

¿Es útil aún el modelo del átomo de Thomson para la enseñanza de la física general en las carreras de ingeniería?

Faustino Repilado[†], Bonifacio Rey Norma^a y Lic. Dania Cuenca^b

a) Departamento Docente Metodológico, Universidad de Oriente; bony@rect.uo.edu.cu

b) Departamento de Física, Universidad de Holguín; dcuenca@facing.uho.edu.cu

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Oriente, Cuba; flrepila@fa.uo.edu.cu[†]

[†] Autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 20/11/10.

Sumario. Se estudia el modelo de Thomson, y su relación con los contenidos de Física I y II, particularmente con las oscilaciones, la ley de Gauss, el concepto de densidad volumétrica de carga, e indirectamente con la teoría cinético – molecular de la materia, lo que permite ir formándolo bajo el criterio de complejidad creciente en las clases prácticas. Allí se proponen ejercicios y situaciones físicas que coadyuvan diversas aristas del modelo. Aunque en la actualidad el modelo tiene para la ciencia un valor histórico, para la docencia es útil por su innegable valor heurístico “intrínseco” así como por la posibilidad que ofrece como elemento integrador de conocimientos. Sobre la base del análisis de la literatura sobre el tema sumado a la experiencia de los autores se ofrece una variante metodológica y las orientaciones estratégicas de formación correspondientes que permiten no dedicar demasiado tiempo para abordar el modelo de Thomson en Física III - aunque sí aprovechando los elementos heurísticos que posee – a partir del criterio de “formación escalonada”.

Abstract. It is studied the Thomson's model and his relation with the contents of Physical I and II, particularly with the oscillations, the Gauss's law, the concept of volumetric density of charge, and indirectly with the kinetic - molecular theory of the matter, what allows to form it with a growing complexity approach in the practical classes. There are proposed exercises and physical situations that cooperate with diverse edges of the model. Although at the present time that model has a historical value for the science, for teaching it is still useful so much for their undeniable "intrinsic" heuristic value as well as for the possibility to offer as integrated knowledge. On the base of the analysis of the literature on the topic added to the experience of the authors it is offered a methodological variant and the corresponding strategic orientations of formation that allow not to dedicate too much time to approach the Thomson's model in Physics III - although taking advantage of the heuristic elements that it possesses - starting from the approach of “formation for stages”.

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d, teacher training, 01.40.J.-.

1 Introducción

La ciencia física opera con modelos - más o menos aceptables – de la realidad y no con la realidad misma. Esos modelos tienen carácter histórico y reflejan el desarrollo

de la propia ciencia, sustituyéndose incesantemente cuando no están en condiciones de explicar los fenómenos de la realidad. La sustitución de un modelo obsoleto

-porque ha perdido capacidad explicativa- es un proceso natural y permanente.¹⁻⁹

La docencia de la Física General para ingenieros también debería basarse en el empleo de modelos aunque infelizmente en la práctica no ocurre de esa manera.

Entre los modelos que crea y emplea la ciencia física y aquellos que utiliza la docencia de la Física General se manifiestan relaciones verdaderamente interesantes.

1. El modelo de la ciencia precisa de una fundamentación física – matemática rigurosa

2. Los modelos en la ciencia manifiestan sobre todo capacidad predictiva

3. Los modelos de la ciencia son base de la teoría científica

4. La comprobación experimental de ciertos modelos físicos o sus inferencias en la ciencia exigen de un instrumental experimental de mucha exactitud y precisión; así como experimentadores con un enorme desarrollo de habilidades.

5. Cuando ocurre la sustitución de un modelo por otro más completo, una de las exigencias que debe cumplir es que todo lo que explicaba el modelo viejo debe ser explicado por el modelo nuevo y, además, este último estar en capacidad de predecir nuevos fenómenos.

6. En la docencia los modelos deberían jugar el papel de núcleo de las explicaciones -infelizmente eso no se lleva a cabo, pues apenas se mencionan en sus aplicaciones- y no como elemento constructivo de la teoría.

De manera comparativa se puede afirmar que en la docencia:

1. La capacidad predictiva se emplea más como motivación en la medida que la teoría y los ejemplos que se utilizarán ya se conocen y no son el objeto de la estudio en la clase.

2. La profundidad y el rigor con que se fundamenta o trata un modelo responde más a necesidades docentes que científicas, entre las que se incluyen: a) el papel del modelo en la disciplina, b) la riqueza de las explicaciones que deben darse en función de dicho modelo y c) las necesidades del modelo en la disciplina y la carrera, etc.

El modelo en la docencia, a diferencia del modelo en la teoría, no pierde su vigencia tan espectacularmente, sino que persiste en la medida que su uso lo avalan propósitos y alcances diversos de la formación.

