

# V EIEF 2017 V JORNADA DE EXPERIENCIAS INNOVADORAS EN EDUCACIÓN EN LA FCEIA

## EXPLORANDO LAS PROPIEDADES DEL ELECTRÓN EN EL LABORATORIO DE GRADO

Cabrera L., lucia.mcabrera@gmail.com; Picó R., romanpico@gmail.com  
 Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - UNR

### $e/m_e$ , atenuación del haz electrónico y sección eficaz de interacción

Es habitual encontrar en los laboratorios universitarios de física experimental un dispositivo, generalmente comercial, de haz electrónico filiforme confinado en una ampolla de gas a baja presión y sometido a un campo magnético uniforme para la medición de la razón carga-masa del electrón. Para el equipo utilizado esta cantidad queda dada por

$$\frac{e}{m_e} = \frac{125}{8} \frac{VR^2}{d^2 \mu_0^2 N^2 I^2}$$

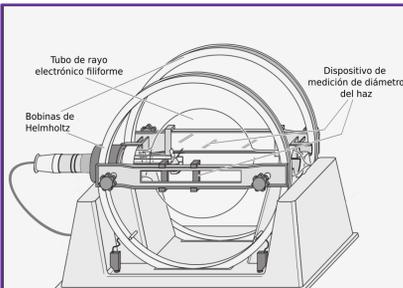
donde V es el potencial empleado para acelerar las cargas, R el radio de las bobinas de Helmholtz con que se genera el campo, I la corriente que circula por las mismas, N su número de espiras y d el diámetro del haz filiforme circular.

El alcance de este tipo de dispositivos es rara vez explotado. Se realiza aquí, además de los cálculos habituales, el análisis del decaimiento de intensidad lumínica del haz, teniendo en cuenta que las múltiples interacciones de cada electrón con las moléculas del gas circundante contribuyen a la dispersión de éste. Más aún, siendo la energía típica de los electrones térmicos del orden de 300 eV, resulta esperable que cada uno experimente múltiples interacciones con moléculas de H<sub>2</sub>, cuyo potencial de ionización es de 15.603 eV.

Las diversas contribuciones pueden englobarse en un único parámetro de impacto s [1], de forma que la intensidad relativa de cada punto esté dada por  $T(x) = e^{-sx}$  siendo  $x=r\theta$ , donde r es el radio del haz y  $\theta$  el ángulo barrido por los electrones. Asimismo, la sección eficaz de interacción electrón-H<sub>2</sub> puede calcularse [1] como  $\sigma = \frac{s}{n_v}$ , donde  $n_v = PN_A/RT$  es la densidad molecular, con P la presión del recinto, N<sub>A</sub> el número de Avogadro, R la constante de los gases ideales y T la temperatura.

### Dispositivo

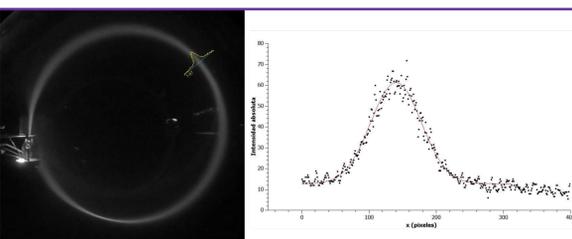
Tubo de rayo filiforme LD 555 571 con H<sub>2</sub> ~1Pa y bobinas de Helmholtz LD 555 581 de 130 espiras y radio ~ 15 cm. Los valores para el cálculo de  $e/m_e$  se tomaron de la forma habitual. Para el procesamiento digital de imágenes se registraron varias tomas fotográficas con cámara CCD montada sobre un trípode.



### Procesamiento digital de imágenes

Con el software ImageJ se realizó un pretratamiento de la imagen (recortado, transformación a escala de grises) y se insertó sobre la misma una grilla para facilitar la medición de intensidades en ángulos conocidos, que se ubican mediante relaciones geométricas, siendo el cero el punto en que el haz se eyecta de los electrodos. ImageJ proporciona los datos de intensidad en forma de tablas de pares intensidad/píxel, que pueden graficarse y analizarse en software externo.

La información de intensidades a intervalos de unos 45° se analizó con QtiPlot. Los puntos se ajustaron a curvas gaussianas, que se integraron para obtener la intensidad absoluta en cada ángulo. Finalmente, estas se normalizaron respecto al punto de  $\theta=0^\circ$  y se obtuvo así la intensidad relativa.



### Resultados

La figura presenta el ajuste de la intensidad al modelo teórico propuesto. La tendencia se halla en total concordancia con lo previsto.

De ésta se obtiene el parámetro s con el que se calcula un valor de sección eficaz de interacción  $\sigma = (1.02 \pm 0.07) \text{ \AA}^2$  asumiendo una temperatura de 300 K. Este valor es cualitativamente acorde con lo esperado [2] para el rango de energías trabajado. Se midió además, de la forma usual, un valor de  $e/m_e = (1.75 \pm 0.1) 10^{11} \text{ C/Kg}$  consistente con el aceptado,  $e/m_e = 1.758820024 10^{11} \text{ C/Kg}$ .

