

# LA ENTIDAD DE LA FISICA

DARIO ROZO M.

ex-Rector de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería  
de la Universidad Nacional — Bogotá.

(Conclusión)

## ELECTRICIDAD DINAMICA

58.—La solución general de la ecuación de propagación es  $s = \psi + \varphi$

$$s = A \sin k(x + ct) + A \sin k(x - ct) \quad (273)$$

de la cual resulta

$$s = 2A \cos kct \sin kx \quad (274)$$

Cuando

$$x = \pm ct, \quad s = \pm 2A \cos a \sin a = \pm A \sin 2a$$

$$\therefore s = \pm A \sin 2kct \quad (275)$$

pero  $k = 2\pi \frac{v}{\lambda} = 2\pi \frac{1}{\lambda} \therefore 2kct = 4\pi vt$ .

Se debe tener  $t = \tau$  Para la electricidad

$$v\tau = 1 \therefore 2kct = 4\pi. \text{ Por tanto: } s = \pm A$$

Se tiene, pues, una esferilla de una onda condensada o inmanente; no es estacionaria porque la onda no se renueva; es el nudo de éter de Lodge, el neutrón.

Cada uno de los estratos del átomo está constituido de modo análogo si se prescinde del potencial a que está sometido cada estrato. De modo que si se puede desalojar un estrato y llevarlo al potencial del periéter, formaría, separado, una esferilla como

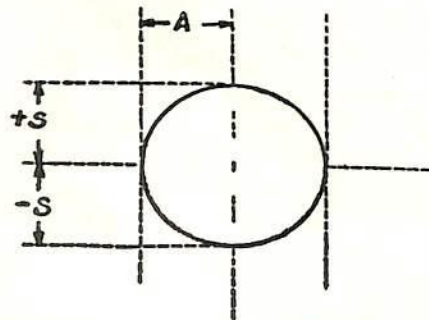


Figura 3

la anterior y se convertiría en un neutrón. Si no se separa, podría ocupar el lugar del periéter, si éste fuera desalojado, y lo sustituiría.

El periéter es en realidad un neutrón que en estado de reposo circunscribe el núcleo.

Notemos que en el presente caso se ha supuesto para la energía inmanente que  $v = c$ , o mejor  $v^2 = c^2$ .

Al neutrón le corresponde la ecuación (274) cuando  $x = \pm v\tau$ ; pero éste se puede transformar en (273), que es la suma de  $\psi$  y  $\varphi$

$$\psi = A \sin k(x + ct) \quad (276)$$

$$\varphi = A \sin k(x - ct) \quad (277)$$

El neutrón tiene dos masas: una corresponde a la estatificación de  $c$  en la  $\psi$  y la otra a la estatificación en  $\varphi$ . La  $\psi$ , tal como está escrita, representa también una propagación hacia el centro:  $x = -ct$  y la  $\varphi$  una onda que se propaga hacia fuera:  $x = ct$ ; ambas con la velocidad  $c$  de la luz. Se comprende fácilmente que en determinadas circunstancias, cualquiera de las dos partes  $\psi$  o  $\varphi$  tienda a reasumir su carácter de propagación, pues cada una de esas funciones sinusoidales constituye una propagación de por sí, como lo indica la (274). La masa que, según esto, tiene tendencia a ir hacia el centro, es la positiva (se ha convenido en llamarla así); de ahí ha resultado que en el estudio de la física se considere el núcleo de los átomos como formado por cargas de electricidad positiva.

La masa que, según su ecuación, tiende a alejarse del centro, ha sido llamada electricidad negativa; esto explicaría el hecho observado de la mayor facilidad con que se desprenden cargas de electricidad negativa provenientes de los átomos y moléculas. A estas cantidades de electricidad negativa separadas, se les ha dado el nombre de electrones; en algunos casos se les llama cationes, y cuando parten en forma de ondulación, sin vehículo aparente, se les denomina rayos  $\beta$ .

Bastaría, pues, modificar por medio de un trabajo exterior las condiciones de estatificación del periéter o del neutrón, para obtener una propagación de electricidad; como por ejemplo, en el caso de tener una serie de corpúsculos de ciertas características y dispuestos convenientemente unos al lado de otros de tal modo que producido un desalojamiento en un átomo, su electricidad negativa se proyecte sobre el vecino y así sucesivamente hasta establecer la corriente eléctrica.

Al separarse el primer electrón se perturba el campo gravitacional de la molécula respectiva, y esa perturbación tenderá a formar de nuevo el electrón perdido. De modo, pues, que con el trabajo exterior para producir corriente eléctrica, lo que se hace es pasar la energía latente en el espacio a un conductor determinado; esto es, transformar energía.

Como vamos a verlo a continuación, la corriente eléctrica deja de ser una serie en movimiento de corpúsculos eléctricos del mismo signo (que se rechazarían unos a otros) para convertirse en una propagación a lo largo del conductor.

59. La corriente eléctrica. La ecuación (274) equivale a la (273), que es:

$$s = A \sin k(x + ct) + A \sin k(x - ct) \quad (278)$$

Si se cumple la condición de que  $x + v\tau = 0$  se tiene lo necesario para que subsista el electrón, y entonces la (278) nos expresa el estado de cosas en un instante dado. Supongamos un instante  $a$  en el cual comienza el trabajo que desaloja el primer electrón, entonces

$$s = \text{cero} + A \sin k(x - ct) \quad (279)$$

en donde se indica con cero la condición necesaria para la instantánea existencia del electrón (el primitivo u otro que lo sustituya). Se tendrá, pues,

$$s = f_2(x - ct) \quad (280)$$

Sean ahora dos pares de valores  $x, t$  y  $x_1, t_1$  para los cuales se satisfaga la relación

$$x - ct = x_1 - ct_1 \quad (281)$$

$$\text{o sea } x_1 - x = c(t_1 - t) \quad (282)$$

Esto nos da a conocer que el estado  $s$  tendrá al cabo del tiempo  $t_1$  y a la distancia  $x_1$  el mismo valor que tenía en el instante  $t$  a la distancia  $x$ . Se puede, pues, decir que el electrón se ha transportado durante el tiempo  $(t_1 - t)$  a la distancia  $(x_1 - x)$ , o lo que es lo mismo, que se ha movido con la velocidad

$$\frac{x_1 - x}{t_1 - t} = c \quad (283)$$

Ya se sabe que la (280) satisface la ecuación de propagación.

Al decir arriba que "el electrón se ha transportado" se emplea un modo de decir que no corresponde exactamente al significado literal de las palabras en lo real, pero que sí corresponde al resultado matemático de las fórmulas: en realidad no hay transporte de corpúsculos eléctricos, sino que éstos se convierten en una propagación; eran como una ondulación estacionaria que deja su estacionamiento para desalojarse según un camino que se le franquea de pronto.

60.—Electromagnetismo. Ya se vio que la ecuación del campo eléctrico puede ser la (157):

$$m \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 s$$

Sabiendo lo que al respecto significa esta ecuación podremos hallar el campo galvánico: bastará averiguar si el rotacional es nulo o no.

Para que se establezca la corriente eléctrica se supuso un camino, que puede ser un conductor. Sea ese conductor filiforme.

El curl o rotacional es un vector análogo al vector de rotación, cuya magnitud es el límite de la relación de la integral sobre un circuito cerrado de la componente tangencial de las fuerzas del campo, a la superficie abarcada por dicho contorno, vector cuya dirección es normal a esta superficie.

$$\text{Curl } l_a = \frac{\oint_C (A_s ds)}{\int_\Sigma d\sigma} \quad (284)$$

Si el límite es cero, el curl correspondiente es cero. El curl del campo en un punto, es la resultante de los tres curls rectangulares en ese punto.

Para el caso de los campos newtonianos estáticos, el curl es cero, pero cuando se mueve la masa que produce el campo, se determina un curl diferente de cero.

Para el caso que nos ocupa bastará tomar un sistema especial que facilita mucho los cálculos y que no le quita generalidad al resultado.

