

APENDICE 1 : DEPENDENCIA DEL ANGULO θ CON EL IMPULSO
LINEAL DEL SISTEMA.

Consideremos la aniquilación de una partícula y su correspondiente antipartícula ambas en reposo. Por conservación del impulso lineal los dos rayos gamas producidos saldrán en direcciones opuestas cada uno con una energía $E_\gamma = mc^2$. Si ahora alguna de las partículas tuviera cierta cantidad de impulso lineal los gamas emitidos formarían un ángulo θ ligeramente distinto de 180° (ver figura A1-1).

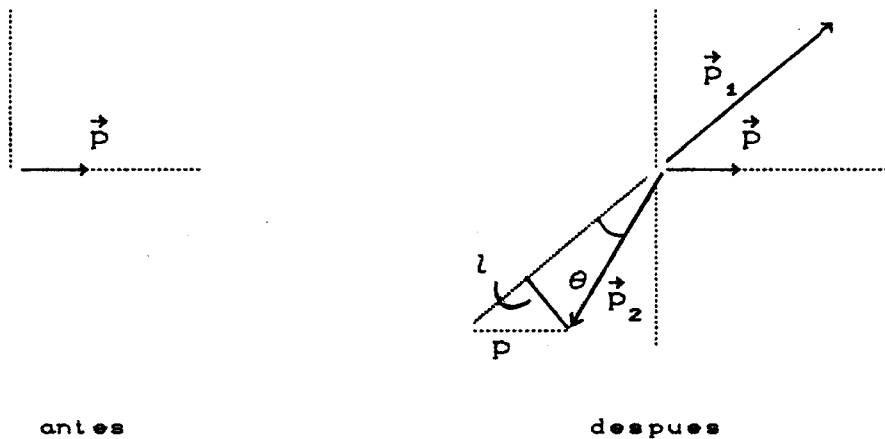


Figura A1-1 : Diagrama de impulsos

Puede apreciarse entonces del diagrama de impulsos que :

$$\text{sen } \theta = \frac{l}{p_2}$$

Si como sucede en nuestra experiencia $p_1 \approx p_2 \approx E_\gamma/c \ll p = \sqrt{2Em}$, entonces l se puede aproximar por $l \approx p$ y $p_2 \approx mc$. Con lo cual obtenemos :

$$\text{sen } \theta = \frac{p}{m c}$$

Para verificar que la aproximación realizada es

válida, consideremos que la energía cinética de los electrones en el sólido es aproximadamente 5eV., entonces

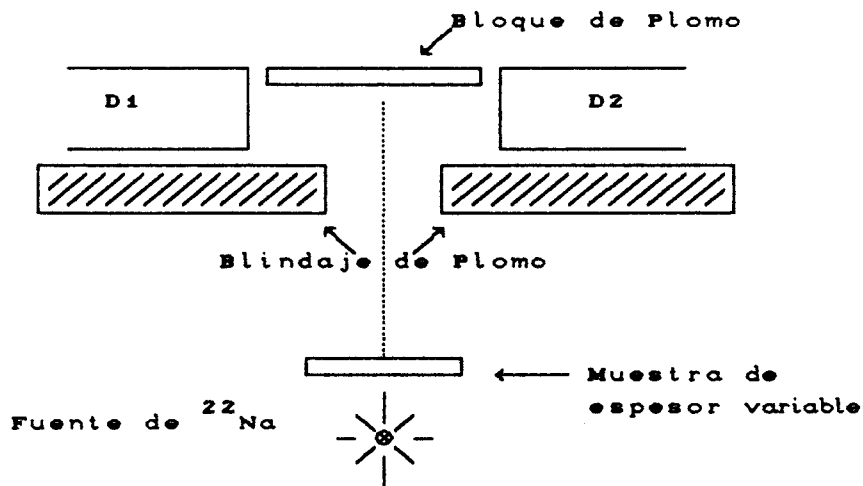
$$E = \frac{p^2}{2m} = 5 \text{ eV.} \Rightarrow p^2 = 10 \text{ eV. m}$$

mientras que

$$p_1^2 \approx m^2 c^2 = m c^2 m = 511.000 \text{ eV. m}$$

APENDICE 2 : MEDICION DE LA PENETRACION DE LOS POSITRONES EN AL, CU Y AIRE.