Es cierto también que determinados modelos van progresivamente perdiendo vigencia, incluso en la docencia y son relegados a un último plano. Tal es el caso del modelo de Thomson.

2 El modelo de Thomson

La inmensa mayoría de los textos modernos le confieren al modelo de Thomson apenas un valor histórico y sólo le dedican algunas líneas para esbozar ciertas ideas de utilidad para introducir el modelo de Rutherford. Otros ni siquiera lo mencionan.

Somos del criterio que efectivamente ese modelo no debe ser objeto de excesiva atención en la docencia de la

Física III, el no sólo es obsoleto por los resultados negativos que se obtienen sobre su base, sino que es uno de los representantes más notables del enfoque mecanicista a fenómenos cuya naturaleza no es mecánica.

Sin embargo, hay otras aristas importantes del problema que, en el plano didáctico, deben ser consideradas. Entre ellas se encuentran:

- La relación historia de la ciencia – docencia.
- Los elementos heurísticos que dicho modelo ofrece para el desarrollo del pensamiento.
- La relación ciencia sociedad.

El primer aspecto permite ubicarse en la época y el desarrollo que la ciencia había alcanzado en la misma, las ideas precedentes que permitieron la aparición de tal modelo, qué representó ese modelo en el concierto de las ideas predominantes en esa época, etcétera.

El segundo, muy vinculado con el primero, revela el movimiento del pensamiento en la concepción del modelo, los presupuestos teóricos y experimentales que se adoptaron para construirlo y, sobre todo, las inferencias que sobre esa base eran posible realizar.

Finalmente el tercer aspecto refiere a que todo el andamiaje teórico relacionado con el modelo debe comprobarse en la práctica la que lo afianzará o refutará en la medida que exista correspondencia entre los resultados predichos por dicho modelo y lo realmente obtenido

Todo lo expresado no inclina aún la balanza a su favor. Con esos argumentos no se puede aún afirmar que en el curso sea necesario tratarlo con detalle o incluso tratarlo.

El argumento de peso que se opone a tal tratamiento es la escasez de tiempo de la disciplina para abordar cuestiones obsoletas o secundarias a costa de otras que son actuales, que tienen implicaciones relevantes en el presente.

Sin embargo, en el presente trabajo no se está abogando por convertir al modelo de Thomson en el ombligo del mundo, sino en darle un tratamiento que, por una parte, satisfaga todas las aristas antes mencionadas, mientras que por otra no requiera de tiempo extra.

2.1 ¿Qué se conocía sobre el átomo en la época en que Thomson propone el modelo?

Al pasar inventario de lo que se conocía respecto al electrón en el siglo XIX, Pierre Morel en su libro “Física Cuántica y Térmica” escribe:

“El descubrimiento del electrón, constituyente de los rayos catódicos de descarga de un gas enrarecido (J.J. Thomson 1897), renovó para los físicos el interés por el problema de la estructura interna de los átomos”.

Se sabía que el átomo contenía a la vez de electricidad negativa (electrones) y positiva. Se había también realizado el análisis espectral de la luz emitida por diferentes átomos convenientemente excitados. Se sabía, por ejemplo, que los átomos de sodio calentados a la llama emitían una luz de color amarillo intenso constituida principalmente por dos radiaciones monocromática de longitudes de ondas próximas (rayas D1 y D2, $\lambda=5890$ y $\lambda=5896 \text{ \AA}$ respectivamente).⁴

Por otro lado, eran también conocidas la presencia de espectros de rayas en la emisión de determinados átomos, la neutralidad eléctrica de los átomos, el tamaño de las partículas del orden del Angström, etcétera, por lo que cualquier teoría que se elaborara sobre el mismo debía coincidir con esos resultados.

2.2 ¿En qué consiste el modelo del átomo de Thomson? El primer modelo de la estructura atómica propuesto por Thomson consistía en una distribución más o menos regular de cargas negativas (electrones) y positivas en el interior del volumen atómico (Ver figura). En una estructura de esta índole, una carga positiva está rodeada principalmente de cargas negativas y viceversa, los lugares próximos a una carga negativa los ocupan principalmente las cargas positivas: de esta forma las fuerzas de atracción electrostática superan a las de repulsión y aseguran así la cohesión. La estructura interna imaginada por Thomson es, pues, estable e inmóvil a la manera de un cristal: cada partícula del sistema se mantiene en su lugar por la acción conjunta de sus vecinas.