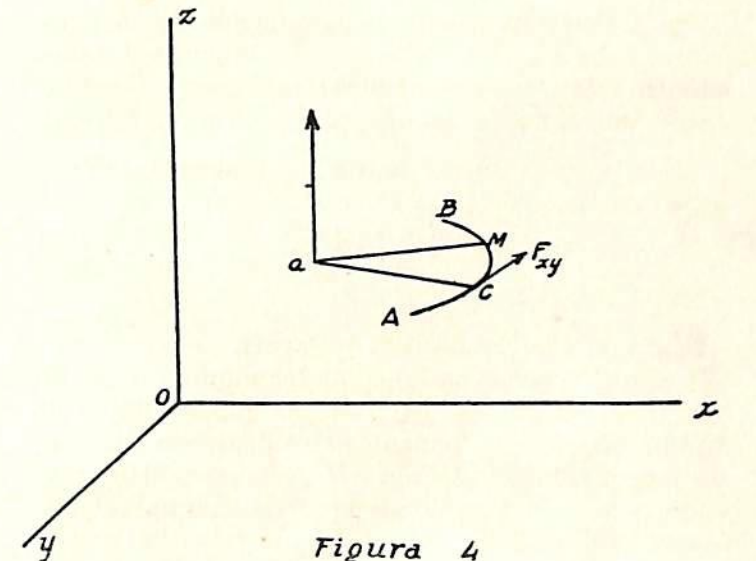


Figura 4

Sea un campo referido a ejes rectangulares; tomemos una curva plana de plano paralelo a  $xy$ ; sea  $ACB$  esa curva. Sea en  $C$   $F_{xy}$  la componente de la fuerza del campo según la tangente en  $C$  a la curva. El trabajo elemental sobre  $CB$  será

$$d\tau = F_{xy} ds$$

En el punto  $a$  del plano  $ACB$  tomemos una normal y en ella un vector  $w$  tal que siendo  $r$  la distancia de  $a$  a  $C$ , se tenga:

$$\frac{1}{2} w r = F_{xy} \quad (285)$$

Podemos poner  $ds = r d\theta$  si  $a$  es el centro de curvatura del elemento de curva en  $C$ , entonces

$$d\tau_1 = F_{xy} r d\theta = \frac{w}{2} r^2 d\theta \quad (286)$$

Como  $F_{xy}$  es perpendicular a  $aC$  y  $M$  está infinitamente vecino de  $C$ , el trabajo sobre el contorno  $aCM$  del sector elemental es  $d\tau$ . Y como  $\frac{1}{2} r^2 d\theta$  es el área de dicho sector,  $w$  es el curl correspondiente.

Halleemos el valor de  $w$  para el caso de la corriente que circule por  $ABC$ , siendo  $ABC$  un conductor en donde hay masas eléctricas. Busquemos la acción mutua entre  $C$  y  $a$ , suponiendo en  $C$  la masa  $m$ .

$$p_1 = \frac{m}{r} \quad p_2 = \frac{1}{r}$$

La acción mutua es  $p_1 p_2 = A$

$$A = \frac{m}{r^2} \quad A r^2 = m \quad A r^2 d\theta = m d\theta \quad (287)$$

Si hay curl, la (275) y la (286) deben ser equi-

valentes, y entonces  $\frac{2}{w} = A$  .

$$w = 2A \quad (288)$$

Por tanto se obtiene:

$$2A r^2 d\theta = 2m d\theta = w r^2 d\theta \quad (289)$$

Si  $2m d\theta$  es un trabajo, hay curl porque  $2A r^2 d\theta$  o sea  $w r^2 d\theta$  será diferente de cero. Si  $m$  no se desaloja, no hay trabajo; si  $m$  se desaloja, es necesario un trabajo y  $w$  tendrá valor.

Para tener en cuenta la circulación de la masa  $m$  se debe sustituir ésta por  $i$ , intensidad de corriente eléctrica, y se tendrá:

$$w r^2 d\theta = 2i d\theta \quad (290)$$

$w r$  es una fuerza según lo establecido por la (285); se designa con  $H$  esa fuerza:

$$H r d\theta = 2i d\theta \quad (291)$$

$$H = \frac{2i}{r}$$

que expresa la ley de Biot y Savart.

Como el lugar geométrico de los puntos  $a$  es un círculo alrededor de  $C$ , se sigue que las líneas de fuerza magnéticas (campo galvánico) son círculos en rededor del conductor.  $H$  es perpendicular al radio y está contenido en el plano normal al elemento  $ds$  en  $C$ . Si esto es así y la (291) es la expresión de un trabajo elemental, el ángulo  $d\theta$  del primer miembro debe estar en el plano determinado por  $C$  y la dirección de  $H$ ; entonces  $\oint H r d\theta$  dará el trabajo sobre un camino que circunda a  $C$  y que se representa por

$$\oint H ds$$

o bien por  $\int_{C_1} H ds$  cuando falta el signo  $\oint$

$$\text{Se tendrá: } \int_{C_1} H ds = 2i \int_0^{2\pi} d\theta$$

$$\int_{C_1} H ds = 4\pi i \quad (292)$$

que indica el trabajo en dos circuitos concatenados.

Se puede multiplicar la (291) por  $r$ :

$$H r^2 d\theta = 2i r d\theta \quad (293)$$

$$\int_0^\theta H r^2 d\theta = 2i \int_0^\theta r d\theta \quad (294)$$

Como caso particular que explica el significado de las ecuaciones (293) y (294) se puede tomar la integral para  $\theta = 2\pi$ :

$$H \pi r^2 = 2\pi r i \quad (295)$$

Si el ángulo  $\theta$  se ha tomado ahora sobre el plano  $aCM$  el producto  $H \pi r^2$  es el flujo de  $H$  a través del área circunscrita por el conductor, durante el tiempo que fue necesario para que la masa  $m$  circunvalara una vez al vector  $H$ . Pero en esa área no hay únicamente un vector  $H$  y la

integral abarca la suma o el conjunto de todos ellos,

todo lo cual se expresa con  $\varphi$  :  $\int H \pi r^2 = \varphi$

Para el movimiento o desalojamiento de  $m$ , o sea, para que  $i$  se efectúe, es menester un trabajo; trabajo que se ha llamado *fuerza electromotriz* y que se representa por  $e$ .

$e = \rho i$ , en que  $\rho$  es la resistencia del circuito y es proporcional a  $2\pi r$ ; será, pues,

$$e = 2\pi R i$$

El trabajo en la unidad de tiempo es  $w = ei$  y en el tiempo  $t$ ,  $wt = e i t$ . Se podrá poner el trabajo  $ei$  en la forma esencial  $F_s ds$ , y

escribir en general  $wt = e i t = t \int F_s ds$  con lo

cual queda comprendido el caso en que no haya conductores especiales.

El flujo es, pues, función del tiempo:

$$\varphi = t \int F_s ds \quad \therefore \quad \frac{d\varphi}{dt} = \int_{C_2} F_s ds \quad (296)$$

en donde se indica con el subíndice  $C_2$  la integral sobre un camino cerrado que circunscribe la superficie a la cual se refiere el flujo.

Las fórmulas (292) y (296), a saber:

$$4\pi i = \int_{C_1} H ds \quad \frac{d\varphi}{dt} = \int_{C_2} F_s ds \quad (297)$$

son el fundamento de la teoría electrotécnica de Maxwell y de Hertz.