Para medir la penetración de los positrones se usó el siguiente montaje:



D1, D2 : Detectores en coincidencia

Figura A2-1 : Arreglo experimental

Los positrones atravesaban la muestra y viajaban hasta el bloque de plomo. Ahí se aniquilaban y eran registrados en forma de coincidencias por los detectores. El circuito de coincidencias era el descrito en el texto.

El espesor de la muestra se varió desde cero hasta

observar que los detectores no registraran fotones.

En el caso de la medición de penetración en aire, la fuente se fue alejando del bloque aumentando así el espesor de aire que debían penetrar. Luego se efectuaron las correcciones necesarias para compensar el hecho de que el ángulo sólido no era el mismo para todas las distancias.

Los gráficos obtenidos fueron los siguientes:

Figura A2-2 : Penetración de e^+ en Al

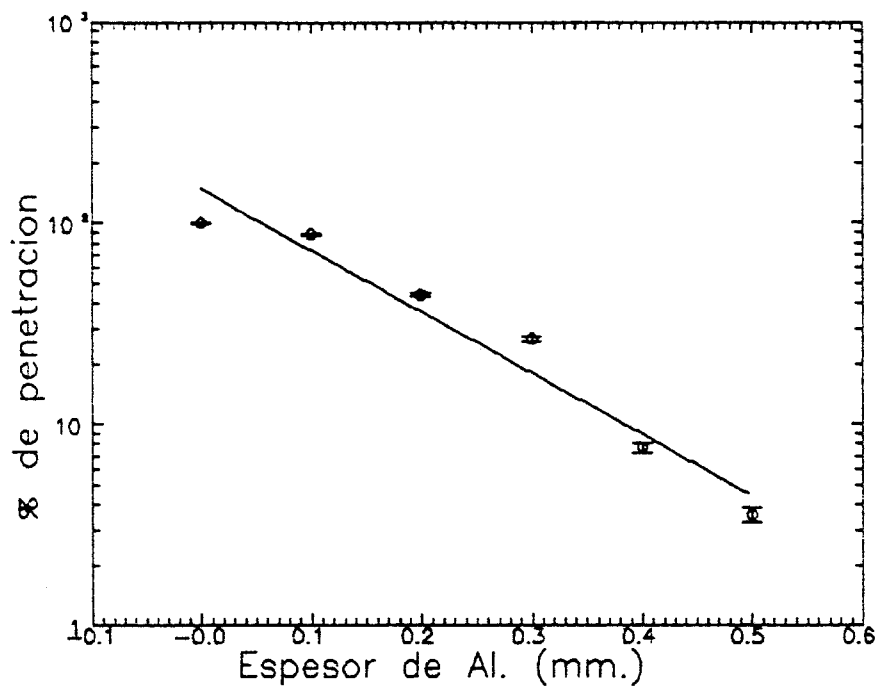
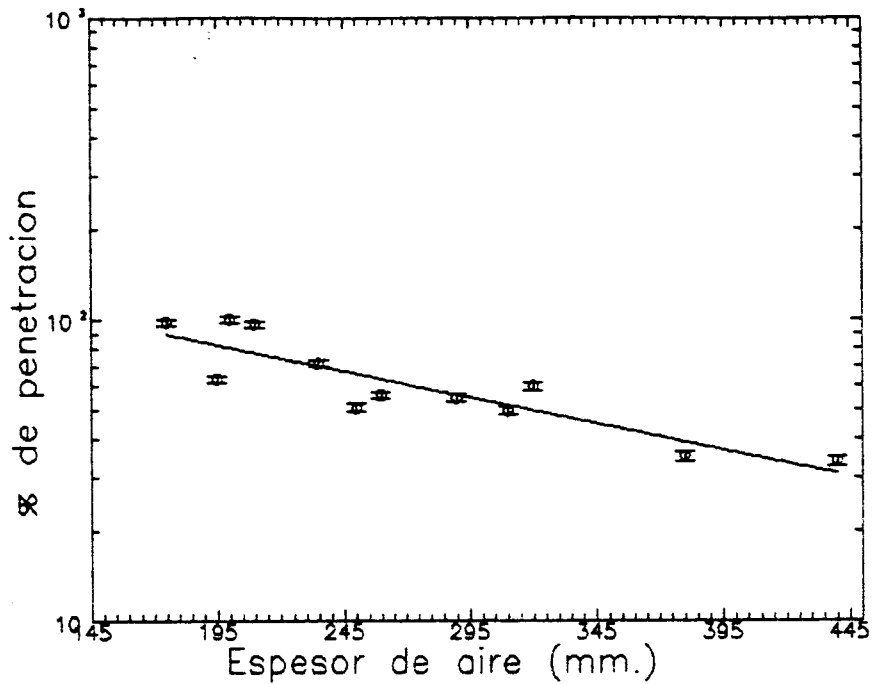


Figura A2-3 : Penetracion de e^+ en aire



Para el caso del Cobre, como disponíamos de chapas de 0,25 mm. de espesor, se pudieron hacer solo dos mediciones, encontrándose que la cantidad de positrones que atravesaban dos láminas consecutivas era despreciable.