Los electrones pueden oscilar alrededor de su posición de equilibrio cuando el sistema recibe un impulso exterior, según las leyes clásicas del electromagnetismo. Estas oscilaciones de los electrones equivalen a corrientes alternas de muy alta frecuencia y producen una radiación de ondas electromagnéticas en el espacio. Se tenía de esa forma una explicación bastante razonable de las propiedades conocidas de la materia. Pero ocurre que el modelo propuesto por J.J. Thomson no es aplicable a la estructura atómica. La observación de la difusión de las partículas α (átomo de Helio totalmente ionizado) por una lámina muy fina de metal indica, en efecto, como demostró Rutherford, la existencia en el seno de la materia de *núcleos* enormemente densos, de radio inferior a 1/10 000 del radio del átomo, que contiene las cargas positivas y prácticamente toda la masa del átomo".⁴

2.3 Principales aspectos físicos en el modelo.

1. El átomo de Hidrógeno –el más simple de todos – representa una esfera cargada uniforme y positivamente en cuyo interior se encuentra el electrón

2. Existe una interacción elástica entre el electrón negativo y la carga positiva de la esfera, del tipo

$$f = -kr,$$

donde r es la desviación del electrón de su posición de equilibrio.

3. El campo en el interior de la esfera cargada viene expresado de la forma

$$E(r) = \frac{e}{R^2} r; \quad (0 \leq r \leq R).$$

Aquí e es la carga del electrón y R el radio atómico.

4. Sobre el electrón que se encuentra a una distancia r del centro del átomo actuará una fuerza

$$f = (-e)E = -\frac{e^2}{R^3} r = -kr$$

5. En tales condiciones el electrón que por alguna manera es sacado de la posición de equilibrio realiza oscilaciones armónicas con frecuencia $\omega = (k/m)^{1/2} = (e^2/mR^3)^{1/2}$. Aquí m es la masa de 1 electrón

6. Considerando que $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ entonces

$$R = \left(\frac{e^2}{m\omega^2} \right)^{1/3} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ cm.}$$

2.4 Algunas inferencias metodológicas. Como se ha visto, en el modelo de Thomson convergen varios aspectos que son abordados en las diferentes asignaturas de la disciplina Física General, entre los que sobresalen: la densidad volumétrica de carga, el teorema de Gauss, las oscilaciones armónicas, el radio de las partículas, etcétera. La cuestión principal para dar respuesta a la pregunta que encabeza este trabajo se reduce a cómo tratar el modelo, sin que ello implique, entre otras cosas:

a) Gasto excesivo del limitado tiempo disponible en Física III al abordar un tema que actualmente tiene, en lo esencial, apenas interés histórico

b) Relegar a un segundo plano su verdadero valor heurístico en el desarrollo del pensamiento de los estudiantes

c) Menospreciar la trascendencia de los modelos en el establecimiento de conceptos, leyes y teorías de la Física

d) Menospreciar los resultados experimentales obtenidos, no sólo en la confirmación o refutación de determinada posición física que sustente el científico, sino como reflejo de su manera de pensar, de sus recursos heurísticos para elaborar conclusiones físicas.

Sobre esa base, se considera que la mejor opción para abordar el modelo de Thomson es hacerlo a partir de tres criterios fundamentales:

1. Formación escalonada; 2. Intencionalidad del enfoque; 3. Criterio de integración.

El primero supone que no es exclusivamente la Física III la que ofrece información o forma dicho modelo, sino que desde la Física I y II es posible hacerlo dando un tratamiento progresivo y gradual al mismo cuando los contenidos antes mencionados se aborden en sus marcos.

El segundo implica que cuando en determinada asignatura se aborden aspectos físicos relacionados con el modelo de Thomson, deben ser tratados como aristas de dicho modelo, alcanzándose con ello, por una parte, la articulación necesaria entre esos contenidos y, por otra, introduciendo al estudiante en facetas del modelo

El tercer aspecto se refiere a que será en la Física III donde se integren y, por tanto, converjan, articulándose de manera armoniosa, los diversos aspectos indicados.

A partir de esos criterios, es posible conformar un enfoque metodológico que sea una alternativa para colocar en el lugar que le corresponde la docencia universitaria al modelo de Thomson.

2.5 Algunas indicaciones metodológicas. Es posible conjugar las indicaciones que se ofrecen en las conferencias con aquellas que se ofrecerán en las clases prácticas a partir de las siguientes alternativas:

I- Oscilaciones armónicas (Física I). Cuando se aborden las oscilaciones mecánicas es prudente indicar que las ecuaciones $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$ y $f = -kx$ son ecuaciones típicas que se cumplen en cualquier región de la física

donde estén presentes oscilaciones armónicas, sea en la Mecánica, el Electromagnetismo como en la Física Atómica (según el modelo de Thomson, señalando que el átomo, según este modelo representaba una esfera cargada con carga pasivita uniformemente distribuida en la cual se insertaban electrones que oscilaban armónicamente).