61.—*Propagación en un medio cualquiera.* La propagación ondulatoria en un medio cualquiera de masa  $m$ , puede determinarse del modo siguiente: sea  $a$  la velocidad de propagación que se busca; la ecuación general dará:

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = a^2 \nabla^2 s \quad (298)$$

Ahora, la propagación va a través de la masa de un cuerpo que se llama el medio, y habrá, pues, que incluir esta masa en la divergencia, o sea introducir la cantidad  $m \Delta^2 s$ ; entonces la (298) toma esta forma:

$$m \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = a^2 m \Delta^2 s \quad (299)$$

$m \Delta^2 s$  es masa referida a volumen y multiplicada por el área a cuyo través pasa la propagación; pero masa dividida por volumen es densidad que suele indicarse con  $\rho$ ; y si  $\sigma$  es la superficie dicha,  $m \nabla^2 s = \rho \sigma$

$$m \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \text{ es fuerza, llamémosla } F; \text{ se tendrá,}$$

$$\text{pues: } F = a^2 \rho \sigma \quad \therefore \quad \frac{F}{\sigma} = a^2 \rho \quad (300)$$

pero  $F/\rho$  es tensión o presión, y en el caso de la propagación a través de la materia, es la reacción natural de la materia, la cual se llama *elasti-*

cidad y se designa con  $E$ ; por consiguiente se tendrá:

$$E = a^2 \rho \quad \therefore \quad a^2 = \frac{E}{\rho} \quad (301)$$

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

que es la velocidad de propagación en un medio de densidad  $\rho$  y elasticidad  $E$ . Esta igualdad se denomina *fórmula de Newton*.

62.—*Propagación electromagnética.* Al aplicar estas ideas al campo electromagnético, se obtienen relaciones interesantes. Se sabe ya que el establecimiento de un campo electromagnético equivale al flujo de una masa (vector de Maxwell) al través de un dieléctrico; tal dieléctrico tendrá un comportamiento especial según su naturaleza y es por medio de él como un condensador actúa. Si la masa que fluye a través del vacío es  $M_0$ , y la que fluye al través de un cierto medio es  $M$ , la relación

$$\frac{M}{M_0} = \frac{C}{C} = \epsilon$$

equivale a la densidad de masa que se mueve en el dieléctrico en unidades electrostáticas  $C_0$  o  $M_0$ . La electrotécnica también enseña que el dieléctrico opone cierta resistencia al flujo de masa o sea al vector de desalojamiento de Maxwell, y que esto equivale al coeficiente de *elasticidad magnética*, se designa por  $\frac{1}{\mu}$ . Se puede, pues, reemplazar

$E$  por  $\frac{1}{\mu}$  y  $\rho$  por  $\epsilon$ . Entonces se obtiene:

$$a^2 = \frac{1}{\epsilon \mu} \quad (302)$$

en unidades electrostáticas.

Para este valor en unidades electromagnéticas hay que dividir por  $c^2$  y entonces

$$a^2 = \frac{c^2}{\epsilon \mu} \quad (303)$$

$$\frac{a^2}{c^2} = \frac{1}{\epsilon \mu} \quad \text{o bien} \quad a^2 = \frac{1}{\frac{\epsilon}{c} \cdot \frac{\mu}{c}} \quad (304)$$

#### REFRACCION

63.—Si se recuerda la ley de la hipotenusa,  $\frac{1}{\epsilon \mu}$  puede ser equiparado a una seudomasa; entonces  $a$  viene a ser la velocidad resultante, es decir, que  $a$  es una nueva velocidad de propagación siendo la primera  $c$  (o viceversa), como cuando la luz pasa de un medio a otro.

Se sabe que la luz es un fenómeno electromagnético: sea  $a$  la nueva velocidad de la luz al pasar a un medio caracterizado por  $\epsilon$  y  $\mu$ ; se tendrá:

$$\frac{c^2}{a^2} = \epsilon \mu$$

$\frac{c}{a}$  es lo que se ha definido como *índice de refracción* de la luz para la velocidad  $a$  o para el medio  $(\epsilon, \mu)$ .

$$n = \sqrt{\epsilon \mu} \quad (305)$$

#### LOS POTENCIALES DEL ATOMO Y SUS NIVELES DE ENERGIA

64.—Se ha establecido ya que el átomo está constituido por un núcleo rodeado del períeter, y que el períeter puede considerarse como un oscilador.

Al períeter puede, pues, aplicársele la ecuación de Schrödinger para las oscilaciones, que es:

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - 2\pi^2 \nu^2 m x^2) s = 0 \quad (306)$$

Se demuestra que esta ecuación no admite valores distintos de los llamados *autovalores*:

$$E = (2n - 1) \frac{h\nu}{2} \quad (307)$$

con  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

Los autovalores son, pues,

$$\frac{1}{2} h\nu, \quad \frac{3}{2} h\nu, \quad \frac{5}{2} h\nu, \quad \frac{7}{2} h\nu, \dots$$

o sea

$$\frac{1}{2} h\nu, \quad \frac{3}{2} h\nu, \quad \frac{5}{2} h\nu, \quad \frac{7}{2} h\nu, \dots$$

$$\text{El escalón simple de energía es } \frac{2}{2} h\nu = h\nu.$$

65.—El períeter estacionario es idéntico a un condensador esférico. El potencial de todo condensador está dado por fórmulas constituidas por masa eléctrica dividida por *capacidad electros-tática*:  $P = \frac{M}{C}$ ; y como la capacidad es de las dimensiones de longitud, podrá asimilarse matemáticamente el potencial de un condensador a un potencial newtoniano, o también a una fuerza centrífuga,  $F_c = \frac{m v^2}{r}$  en que se elimine convenientemente a  $v^2$ ; esto es factible con la masa eléctrica o cantidad de electricidad, porque en efecto:

$$[e^2] = M L^3 T^{-2} = M [v^2] L$$

Hacemos estas observaciones con la intención de demostrar que la teoría de los estratos como condensadores esféricos, en la constitución del átomo, equivale a la hipótesis de Bohr de los electrones circulantes, ya que esta teoría ha dado excelentes resultados. Hay diferencias y la equivalencia no es rigurosa en todos sus puntos, pero nos ha parecido que estas discordancias salvan los inconvenientes hallados en las hipótesis de Bohr, y dan, por tanto, más aceptabilidad a la teoría de los estratos condensiformes.

66.—Lo que en realidad se hace en la teoría de Bohr es eliminar el cuadrado de la velocidad, de la expresión de la fuerza centrífuga, valiéndose de las dimensiones mecánicas de la cantidad de elec-

tricidad, como se demostrará más adelante. Con esto resulta que se pueden suponer órbitas para los electrones en vez de capas eléctricas dispuestas en condensador esférico; sin embargo, esta sustitución, sin modificaciones, no da el mismo resultado por cuanto que una masa eléctrica que se mueve en una órbita irradia energía según las teorías de la electrotécnica, al paso que en un condensador esférico no sucede esto porque las masas eléctricas pueden estar repartidas estáticamente por toda la superficie.

La irradiación de energía no era aceptable para interpretar el comportamiento del átomo, y para eliminar este inconveniente *hubo que suponer* que el electrón, al recorrer su órbita, no irradia energía, y que únicamente la irradia cuando cambia el radio de ella. En el caso del condensador no es necesario establecer esta excepción. Se sigue de esto que la hipótesis de Bohr, en esta primera faz del asunto, por lo menos, con su restricción, equivale a la del condensador, éste, en cambio, sin restricción ninguna.

67.—Un condensador esférico sin superficies materiales que sostengan las cargas, equivale matemáticamente a una *laminilla magnética cerrada*. La electrostática demuestra que el potencial exterior de una esferilla de esta naturaleza es nulo, y que el potencial interior es constante e igual para todos los puntos del interior, siempre que el momento magnético de la laminilla (momento del dipolo) sea constante. Su valor es

$$V = \pm 4\pi \mathcal{J} \quad (308)$$

Siendo  $\mathcal{J}$  constante,  $V$  es constante, y la derivada del potencial será nula; por consiguiente no hay campo de fuerzas en el interior.

$$F = 0 \quad (309)$$

Esta ecuación equivale a la de anulación entre la fuerza centrífuga y la atracción del núcleo que obran sobre el electrón giratorio de Bohr.

68.—La otra ecuación que en la teoría de Bohr se establece, es la de la energía cinética del electrón giratorio; ésta equivale a la del potencial del átomo con relación a la carga de la esferilla.