### Relatividad y masa en reposo

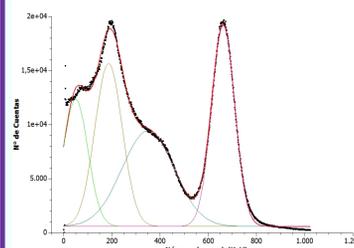
Cuando se produce una interacción tipo Compton entre un fotón gamma y un electrón, la máxima transferencia de energía y momento se produce cuando el fotón es dispersado en 180°. En este caso, y sin realizar consideraciones de relatividad, puede mostrarse [3] que

$$m_{nr} c^2 = \frac{(2E_\gamma - T)^2}{2T}$$

donde  $m_{nr} c^2$  es la masa no relativista del electrón,  $E_\gamma$  la energía de los fotones y T la máxima energía cinética entregada por los mismos. Teniendo en cuenta que la radiación gamma proveniente de fuentes habituales tiene una energía del orden de 1 MeV es claro que la situación se enmarca dentro de condiciones relativistas. Entonces, lo anterior puede reescribirse según

$$m_{nr} c^2 = \frac{T}{2} + m_0 c^2 = \frac{(2E_\gamma - T)^2}{2T}$$

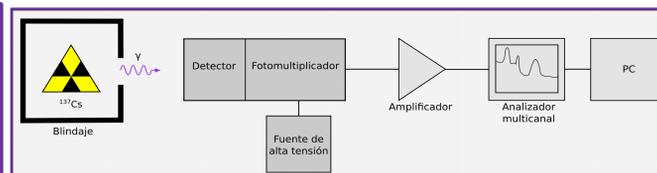
Donde  $m_0 c^2$  es la masa en reposo. Asimismo, se tiene que  $m_0 c^2 = 2E_\gamma \frac{(E_\gamma - T)}{T}$



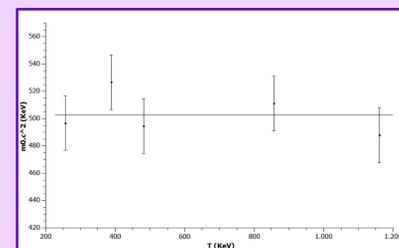
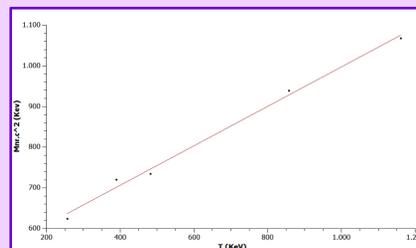
Las cantidades  $E_\gamma$  y T pueden obtenerse del espectro de emisión de una fuente de radiación gamma como la energía del fotopico y la del borde Compton, respectivamente. El borde Compton puede situarse, deconvolucionando el espectro, en la mitad de la altura de la curva gaussiana que ajusta al sector.

### Dispositivo y Procedimiento

Se obtuvieron espectros de <sup>137</sup>Cs y se complementó el rango de las energías con datos extraídos gráficamente de espectros de <sup>198</sup>Au, <sup>24</sup>Na y <sup>207</sup>Bi [4].



### Resultados



Es claro que la masa no relativista depende linealmente de la energía cinética, aquí con pendiente 0.485 y ordenada al origen  $m_0 c^2 \sim 512 \text{ KeV}$ .

La masa en reposo es evidentemente independiente de T. Los cálculos para diferentes  $E_\gamma$  se dispersan en torno a un valor medio de 503 KeV.

Valor aceptado  $m_0 c^2 = 510.9989461 \text{ KeV}$

### Conclusiones

El excelente ajuste exponencial obtenido para los puntos experimentales de intensidad relativa sugiere una validación del modelo teórico considerado. Lo mismo es avalado por la buena aproximación cualitativa de sección eficaz de interacción electrón-H<sub>2</sub>.

Los diversos valores medidos de  $m_0 c^2$  son cualitativamente buenos. El más exacto ( $m_0 c^2 \approx 512 \text{ KeV}$ ) resulta del ajuste lineal de  $m_{nr} c^2$  vs. T, lo que sugiere la importancia de emplear varias fuentes de radiación y trabajar un rango de energías amplio. Con la información recabada en ambas experiencias finalmente se calcula una muy buena aproximación de la carga fundamental,  $e = (1.5 \pm 0.2) 10^{-19} \text{ C}$ . El estudio resulta muy completo y permite al alumno familiarizarse con diferentes técnicas experimentales y de tratamiento de datos, y corroborar cuestiones (como las pertinentes a relatividad) antes sólo mencionadas en las aulas.

[1] Ovejero M., Brizuela H. & Figueroa C. "Aplicaciones complementarias de la práctica de medición de la carga específica del electrón" 101° RAFA

[2] Nickell J. C., Kanik I., Trajmar S. & Imre K. "Total cross section measurements for electron scattering on H<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> from 4 to 300eV" J. Phys. B 25, 2427-2431, 1992

[3] Jolivet P.L. & Rouze N. "Compton scattering, the electron mass, and relativity: A laboratory experiment" A. J. Phys. 62, 266-271, 1994.

[4] Radiochemistry Society