REFERENCIAS :

- (1) : R. Eisberg y R. Resnick, *Física cuántica*, Editorial Limusa (1978), pag. 437.
- (2) : P. Hautojarvi Ed., *Positrons in Solids, Topics in Current Physics, vol 12*, Springer Verlag (1978).
- (3) : S. Dannefaer y D.P. Keer, *Nuclear Instruments and Methods*, 131, (1975), pags. 119 - 124.
- (4) : P. E. Mijnarends, *Physical Review*, vol 178, Num. 2, (1969), pag. 622.
- (5) : C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 3rd ed., John Wiley & Sons, (1966)

APENDICE 3 : TRABAJO PRACTICO DE LABORATORIO ANIQUILACION DE POSITRONES

Nuestro director nos incitó a pensar como haríamos del presente trabajo de laboratorio II una práctica corriente de algún curso de física moderna avanzada. Por esta razón, y como respuesta a su sugerencia, se incluye este apéndice.

I. Objetivo :

El propósito de la presente práctica es familiarizarse con características básicas de las antipartículas, su interacción con la materia, algunas aplicaciones a la física del estado sólido e instrumentación nuclear. Se desean medir energías de Fermi en Al y Cu estudiando la correlación angular de la aniquilación de positrones.

II. Introduccion y arreglo experimental :

Considere el proceso de aniquilación de un electrón con cierta energía cinética T y un positrón en reposo. Plantee la conservación de energía y momento lineal, es necesario el uso de expresiones relativistas. (¿Cuántos fotones estima ud. que se emiten en el proceso? ¿Por qué?. Tenga en cuenta los principios de conservación de la paridad y conjugación de carga⁽²⁾). Para el caso de dos fotones, asuma que conoce la energía de uno de ellos E_{γ_1} , el ángulo θ entre los dos gamas y calcule la energía E_{γ_2} . (¿A qué conclusiones llega?). Considere que $E_{\gamma_1} \approx E_{\gamma_2}$, que θ es pequeño ($\theta \ll 1$) y demuestre que :

$$\theta = \frac{p}{m c}$$

donde $p = \sqrt{2Tm}$ es el momento del sistema antes de la aniquilación y m es la masa en reposo del electrón.

Estime la distribución de energía de los electrones libres en un metal.

Suponga que los positrones están "termalizados"⁽¹⁾ ($E_e + \approx kT$) y compare la energía del positrón con la de los electrones. (Discuta la validez de la suposición hecha de que el positrón estaba en reposo). Estime el ángulo θ para las energías

involucradas.

Proponemos el siguiente arreglo experimental :