En la teoría de Bohr se establecen las siguientes ecuaciones:

$$\text{Fuerza centrífuga: } F = \frac{m v^2}{r} \quad (310)$$

$$\text{Atracción: } A = \frac{N e^2}{r^2} \quad (311)$$

$$\frac{m v^2}{r} = \frac{N e^2}{r^2} \quad \therefore \quad m v^2 = \frac{N e^2}{r} \quad (312)$$

$$\text{Energía cinética: } E^c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (313)$$

$$\text{Las (312) y (313) dan: } E^c = \frac{1}{2} \frac{N e^2}{r} \quad (314)$$

Pero la energía total es igual a la energía cinética con signo contrario. Esto, para campos newto-

nianos, como se deduce del teorema de las fuerzas vivas.

Se tendrá, por consiguiente:

$$W = -\frac{1}{2} \frac{N e^2}{r} \quad (315)$$

En este estado, Bohr supuso que

$$m v \times 2\pi r = n h \quad (316)$$

en que  $n$  es un número entero y  $h$  la constante de Planck. Esta igualdad expresa que la *acción*, o sea el impulso  $m v$  por la longitud de una *órbita*, sólo puede tomar valores múltiples enteros del *quantum*  $h$ .

De la (316) al cuadrado, se deduce:

$$m v^2 = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 r^2 m} \quad (317)$$

que con la (312) proporcionan esta igualdad:

$$N e^2 = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 r m} \quad (318)$$

$$r = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 N e^2 m} \quad (319)$$

$$\text{y también } \frac{1}{r} = \frac{4 \pi^2 m N e^2}{n^2 h^2} \quad (320)$$

Sustituido este valor en la (315) resulta:

$$W = -\frac{2 \pi^2 m N e^4}{n^2 h^2} \quad (321)$$

Ahora veamos cómo se obtiene este mismo resultado, sin referirse a un electrón aislado, y basándose en consideraciones relativas a los *estratos de la teoría ondulatoria*:

La forma general del potencial newtoniano a la distancia  $r$  contada desde el centro del átomo es:

$$E_p = \frac{M m}{r} \quad (322)$$

Tal es el valor del potencial en cualquier punto de una esfera de radio  $r$  en donde hubiera una masa  $m$ . De la (322) se deduce la energía total del punto  $m$ .

$$E_T = -\frac{1}{2} \frac{M m}{r} \quad (323)$$

La ecuación (271) da

$$\frac{1}{r} = \frac{4 \pi^2 v m s}{h} \quad (324)$$

La ecuación que satisface la formación de la materia es la (218) o sea la (273) transformable en la (274), y que para el caso es así:

$$s = 2A \cos k v T \sin k x \quad (325)$$

(Ver el párrafo —46— al final). Haciendo  $x = \pm v T$  se obtendrá  $s = \pm A \sin 2 k v T$  que habrá de proporcionarnos el valor de  $s$ ; para el caso  $s = q$

Pero  $q = \frac{v}{c} \lambda = N \lambda$ , sustituyendo este valor en la (324) se tiene

$$\frac{1}{r} = \frac{4 \pi^2 v m N \lambda}{h} \quad (326)$$

Si las capas eléctricas de una esferilla se separan a una distancia  $n \lambda$  (este sería el espesor de la laminilla), invertirán cierta energía  $w$  que puede calcularse así: una capa esférica de carga eléctrica que en todos sus puntos equidista de la otra, desarrolla potenciales  $\frac{e}{R}$  y  $-\frac{e}{R}$ ; su acción mutua será

$$F = -\frac{e^2}{R^2} \quad (327)$$

por tanto el potencial correspondiente será

$$w = \frac{e^2}{R} \quad (328)$$

$$\text{pero } R = n \lambda \quad \therefore \quad w = \frac{e^2}{n \lambda} \quad (329)$$

y para la frecuencia correspondiente,  $\nu$ , será:

$$w = n h \nu \quad (330)$$

$$n h \nu = \frac{e^2}{n \lambda} \quad \nu \lambda = \frac{e^2}{n^2 h} \quad (331)$$

y sustituyendo en  $1/r$ , ecuación (326)

$$\frac{1}{r} = \frac{4 \pi^2 m N e^2}{n^2 h^2} \quad (332)$$

Esta es igual a la obtenida por Bohr, la (320).

La (323) con la (332) dan:

$$E_T = -\frac{1}{2} M m \frac{4 \pi^2 m N e^2}{n^2 h^2} \quad (333)$$

Ahora es necesario hallar el valor de  $M m$  en función de las cargas eléctricas  $e$ , para el caso especial de la situación del periéter.

Hay que suponer el periéter estacionario, porque ya se sabe que cuando el electrón está en movimiento, la relación  $\frac{e}{m}$  es variable.

La mecánica enseña que una esfera cubierta con electricidad de densidad uniforme, obra como si la carga estuviera toda concentrada en el centro de la esfera. Suponiendo un desalojamiento infinitesimal entre las dos esferas de electricidades contrarias que forman la esferilla magnética (el periéter en el caso que se contempla), se tiene que la acción mutua de las dos capas, debe expresarse por

$$F_1 = \frac{e}{N} \left( -\frac{e}{N} \right) = -\frac{e^2}{N^2} \quad (334)$$

porque  $N$  es el radio del núcleo. (Se supone el periéter infinitamente vecino al núcleo pero exterior a él, en la mínima distancia a que puede estar del centro del átomo).

Ahora, considerando en la misma posición las masas atractivas, se obtendrá una relación comparable con la anterior, la cual nos proporcionará la solución que se busca. Las dichas masas atractivas darán:

$$F_2 = -\frac{M m}{N^2} \quad (335)$$

Pero la  $F_2$  es debida a todos los estratos del núcleo y la  $F_1$  es debida solamente a uno, al que

forma el periéter; por tanto,  $F_2$  será  $N$  veces mayor que  $F_1$  puesto que hay  $N$  estratos; o sea  $F_2 = N F_1$ . Entonces se tiene:

$$\frac{e^2}{N} = \frac{M m}{N^2} \quad \therefore \quad N e^2 = M m \quad (336)$$

Reemplazando este valor en  $E_T$  se encuentra:

$$E_T = -\frac{2 \pi^2 m N^2 e^4}{n^2 h^2} \quad (337)$$

ecuación igual a la (321). Queda, por consiguiente, demostrada la concordancia entre la hipótesis de Bohr y la del periéter, en cuanto al electrón giratorio externo. (Más adelante se verá que puede haber cierto número de estratos que en determinadas circunstancias adquieren la posición del periéter, o mejor, lo sustituyen; en tal caso corresponden a los *electrones periféricos exteriores*).

69.—Tómese en cuenta que las ecuaciones (334) y (335) sólo se verifican para puntos exteriores al átomo; de modo que tales igualdades no pueden aplicarse a los estratos que forman lo que hemos llamado el *núcleo*. En la teoría de Bohr pasa lo mismo, y para introducir la corrección correspondiente, hubo necesidad de considerar la *carga efectiva* que produce la atracción sobre los electrones interiores y que ya no es  $N e$ .

El problema de la determinación de la *carga nuclear efectiva*, ha sido acometido por notables matemáticos y presenta complicaciones de mucha dificultad.

70.—La teoría de Heisenberg concuerda con la teoría de los condensadores o de los *estratos condensiformes*. El primer paso de esta teoría, dice Castelfranchi, "es el siguiente: en lugar de la imagen del átomo con sus electrones circulantes, la frecuencia de cuyas órbitas no guarda ninguna relación directa con las frecuencias de las radiaciones, interviene el concepto de los osciladores de una orquesta virtual, cuyo campo de irradiación suministra el espectro del átomo de que se trata, o mejor, de un conjunto de átomos..." "La idea feliz de Heisenberg consistió, pues, en sustituir las coordenadas periódicamente variables de un electrón, por un conjunto de oscilaciones parciales, cuyas frecuencias coincidieran con los números de onda de las rayas espectrales que, según las ideas *antiguas*, eran originadas por las variaciones de aquellas coordenadas".