Se puede indicar que se realice un problema en el cual se ofrece la expresión de las oscilaciones armónicas del electrón del átomo de Hidrógeno (como se ofrece abajo) indicando que $R = 3 \cdot 10^{-8}$ cm y e , m son la carga y la masa del electrón respectivamente;

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{e^2}{mR^3}} .$$

De modo análogo, al abordar los fenómenos de transporte, particularmente el recorrido libre medio, ese posible calcular el radio R de una partícula a partir de la ecuación

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi R^2 n} ,$$

donde n es el número de partículas por unidad de volumen y λ el valor medio de la longitud de recorrido libre medio.

Si se asume el valor que Thomson propuso para R es posible calcular λ o, asumiendo λ como valor de tabla es posible calcular R. En cualquier caso, lo que importa es destacar la coincidencia de R, valor que posteriormente se empleará en el modelo de Thomson.

II. *Ley de Gauss (Física III)*. Es conveniente resolver el problema sobre el cálculo del vector intensidad de campo electrostático para puntos interiores de una esfera maciza, no conductora, cargada positivamente.

Aquí se debe hacer énfasis en:

a) Que éste caso es similar al modelo que propuso Thomson sobre la estructura del átomo de Hidrógeno.

b) La expresión $E(r) = \frac{e}{R^3} r$ ($0 \leq r \leq R$) fue obtenida a partir de la ley de Gauss, considerando que $q_n = \rho \frac{4\pi r^3}{3}$,

donde q_n es la carga neta encerrada en la superficie gaussiana.

c) Se puede proponer además un inciso en que se pida calcular el carácter de la fuerza que obra sobre el electrón.

A partir de la ecuación anterior, y conociendo que $\vec{F} = e\vec{E}$, no es difícil comprobar que dicha fuerza es del

$$\text{tipo } f = (-e)E = -\frac{e^2}{R^3} r = -kr .$$

Esto, innegablemente puede servir no sólo para entender el modelo de Thomson, sino también para el modelo del dipolo eléctrico.

Obviamente, con ese enfoque se establece un puente entre los contenidos que se reciben durante el curso de Física General I y II con aquellos que son objeto de estudio de la Física III, además se reafirma la manera como se establecen los modelos en física y se refleja, en esencia, el pensamiento de los propios científicos cuando en el modelo, por ejemplo, se calcula el radio del átomo R y se comprueba que es idéntico en orden a aquel que se alcanzó por otras vías. Eso, indudablemente es un asidero importante para el científico para considerar que su modelo es válido.

Es tarea del docente organizar lo expresado de la forma que considere idónea para su grupo concreto de clases. Estos apenas son criterios metodológicos que consideramos pueden ser tenidos en cuentas en las clases.

3 Conclusiones

Se mostró que el modelo de Thomson puede ser rescatado para la docencia y cumplir un verdadero papel de modelo heurístico, representativo de la manera de pensar de los científicos repensando la manera de abordarlo.

Su tratamiento puede ser más efectivo e integral si se consideran los criterios de formación escalonada, intencionalidad del enfoque e integración a partir de los cuales es posible articular todo el sistema de conocimientos relacionados con ese modelo presentes en las demás asignaturas de la disciplina Física General, de manera que gradualmente se vayan tratando las diferentes aristas del modelo y se integren en la Física III.

Referencias

1. Burov V. A, Experimentos demostrativos de Física (en ruso). (Ilustración. Moscú 1976).
2. Godzhaev H. M. Óptica (en ruso) (Escuela Superior. Moscú 1977).
3. Halliday D., Resnick R. Krane K. Física (V. II T.II Cuarta Edición. 1992).
4. Morel P. "Física cuántica y térmica. Curso de Física. Ediciones Omega S.A. Barcelona 1974. España
5. León H. Y Díaz R. Óptica ondulatoria (Ministerio de Educación Superior. La Habana 1985).
6. Repilado F. "Algunas reflexiones en torno a la enseñanza de la Física General en las Carreras de Ingeniería . Evento Internacional FIE 2008. Santiago de Cuba
7. Rey B., Repilado F. "El modelo de la onda electromagnética plana, linealmente polarizada, armónica y monocromática en la Física General para ingenieros." Evento internacional FIE 2008 Santiago de Cuba
8. Shachmaev. N.m. Experimentos demostrativos de oscilaciones y ondas (en ruso). (Ilustración. Moscú 1974).
9. Spasskii B. I. Historia de la Física (T I Editorial Pueblo y Educación 1996. La Habana. Cuba).