (Kragh H., 2000), pero consideramos que el cuanta es el producto de un verdadero Programa de Investigación, según los términos de Imre Lakatos (Lakatos I., 1983). Planck presentó variantes y ajustes (Boudenot J.C. y Cohen-Tannoudji G., 2001) a su teoría sin llegar muy lejos; producto de ello, realizó un importante descubrimiento al obtener un término adicional a su fórmula: el término $h\nu/2$ que no desaparece al cero absoluto y al que le dio el nombre de energía del punto cero, confirmada posteriormente (en 1928) con experimentos de las intensidades de difracción del haz de rayos X.

En el diagrama 1 sintetizamos el proceso del descubrimiento de Planck. Es visible de él las categorías físicas y su evolución, que hemos querido alejarlas de mitologías creadas en el paso del siglo.

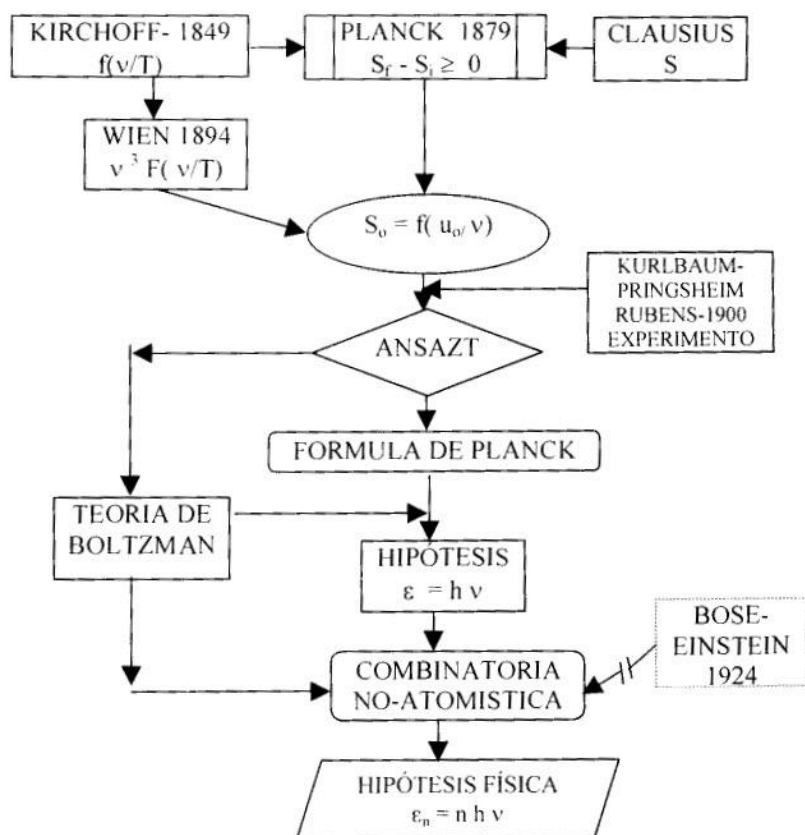


Fig.1. Programa Planckiano.

Las ideas de Kirchoff y Clausius generan el subprograma de Planck para demostrar la absolutez del principio de crecimiento de la entropía, aplicado a la radiación del cuerpo negro, ampliando así de la mecánica al electromagnetismo los principios de la termodinámica. Al obtener su versión de la ley de Wien, los datos experimentales refutan su universalidad, lo que lo lleva a la decisión de introducir su ansatz resultado, de lo cual deduce la interpolación correcta. Para justificar el hallazgo, debe hacer uso

de la teoría estadística de Boltzman, postulando la distribución de energía por paquetes a la radiación. Un replanteamiento del problema lo encarrila, a través de las ideas cinéticas de Boltzman, a realizar una reformulación, mediante conceptos combinatorios (matemática más no físicamente similares a los que posteriormente harían Bose y Einstein), pero de naturaleza no atomística, tanto de la deducción de la fórmula como del carácter discontinuo de la energía.