71.—Por medio de la ecuación de Schrödinger, tomada en esta forma:

$$\frac{1}{u^2} 4 \pi^2 v^2 = 8 \pi^2 \frac{m}{h^2} \left( E + \frac{e^2}{r} \right) \quad (338)$$

$$\text{o sea } u^2 = \frac{h^2 v^2}{2 m \left( E + \frac{e^2}{r} \right)} \quad (339)$$

$$\text{con } h = \frac{E}{v} \quad (340)$$

se encuentra que la función vibrante

$$u^2 \nabla^2 s = \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \quad (341)$$

admite soluciones cuando  $E$  es negativa, de la forma

$$E = -\frac{2\pi^2 m e^4}{h^2 n^2} \quad (342)$$

con  $n$  entero:  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

También proporciona el número cuántico azimutal de Bohr,  $(l+1)$  y el radial  $n - (l+1)$ .

(Para pormenores, consultar autores que tratan estos puntos en detalle, v. gr.: "Introduction to theoretical Physics", by Stater and Frank. Massachusetts Institute. "Física Moderna", por Castelfranchi, Milán, etc.)

72.—En la teoría de Bohr se denomina *núcleo* la parte central del átomo donde se supone que están reunidas las cargas eléctricas positivas en número igual al número atómico  $N$  y se da el nombre de *nudo* a la parte del átomo que resulta de excluir el estrato donde están los electrones periféricos. En el presente estudio, este estrato corresponde, en parte, a lo que se ha llamado periéter; de modo que lo que hemos denominado *núcleo* corresponde más bien al *nudo*; pero se ha dejado esta denominación de núcleo porque en todo él están las energías cuyo efecto en conjunto equivaldría al de las cargas concentradas, y también en nuestro caso no hay lugar a considerar carga ninguna en el centro.

El átomo teórico posee tantos estratos como unidades tiene el número atómico, y una capa más que corresponde al periéter. Si cada una de esas capas o estratos pudiera ser separada del átomo, constituiría por sí sola un *neutrón* que sería susceptible de resolverse en dos corpúsculos de electricidad, uno positivo y otro negativo (cuanta de electricidad). Los estratos que permanecen en el núcleo, con sus dos capas de electricidad, están en diferentes estados energéticos y deben agruparse de acuerdo con las gradaciones de los niveles de energía que pone de manifiesto el empleo de los rayos X para investigar la constitución del átomo.

Las exploraciones con los rayos X han puesto de manifiesto que mientras que el nivel  $K$  no tiene más que un determinado valor de energía para cierto átomo, el nivel  $L$  lo tiene triple, el de  $M$  es quintuplo,  $N$  tiene siete valores:

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| K | L | M | N |
| 1 | 3 | 5 | 7 |

73.—El periéter tiene energía cero en lo relativo al campo del átomo; ya se vio que en este sentido era  $(+1) + (-1) = 0$ .

El potencial en el interior tendrá valores determinados según el valor del momento del dipolo; y si éste es uniforme en toda la superficie del periéter, el potencial no cambiará de un punto a otro del interior (región interior a la capa positiva).

Separado el periéter del átomo por una causa

exterior adecuada, el estrato periférico que queda, pasa a llenar las veces del periéter y habrá habido una transformación del átomo: habrá descendido un lugar en la escala de los números atómicos.

La pérdida de la electricidad negativa del periéter producirá la ionización del átomo mientras el comportamiento exterior no dote al átomo de carga negativa, ya sea nueva (por efecto del campo), ya sea por captación de alguna carga libre. La mencionada pérdida no altera el núcleo (nudo) en cuanto a su formación de capas positivas, y por consiguiente no cambia la naturaleza del cuerpo; produce, sí, perturbaciones en el campo gravitacional del átomo. Por este proceso se comprende que el helio, que tiene dos estratos, se asemeje al hidrógeno con dos cargas positivas, cuando está ionizado.

74.—Los rayos X tienen origen en los cambios que se efectúan en los estratos del núcleo. El bombardeo por los rayos X produce la escisión de las capas, y el resultado de esto es: corpúsculos de electricidad positiva o propagación de la parte positiva de la onda estacionaria (inmanente) que constituye cada estrato, lo cual determina los rayos  $\alpha$ ; corpúsculos negativos o propagación de la parte negativa del estrato, que da los rayos  $\beta$ ; o bien la propagación conjunta de ambas capas del estrato, o sea resolución del estrato en ondas, lo que constituye los rayos  $\gamma$ .

La escisión del periéter produce electrones (corpúsculos de electricidad negativa), pero si es posible la instantánea reorganización del periéter y la repetición continua de este fenómeno, se tiene la corriente eléctrica.

75.—Por lo establecido en los párrafos 48, 64, 65 y 67, se ve que hay completa semejanza entre los estratos, incluso el más externo (periéter) y que se comportan como condensadores esféricos, o como laminillas dipolares, cerradas en esfera.

El momento de la laminilla será  $\frac{de}{ds} \cdot n$ , siendo  $e$  la carga eléctrica,  $s$  la superficie, y  $n$  el espesor de la hojilla.

Busquemos los potenciales que puede desarrollar una esferilla de esta naturaleza; dichos potenciales son de tres clases, según la región en que se consideren; las llamaremos  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . El potencial  $A$  es el de la región esférica interior a la capa positiva; el  $B$  es el de la región comprendida entre las dos capas, y el  $C$  el de cualquier punto exterior a la esfera.

La expresión general del potencial en lugares fuera del espesor de la laminilla, es

$$V = \mathcal{P} \omega \quad (343)$$

en que  $\mathcal{P} = \frac{de}{ds} n$  y  $\omega$  es el ángulo sólido.

De modo que

$$A = 4\pi \mathcal{P} = \frac{en}{r^2} \quad (344)$$

$$C = 0 \quad (345)$$

El potencial dentro de las dos capas estará dado

por el trabajo que se requeriría para retirar la capa negativa a la distancia  $n$  de la positiva:

$$B = e \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R} \right) \quad \text{siendo} \quad R - R_2 = -n$$

En una laminilla se puede tomar

$$B = \frac{-en}{R_2} \quad (346)$$

y por consiguiente  $A = -B$  (347)

Para los estratos interiores, los espesores  $n$  deben ser iguales, por lo menos en el momento de la organización del átomo, y entonces se debe tener  $n = \lambda$ , siendo  $\lambda$  la longitud de la onda fundamental componente, como lo indica el proceso seguido en el párrafo 46—.

En la serie de cuerpos ordenados según su número atómico  $N$ , cada cuerpo difiere de su inmediato en un estrato, y la serie sucesiva de sus masas (energías) es la serie de los números impares, porque viene a ser la serie de las diferencias de los cuadrados de la serie de los números.

|    | N  | Dif. | N <sup>2</sup> | Diferencias |   |
|----|----|------|----------------|-------------|---|
| H  | 1  | 1    | 1              | 3           | 2 |
| He | 2  | 1    | 4              | 5           | 2 |
| Li | 3  | 1    | 9              | 7           | 2 |
| Be | 4  | 1    | 16             | 9           | 2 |
| B  | 5  | 1    | 25             | 11          | 2 |
| C  | 6  | 1    | 36             | 13          | 2 |
| N  | 7  | 1    | 49             | 15          | 2 |
| O  | 8  | 1    | 64             | 17          | 2 |
| F  | 9  | 1    | 81             | 19          | 2 |
| Ne | 10 | 1    | 100            | 21          | 2 |

Se infiere de esto que los estratos interiores de un átomo tienen diferentes energías y que ellas corresponden a la serie de los números impares, cuya suma dará el cuadrado del número atómico, o sea la masa mecánica. Así el oxígeno, cuyo número atómico es 8, tendrá

$$1 + 3 + 5 + 7 + 9 + 11 + 13 + 15 = 64, \quad 8^2 = 64$$

Como el periéter tiene en conjunto masa cero, hay que suponer que los estratos más centrales son los de mayor energía.