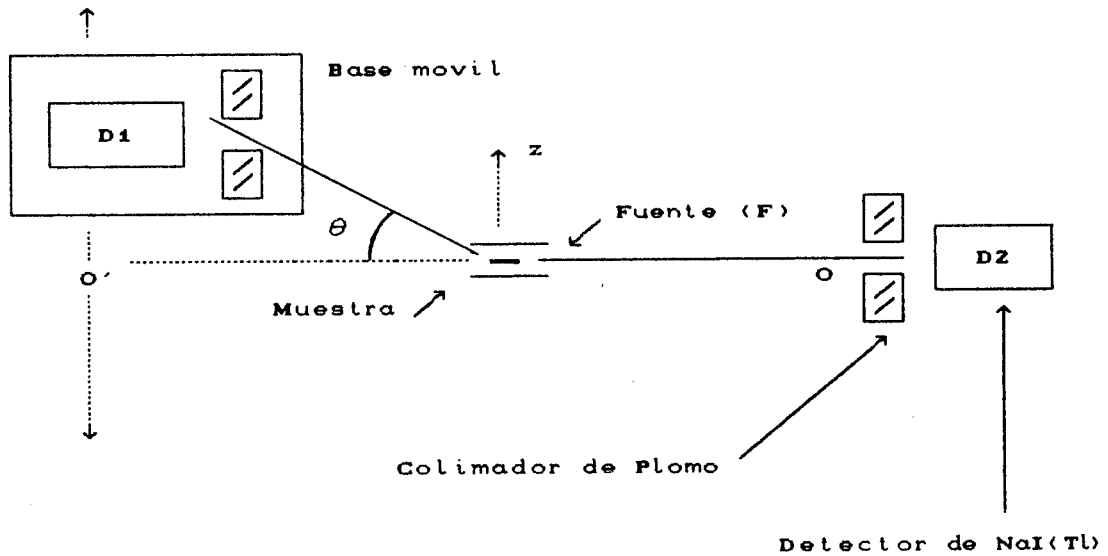


Figura A3-1 : Arreglo experimental

Diseñe la geometría apropiada (distancias \overline{OF} $\overline{O'F}$, anchos de los colimadores y espesores de las muestras) para conseguir una resolución adecuada para los valores de θ obtenidos teóricamente. Tenga en cuenta que la actividad de la fuente es de $25 \mu\text{Ci}$. y encuentre un compromiso entre estadística y tiempo de medición.

Deduzca la distribución de momentos :

$$dn_z(p_z) \propto (p_f^2 - p_z^2) dp_z \quad (1)$$

,donde dn_z es la cantidad de cuentas entre p_z y $p_z + dp_z$, usando la distribución de Fermi-Dirac y asumiendo que $kT \ll E_f$.

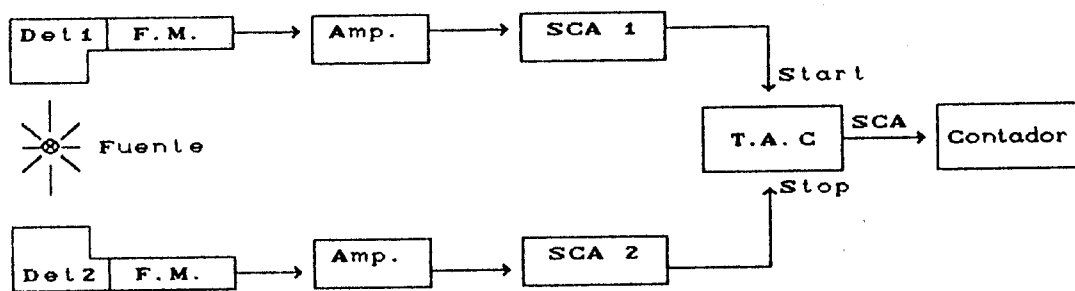
¿Considera ud. que es posible que antes de aniquilarse el positrón forme un estado ligado con el electrón? A este estado ligado se lo denomina positronio. Sugerencia : comparar el diámetro que tendría dicho sistema con el parámetro de red.

III. Desarrollo de la experiencia :

Estudie el espectro característico de aniquilación. Arme un circuito electrónico con un detector de Ge(Li), un

amplificador y un multicanal. Levante el espectro (previa calibración en energía) de la fuente de ^{22}Na colocando algún metal donde se aniquilen los positrones. Justifique porque la energía medida es de 511 KeV. ¿Cómo se modificaría el espectro de aniquilación si ambas partículas tuvieran masas diferentes? Por ejemplo; ¿cuál sería el resultado de sus mediciones si el positrón tuviera una masa de 611 KeV.? La igualdad de las masas de las partículas y antipartículas es un hecho físico notable y no obvio. Esta simetría está relacionada con el teorema de CPT⁽²⁾. Describa brevemente el contenido este principio, alguna de sus consecuencias y su grado de generalidad. ¿Con qué precisión puede acotar la masa del positrón a partir de sus mediciones?

Arme y ponga a punto el siguiente circuito de coincidencias (consulte a su instructor) :



F.M. : tubo fotomultiplicador
 SCA : Single Channel Analyzer
 TAC : Time to Amplitude Converter

Figura A3-2 : Circuito electrónico

Levante una curva del número de cuentas que registra el contador en función de la posición de la mesa móvil, o sea, en función del ángulo θ . Haga estas mediciones con las muestras de Al y Cu.

Ajuste minimizando el χ^2 la expresión (1) a los datos obtenidos experimentalmente y deduzca la energía de Fermi correspondiente. ¿Cómo evaluaría el error en la estimación de la energía de Fermi?

Referencias :

- (1) : P. Hautojarvi Ed., *Positrons in Solids, Topics in Current Physics, vol 12*, Springer Verlag (1978).
- (2) : Frauenfelder, Henley, *Subatomic Physics*, Prentice Hall