Hoy, más de 25 % del producto nacional bruto de los Estados Unidos, para citar solo un ejemplo, se considera que depende de tecnologías provenientes de los fenómenos cuántico (Bjorken J., 2000), lo que lleva a pensar que la teoría cuántica está bien cimentada. Pero, al no estar resueltas sus paradojas, la física no-lineal, las cuerdas, la gravedad cuántica, etc., parecen ser perspectivas que podrían superarla o bien hacerla desaparecer en ellas.

ABSTRACT

The concept of discontinuity for a dynamical variable, as the energy, introduced a breakdown in Hamilton-Lagrange's physics given by means of a process having its deepest expression in the discovery of the quanta by Max Planck 100 years ago. This work presents a short interpretation of the above situation, within in the context of those times state of the art of electrodynamics, radiation thermodynamics and kinetic theory. Since the use of the continuous physical model of resonator, it seems necessary an adjustment in the kinetic concepts of the physics of the corpuscles which could lead to a discreet distribution of energy among the resonators. In doing so, the atomistic point of view was not introduced in explicit form. Even so, the characterization of the black body is restricted only for the interchange absorption-emission, leaving like collateral the description of the behavior of the pure radiation. The use of the entropy, central category in the Planck's physical thought, very close to irreversibility of the processes, allow us to give rise to a heuristic analysis, analogous to his calculations. It can be shown the way the formulae describing the radiation of the black body may be obtained but emphasizing the fundamental point consisting of a interpolation draft more than a deduction, based on physical hypotheses. This fact has given place to a polemic on the authorship of the discovery of the energy quantization re-arising on the occasion of the centenary of what is considered as the beginning of quantum physics. On its matter, this work will be limited to some

criteria that necessarily must be used for methodological and philosophical reasons. In the assesment of the Planck's program, the complexity of the epistemological construction of a new law is observed, never linear, and does not include the contribution of Planck's contemporaries. Finally, a perception on the universal constants and the zero point energy is given to make explicit the existence of edges which can always be deduced from the kernel of any principal program.

REFERENCIAS

- Bjorken, J. 2000. The futur of the Quantum Theory. Beam Line. Vol. 30 No2.pg2.
- Boudenot, J.C., & G. Cohen-Tannoudji 2001. Max Planck et la naissance de la mécanique quantique. Bulletin de l'Union des Physiciens. Vol. 15. fevrier. Pg.349.
- Carson, C. 2000. The origins of the quantum theory. Beam Line. Vol. 30, No2. pg.6.
- Garrido, C. 1988. Un enfoque histórico-epistemológico de la teoría de los cuantas. Rev. Scientia. Vol. 3, No 2 pg.49.
- Kastler, A. 1983. Max Planck et le concept de quantum d'energie lumineuse. Ann. de la Fondation Louis De Broglie. Vol. 8, No.4, pg. 287.
- Kirilyuk, A.P. 2000. 100 years of quanta: complex-dynamical origin of Planck constant and causally complete extension of quantum mechanics. ArXiv:quant-phys/0012069, 14 dec.
- Klein, M. 1966. Thermodynamics and Quanta in Planck's Work. Physics Today. Vol. 19, No 11, pg.23.
- Kragh, H. 2000. Max Planck: the reluctant revolutionary. Physics World. Dec. Vol. 13. Issue 12. Article 9.
- Kuhn, T. S. 1980. La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912. Alianza Editorial. Madrid.

Lakatos, I. 1983. La Metodología de los Programas de Investigación Científica. Alianza Editorial. Madrid.

Planck, M. 1900. On entropy and temperature of the radiant heat. Ann.Phys. Vol. 4. No.1, pg.719.

Planck, M. 1901. About the law of energy distribution in normal spectrum. Ann. Phys.Vol. 4. No 4, pg. 553.

Soassky, B. 1964. Istoria Fisiki. Ed. Moskovskii Universitet. Tom II. Moskova.

Tegmark, M. & J. Wheeler 2001. 100 years of the quantum. Scientific American Vol. 2, pg. 68.

Vlasak, W. 2001. Planck theory and thermodynamics. Chemical Innovation. Vol. 31, No. 2, pg.56.

Recibido junio del 2001, aceptado agosto del 2001.