76.—Hay, pues, una diferencia de energía, igual a dos unidades, entre cada dos estratos de los que forman el núcleo.

Es, pues, probable que después de la organización del átomo, los estratos se dispongan del modo a como los obligan estas diferencias de energía.

En el estrato central, que llamaremos último, y el penúltimo estrato hay una diferencia de dos unidades de energía que podremos representar por  $2k$ . El penúltimo estrato forma un espacio esférico, dentro del cual está esa diferencia  $2k$ ; el condensador que forma el penúltimo estrato, junto con algunos otros, deben disponerse de modo que su potencial  $B$  obedezca al potencial interior  $2k$ .

Decimos que junto con algunos otros estratos, porque uno solo, estando obligado a tener cierto radio interior, habría de modificar su espesor  $n$  aumentándolo; mas la teoría y la observación enseñan que esto no se efectúa, sino que más bien sucede un fenómeno contrario; así, Bohr admitió que las órbitas inmediatas al núcleo se van constriñendo a medida que se llenan los estratos exteriores.

Sobre los estratos que hayan formado este primer condensador, debe formarse análogamente otro, hasta que intervenga el periéter cuyo espesor es susceptible de tomar la amplitud necesaria para completar el potencial del condensador exterior.

Sea  $m$  el momento de cada una de las esferillas dipolares; su potencial  $A$  o  $B$  será de la forma

$$V = \frac{m}{R^2}$$

Sea  $K$  la unidad de energía que debe ser, digamos, compensada, y elijamos un radio  $r$  de modo que se tenga

$$K = \frac{m}{r^2}, \quad (K=1)$$

Para contrarrestar a dos unidades  $K$  se deben tener expresiones de esta forma

$$2K = \frac{K_1 m}{R_1^2} = \frac{K_2 m}{R_2^2} = \frac{K_3 m}{R_3^2} = \dots = \frac{K_n m}{R_n^2} \quad (348)$$

Por haber adoptado los coeficientes  $K_i$  y teniendo en cuenta la uniformidad de los estratos, podremos establecer:

$$R_1 = 1 \times r, \quad R_2 = 2 \times r, \\ R_3 = 3 \times r, \dots, \quad R_n = n \times r$$

Sustituyendo estos valores y el de  $K$  se encuentra:

$$2 \frac{m}{r^2} = \frac{K m}{1^2 r^2} = \frac{K_2 m}{2^2 r^2} = \frac{K_3 m}{3^2 r^2} = \dots = \frac{K_n m}{n^2 r^2} \quad (349)$$

Para que estas igualdades se cumplan se necesita que

$$2 = \frac{K_1}{1^2} = \frac{K_2}{2^2} = \frac{K_3}{3^2} = \dots = \frac{K_n}{n^2}$$

o sea:

$$k_1 = 2 \times 1^2, \quad k_2 = 2 \times 2^2, \\ k_3 = 2 \times 3^2, \dots, \quad k_n = 2 \times n^2 \quad (350)$$

Si el potencial de cada hojilla equivale al del electrón giratorio de Bohr, tendremos en estos valores de  $K$  el agrupamiento de electrones que encontró este eminente físico.

Los valores de  $K_1$  y  $K_2$  son los que deben cumplirse primero, y el grupo de  $K$  debe entrar cada vez que se presente la diferencia  $2k$  entre capas ya ordenadas y una que se sobreponga; de ahí la ley de que la saturación, en cuanto al número de electrones que deben tener las órbitas, anillos o estratos de Bohr, sea de dos para el inmediato al núcleo y ocho para los siguientes, si no alcanzan al número  $K_i$  correspondiente.

Estas regiones de 2, 8, 18, .... laminillas o

estratos, constituyen las regiones  $K, L, M, N$ , ..... de la clasificación según los rayos X:

$$K, \frac{2-0}{2} = 1; L, \frac{8-2}{2} = 3; M, \frac{18-8}{2} = 5; \\ N, \frac{32-18}{2} = 7.$$

El espesor del periéter puede acomodarse a las exigencias del potencial  $A$  del último condensador, interviniendo también los electrones (esferillas) sobrantes en la acomodación.

77.—La serie de los valores de  $K_1$  explica la serie química de Mendeleieff.

78.—Por todo lo que se deja expuesto se comprende que los electrones circulantes pueden reemplazarse por las esferillas-condensadores, en la teoría de la estructura del átomo.

“Heisemberg, Born, Jordan y Dirac, con sus inestimables trabajos matemáticos, han hallado la manera de relacionar entre sí las diversas magnitudes que caracterizan las radiaciones de los átomos, como son longitud de onda, frecuencia, polarización, intensidad y otras, sin que intervengan elementos no observables experimentalmente, como lo son los elementos que puedan caracterizar el movimiento del electrón en el átomo, procediendo de manera análoga a la que se adopta en Mecánica celeste. A Schrödinger y Broglie, que han creado la *mecánica ondulatoria* se les debe la unidad de una teoría general, que presenta en cuadro coherente los postulados de Bohr” (Castelfranchi).

LOS RAYOS  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , Y LOS FOTONES

79.—En los párrafos 46 y 47 se estudió el probable proceso de la formación de la materia. En el 58 se halló como caso particular el de la formación de la electricidad, con sus dos masas negativa y positiva; caso que resulta de la igualdad de las dos protoenergías fundamentales  $c^2$  y  $u^2$ ; en tal circunstancia se obtiene para valor de  $q$

$$q = \lambda \quad \therefore \quad R = 1$$

En tales condiciones la ecuación (218), habiendo cambiado en ella  $x$  por  $\lambda$ , —siendo  $\lambda = ct = c\tau$ —, sería la ecuación correspondiente a cada estrato (o mejor, condensador) del átomo.

Esta ecuación subsiste en la forma dicha, o sea:

$$s = A \operatorname{sen} k (\lambda + c\tau) + A \operatorname{sen} k (\lambda - c\tau) \quad (351)$$

sin que los cambios de  $t$  intervengan, mientras subsistan las condiciones que determinaron la formación del estrato; es decir, mientras el *espacio* que rodea el átomo (o el neutrón) permanezca en el estado *coercitivo* análogo al que describió Maxwell para la electricidad, y no cambie la acción directa que pueda proceder de los estratos vecinos. Al periéter corresponde también esta ecuación, pero la acción de los estratos vecinos es diferente. El estrato periférico del núcleo, debe quedar en las

mismas condiciones del periéter cuando éste falte por alguna causa.

La ecuación (351) tiene el carácter especial de ser una ecuación *lindante* entre la de propagación y la de la formación de la materia. Un trabajo exterior puede romper esta especie de equilibrio y *resolver* el neutrón en una propagación, o mejor dicho, en una *radiación*, en un rayo, porque no depende sino de una sola dirección,  $x$ .

Se hizo notar en su lugar que la parte

$$A \operatorname{sen} k (\lambda + ct) = \alpha \quad (352)$$

correspondería a una propagación dirigida hacia el centro ( $x = -ct$ ) y que la onda *estacionaria* correspondiente daría la *carga positiva*. La negativa está caracterizada por

$$A \operatorname{sen} k (\lambda - ct) = \beta \quad (353)$$

$\alpha$  y  $\beta$  son verdaderos corpúsculos, pero con la propiedad de transformarse en radiaciones, y viceversa, como lo indica el carácter *sui-generis* de sus ecuaciones. Esto explica la *indole corpuscular* de ciertas radiaciones.

La transformación radiante de los corpúsculos  $\alpha$ , que tiende a verificarse hacia el centro, aclara el hecho observado de la gran estabilidad de esos corpúsculos (los corpúsculos  $\alpha$ ) y de que ordinariamente vayan acoplados a corpúsculos *materiales*. Estas cualidades no pertenecen a los corpúsculos  $\beta$ , por razón de su transformación radiante que es de carácter opuesto al de los corpúsculos  $\alpha$ .

Tendremos, pues, la (351) así:

$$s = \alpha + \beta \quad (354)$$

si  $\alpha$  se considera como constante y  $\beta$ , por razón de algún trabajo exterior, como función de  $x$  y de  $t$  (cambiando  $\lambda$  por  $x$ ) la (354) satisfará la ecuación de propagación

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} \quad (355)$$

para la dirección  $x$ . En estas condiciones la parte  $\beta$  se ha resuelto o *transmutado* en rayos  $\beta$  y se manifestarán los corpúsculos  $\alpha$ . Si las condiciones de transmutación permiten a la vez la resolución de los corpúsculos  $\alpha$  en ondulaciones, es decir, si  $A \operatorname{sen} k (\lambda + ct)$  puede tomar la forma  $A \operatorname{sen} k (x + ct)$ , se tendrá una propagación completa, tanto en un sentido como en otro, exactamente igual a la de la luz, y entonces se tendrán los rayos  $\gamma$  o la luz según el valor de la nueva frecuencia que sobrevenga. Porque los físicos tienen demostrado que la frecuencia depende de la energía puesta en juego para producir la resolución en radiaciones y que su fórmula es

$$\frac{1}{2} m v^2 = \nu h \quad (356)$$

80.—Esta ecuación puede hallarse así: la ecuación de Schrödinger es:

$$\nabla^2 s + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) s = 0 \quad (357)$$

También se obtiene, por ser  $s$  una función sinusoidal del tiempo:

$$\nabla^2 s + \frac{1}{u^2} 4\pi^2 \nu^2 s = 0 \quad (358)$$

Estas dos ecuaciones dan

$$\frac{2m}{h^2} (E - V) = \frac{1}{u^2} \nu^2 \quad (359)$$

No estando sujeto el corpúsculo a ningún campo

$V = 0$  y  $E = \frac{1}{2} m v^2$  siendo  $v$  su velocidad.

Si  $V = 0$ ,  $u^2 = E/2m$ ,  $v^2 = 2E/m$

$$\therefore u^2 = \frac{v^2}{4}$$

y la (359) dará  $h\nu = \frac{1}{2} m v^2$

81.—*Probable formación de corpúsculos de helio cuando hay radiaciones  $\beta$* .—Las ecuaciones  $\alpha$  y  $\beta$  cada una por sí, satisfacen la ecuación de propagación como se comprueba fácilmente hallando las derivadas. Estas ecuaciones son:

$$\alpha = A \operatorname{sen} k (\lambda + ct) \quad (360)$$

$$\beta = A \operatorname{sen} k (\lambda - ct) \quad (361)$$

La ecuación de la onda *inmanente* que comprenden a  $\alpha$  y  $\beta$  es:  $s = 2A \cos kct \operatorname{sen} kx$

cuando  $x = \lambda$ , y se tendrá:

$$s = 2A \cos kct \operatorname{sen} k\lambda$$

en donde  $\lambda$  es el radio del corpúsculo.

Si se transforma esta ecuación en

$$s = 2A \cos k\lambda \operatorname{sen} k\lambda$$

lo que da  $s = A \operatorname{sen} k 2\lambda$ , se puede pensar que, tanto por analogía como porque ésta es la misma ecuación  $\alpha$  (360) habiendo cambiado  $ct$  por  $\lambda$ , la onda estacionaria tome por radio  $2\lambda$ ; entonces  $2\lambda$  será el radio del corpúsculo, y si

$$m_1 = \frac{\lambda^2}{c^2}, \quad m_2 = \frac{(2\lambda)^2}{c^2} = 4 \frac{\lambda^2}{c^2}$$

De modo que  $m_2 = 4 m_1$   
lo que indica que se ha formado un átomo de helio.

82.—*Otros fenómenos*. Hay aún otros fenómenos que pueden explicarse mediante las ideas que informan el presente estudio, pero como lo expuesto es suficiente para probar la concatenación que con esta teoría se consigue para el establecimiento de los fundamentos en que se basan las distintas ramas de toda la física, se suspende aquí esta labor.

83.—*Unidades empleadas*. En los estudios atómicos suele usarse cierta clase de unidades que simplifican mucho las fórmulas. Estas unidades son las

$$\text{unidades atómicas} \\ \text{Unidad de distancia: } a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \quad (a)$$

$$\text{Unidad de energía: } w_0 = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \quad (b)$$

Se emplea también otra unidad de energía, doble de la anterior:

$$w_m = 2 w_0 \quad (c)$$

Los valores de estas unidades son:

$$a_0 = 0.53 \text{ Ångström.}$$

$$w_0 = 14.54 \text{ Voltio-electrones} = 21.5 \times 10^{-12} \text{ Ergios.}$$

$w_0$  corresponde a la energía necesaria para ionizar el átomo de hidrógeno.

El voltio-electrón es por definición la energía que un electrón adquiere sometido a una diferencia de potencial de 1 voltio. Está dado por

$$eV = 4.774 \times 10^{-10} \times \frac{1}{300} \text{ Ergios}$$

$$eV = 1.591 \times 10^{-12} = 1 \text{ Voltio-electrón}$$

$$\text{De la (b) se deduce } e^2 = w_0 \frac{h^2}{2\pi^2 m e^2} \quad (d)$$

$$\text{pero por la (c) } w_0 = w_m/2 \quad \therefore$$

$$e^2 = w_m \frac{h^2}{4\pi m e^2} = w_m a_0 \quad (e)$$

84.—En el estudio que presentamos se ha tomado por unidad de protoenergía el cuadrado de la velocidad de la luz, lo que dio para el electrón el valor 1; por consiguiente se tendrá:

$$e^2 = w_m a_0 = 1 \quad \therefore \quad e = (w_m a_0)^{\frac{1}{2}} = \pm 1$$

lo que indica que se ha tomado por unidad de distancia (longitud)

$$a_0 = 0.53 \text{ Å} = 0.53 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

y por unidad de energía

$$w_m = 2 w_0 = 2 \times 13.54 \text{ V-E}$$

o bien

$$w_m = 43 \times 10^{-12} \text{ Ergios}$$

Por consiguiente se hallará:

$$e^2 = 43 \times 10^{-12} \times 0.53 \times 10^{-8} = 22.79 \times 10^{-20}$$

$$e_e = 4.774 \times 10^{-10} \text{ u. e. e.}$$

$$e_m = 1.591 \times 10^{-20} \text{ u. e. m.}$$

85.—*El Eter*. Para todo este estudio ha bastado considerar dos clases de movimientos, independientes de la materia; la combinación de ellos ha dado base para seguir por medio de ecuaciones un proceso general que da la razón de ser de la materia, de la electricidad, y de los fenómenos con ellas relacionados, sin necesidad de acudir al auxilio del éter. Esto sugiere la idea de que una adecuada definición o hipótesis sobre la constitución del espacio, podría servir de fundamento para esta teoría. Se podría enunciar así:

*Postulados*

I — El espacio es la posibilidad de movimiento.

II — El movimiento tiene existencia absoluta.

III — Hay dos movimientos primordiales: el de propagación y el de traslación.

### Leyes deductibles

- I—Los dos movimientos primordiales se componen mediante sus protoenergías.
- II—La propagación primordial (protopropagación) puede admitirse como una constante del universo.
- III—La traslación primordial (prototraslación) puede ser considerada como que admite diferentes valores.

### Consecuencias

- I—El espacio es energía y la fuente de toda energía.
- II—El tiempo es inmanente al espacio.
- III—La energía se transforma por cuantos.
- IV—La materia es un caso particular de la propagación.
- V—La electricidad es el caso lindante entre la propagación y la materia.

### 86.—Comentarios

La teoría esbozada en el presente estudio se funda en el concepto de la *independencia del movimiento*, en considerar al movimiento con existencia de por sí, sin relación con la materia y antes de toda materia. Surge como consecuencia de esto que la energía tiene existencia independiente.

Notando que esta energía (protoenergía) es de dos clases, se llega a establecer que sus *composiciones* producen los entes fundamentales de la física: *luz, materia y electricidad*; tres casos particulares del fenómeno primordial.

La noción de movimiento no puede desligarse de la de espacio; están en tal forma unidas que sin la una no subsiste la otra: así, el espacio en el cual no fuera posible el movimiento, no permitiría lógicamente la manifestación de la extensión, de lo cual se deduce que lo esencial del espacio es la posibilidad del movimiento; por consiguiente el *substratum* del mundo físico es el espacio, quedando el tiempo inherente a él, puesto que el tiempo es esencial al movimiento.

La coordinación adecuada de estas ideas permite considerar la materia como un estado particular de la energía primordial, en tal forma que da ocasión para aclarar la idea de *masa mecánica* con lo cual se llega a establecer la diferencia entre la *fuerza de atracción* y la fuerza que produce la aceleración de un cuerpo; diferencia que permite armonizar la teoría clásica de la mecánica con la relativista, haciendo ver que las dos se complementan, que forman un solo conjunto.

La ecuación de la *propagación generalizada* comprende en sí la explicación de todas estas manifestaciones de la naturaleza: por ella se puede ver que los procesos de la electrostática y de la gravitación son en esencia los mismos, y que hay gran analogía entre las constituciones de los campos electrostático y gravitacional. También permite establecer un modelo de átomo enteramente de acuerdo con el ideado por Bohr, salvo en lo relativo a los electrones puntiformes que resultan sustituidos por capas.

Traduce, pues, esta ecuación todas las formas de la energía y por tanto da unidad a toda la física.

Los puntos importantes que se establecen con el estudio que hemos intentado hacer, son los siguientes:

- Idea clara sobre la masa mecánica;
- La razón de las ecuaciones einsteinianas;
- La razón de los cuantos;
- La expresión de los pesos atómicos en función del número atómico;
- La generación de la materia matemáticamente considerada;
- La constitución de la electricidad y la razón de los caracteres que tiene de electricidad positiva y electricidad negativa, todo bajo el aspecto matemático;
- Y, finalmente, con esta teoría se explica, también, la naturaleza de los rayos cósmicos.

Febrero 6 de 1938.

## LA CUEVA DE TULUNI EN EL CHAPARRAL

LUIS CUERVO MARQUEZ

Ex-Rector de la Facultad de Medicina y Ciencias Naturales—Bogotá.

En la Estación "Castilla" del Ferrocarril del Sur, a una distancia de 61 kilómetros de Girardot, se deja la vía férrea, que sigue directamente al sur, y se cruza al occidente por una magnífica carretera de 57 kilómetros de extensión, que en la primera mitad de su trayecto se extiende sobre un suelo casi horizontal, en el cual asoman en algunas regiones masas de rocas terciarias y montículos de arena formados por los "Termitas", que abundan en esos terrenos. Una vegetación raquítica, de pobres gramíneas (paja amarga) distrae, más que alimenta, uno que otro rebaño de desmedrados ganados. Predomina en éstos, como en todos los ganados de los climas cálidos, el color amarillo o el blanco claro, no encontrándose el pelaje rojo oscuro, frecuente en los de climas fríos. Rompe la monotonía de la llanura, en la cual no se ve ninguna de las plantas que viven y prosperan en climas y en terrenos semejantes, una que otra granja rodeada de un bosquecillo que, de trecho en trecho, y a largas distancias, anuncia que una corriente de agua vivificadora fecunda la tierra y la convierte en huerto donde crecen el plátano, la yuca, el maíz y se cultivan parcelas de tabaco, de arroz, o de algodón; fructifican allí el mango, el papayo, el naranjo y el guanábano al lado del totumo y del guásimo, y serpean por el suelo la ahuyama, el melón y la sandía. Descansa la vista y alegra el ánimo el jardincillo con la cayena, el jazmín, los rosales y la *barbacoa* (emparrado), donde se enredan la badea y la bellísima, que a su entrada forma un toldo de macetas rosadas sobre el fondo de las hojas. A la sombra del mamón, del tamarindo y del guásimo están las canoas donde se les pone el pasto a las bestias del servicio diario, y a la del guamo o el cámbulo se cultivan las matas de cacao y de café que abastecen el consumo de la familia.

Los Llanos del Tolima, con regadío, serían el huerto y el jardín de media República; allí se levantarían los ingenios para el beneficio de la caña de azúcar, las factorías de tabaco, las extensas plataneras, los yucales, los campos de algodón y de arroz, las dehesas donde prosperarían las mejores razas de ganados y de caballos. Todo esto, y mucho más, cabría en la inmensa extensión de kilómetros cuadrados que forman los Llanos del Tolima, o sea la hoya del río Magdalena, desde Honda hasta Neiva.

A lo lejos, en la línea ondulada sobre la cual se levantan las brillantes cúpulas de los nevados, la Cordillera Central corre de sur a norte hasta perderse de vista en el nebuloso azul del horizonte. Paralela a la Central, la Cordillera Oriental levanta su inmensa mole, limitando de ese lado la hoya del "gran río". Es de anotarse que las grandes corrientes de agua que lo forman, vienen de la Cordillera Central: el Suaza, el Paez, el Plata, el Lagunilla, el

Luisa, el Saldaña, etc., pues, en general, la Oriental derrama sus aguas por su vertiente del este sobre el Meta y el Guaviare, en los Llanos orientales.

Se ha anotado que es extraño no ver en esa llanura ninguna de las plantas que crecen en climas semejantes y en condiciones de terreno análogas; los cactus, el cují, el cape y diferentes variedades de acacias. Solamente el chaparro crece pobre, solitario y desmedrado en la llanura, para ir tomando mayores proporciones a medida que se levanta el nivel del suelo y llegar a ser, de planta raquítica en el llano, arbusto en la meseta y árbol al pie húmedo de la Cordillera.

Al terminar la llanura, la carretera, en su segunda mitad, se desarrolla ascendiendo suavemente por entre los farallones que corren al pie de los contrafuertes de la Cordillera. En algunas partes sus pliegues se entrecruzan en aristas divergentes o dejando entre ellos pequeños vallecitos cubiertos de conos hasta de ocho metros de elevación, como si una masa semi-sólida en ebullición se hubiera enfriado y solidificado repentinamente.

A medida que se asciende, la vegetación es más densa, pero casi únicamente formada por chaparros, que al llegar a la meseta donde está la Villa de Chaparral, forman bosquecillos o cubren totalmente la superficie, siendo ellos la planta que domina en toda esa región.

Desciende de las altas cumbres de la Cordillera Central, cruza la llanura para desembocar en el Magdalena, después de cortar la carretera, el río Saldaña, imponente por su enorme caudal de aguas y por la vida con que anima sus riberas. Durante la época de lluvias deposita el limo que fertiliza sus vegas, y cuando bajan las aguas deja a descubierto los aluviones auríferos que arrastra de la cordillera, no siendo raro que se encuentren fragmentos de sílice con incrustaciones de oro. Las gentes de Coyaima y de otras riberas del río, afluyen durante el verano a lavar en batea las arenas, y del oro que extraen derivan un modesto recurso para su sostenimiento. Cuando hicimos este viaje, en la playa, formada por un recodo del río, estaba un grupo de mujeres y de muchachos lavando los sedimentos, ricos entonces por el descenso de las aguas. Llevada por la corriente y guiada por el canalete bajaba una que otra balsa hecha de vástago de plátano, medio sumergida en el agua y piloteada por un mozo alto, delgado y fornido, de piel bronceada por la raza y por el sol, que llevaba la palanca; una mujer joven manejaba el canalete, que hacía de timón. Como medida de precaución para el caso de un accidente, viajan esos bateros con indumentaria casi paradisiaca, con las ropas atadas en la cabeza para vestirse al llegar a Girardot. Allí descargan las ollas o los bastimentos