J. E. N. 252

# Taquiones

por
G. Velarde

JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR

MADRID, 1972

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Documentación Biblioteca y Publicaciones, Junta de Energía Nuclear, Ciudad Universitaria, Madrid-3, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Este trabajo se ha recibido para su impresión en Noviembre de 1972.

Depósito legal nº M-12555-1973. I.S.B.N. 84-500-5750-7

# TAQUIONES

## 1. Introduccion

Se designa con el nombre de taquiones (del griego ταχις = veloz), a las partículas que se mueven con una velocidad superior a la de la luz en el vacio.

Sobre estas partículas cabe preguntarse:

i) ¿Son reales o ficticias?

ii) ¿Su existencia viola algún postulado de la mecánica cuántica relativista?

iii) ¿Cuáles son sus características y actuaciones?

A pesar de los diversos experimentos realizados, no se ha detectado todavía ningún taquión, y su existencia parece problemática.

### 1.1.

De los postulados de la relatividad restringida se obtiene la ley de adición de velocidades, por la cual dos observadores solidarios de sendos sistemas inerciales moviéndose con velocidad relativa constante, la cual ha de ser sublumínica, observan la misma partícula siempre con velocidad sublumínica o siempre con velocidad superlumínica, pero nunca un observador obtendrá que la partícula tiene una velocidad sublumínica y el otro superlumínica, o viceversa. Por otro lado, para que una partícula alcance la velocidad de la luz en el vacio es necesario comunicarla una energía y un impulso infinitos. Es decir, la velocidad de la luz es una velocidad límite, pero este límite puede alcanzarse por los dos lados, pudiendo decirse que existe una "barrera lumínica" infranqueable.

De este modo, las partículas pueden clasificarse en dos grupos diferenciados: el de las partículas con velocidad superlumínica o taquiones, y el de las partículas con velocidad sublumínica.

Respecto a las características y actuaciones de los taquiones, se obtienen resultados extraños a nuestra manera habitual de pensar, pero que hasta ahora pueden hacerse compatibles con los resultados de la relatividad restringida.

Teniendo en cuenta que las magnitudes físicas observables han de ser reales, pero que nada puede decirse inicialmente sobre las mag

nitudes no observables, se obtiene que para que la energía y el impulso sean reales es necesario que la masa en reposo sea imaginaria, la cual, aunque es medible cuando la partícula alcanza el reposo, no lo es en los taquiones, cuya velocidad no puede anularse.

Otra característica que se obtendrá de los taquiones, es que al aumentar su energía, su velocidad disminuye, necesitándose una energía infinita para alcanzar su velocidad mínima, la de la luz en el vacio. Por otro lado, a medida que la energía disminuye hasta anularse, la velocidad va aumentando hasta hacerse infinita.

Además, considerando los dos observadores anteriores, solidarios de sendos sistemas inerciales moviéndose con velocidad relativa constante, si un observador obtiene que una partícula de velocidad sublumínica tiene energía positiva, el otro observador obtendrá siempre que la partícula tiene una energía positiva, mientras que si la velocidad de la partícula es superlumínica, el otro observador obtendrá valores positivos o negativos de la energía del taquión, según sea la velocidad relativa entre los dos observadores. La interpretación de este resultado se efectuará dentro del análisis del principio de causalidad, el cual debe ser reinterpretado, lo que origina uno de los puntos más oscuros de la teoría de los taquiones.

Por último, los taquiones de spin nulo siguen la estadística de Fermi-Dirac, contrariamente a lo que ocurre con las partículas de velocidad sublumínica, pudiendo estudiarseles dentro del formalismo de la teoría cuántica relativista de campos libres.

## 2. ANALISIS DE LA ADICION DE VELOCIDADES

Sea 0 un observador solidario de un sistema inercial de coordenadas, y 0' un observador solidario de otro sistema inercial que se mueve respecto del primero a lo largo de eje $x \equiv x'$ con velocidad constante $w < c$. Si v es la velocidad respecto a 0 de una partícula cuya dirección es la del eje $x \equiv x'$, su velocidad respecto a 0', será (ref. 1, ec. 35, I)

$$v' = \frac{v-w}{1 - \frac{vw}{c^2}} \quad , \qquad w < c \tag{8}$$

según que v sea menor, igual o mayor que c, se obtiene:

i) Caso de $v < c$.

Si

$$v < c \quad \therefore \quad v' < c, \tag{9}$$

y para

$$w = 0 \quad \therefore \quad v' = v \tag{10}$$

$$w = v \quad \therefore \quad v' = 0 \tag{11}$$

de donde resulta la figura 1.

ii) Caso $v = c$.

Si

$$v = c \quad \therefore \quad v' = c \tag{12}$$

obteniéndose la figura 2.

iii) Caso $v > c$.

Si

$$v > c \quad \therefore \quad v' > c \tag{13}$$

y para

$$w = 0 \quad \therefore \quad v' = v \tag{14}$$

$$w = c^2/v \quad \therefore \quad v' = \infty \tag{15}$$

de donde resulta la figura 3.

De los casos anteriores se obtiene que si una partícula tiene velocidad sublumínca o superlumínica en un determinado sistema inercial, la seguirá teniendo sublumínica o superlumínica en cualquier otro sistema inercial. Es decir, no existe una transformación de Lorentz que transforme una partícula de velocidad ($\begin{matrix}\text{sublumínica}\\ \text{superlumínica}\end{matrix}$) en ($\begin{matrix}\text{superlumínica}\\ \text{sublumínica}\end{matrix}$).

## 3. ANALISIS DE LA ENERGIA Y DEL IMPULSO.

Si una partícula libre de masa en reposo $m_o$ se mueve con una velocidad v, su masa cinética será (ref. 1, ec. 64, I)

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \tag{16}$$

y su energía e impulso (ref. 1, ec. 74, I)

$$E = m\,c^2 = \frac{m_0\,c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}\,, \quad p = m\,v = \frac{m_0\,v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \tag{17}$$

relacionadas entre si por (ref. 1, ec. 85, I)

$$E^2 - p^2\,c^2 = m_0^2\,c^4 \tag{18}$$

Como E y p son magnitudes físicas observables, deberán ser reales, luego cuando v > c, la masa en reposo $m_0$ del taquión, la cual no puede medirse, deberá ser imaginaria

$$m_0 = i\,\mu \tag{19}$$

siendo $\mu$ real, luego

$$E = \frac{\mu\,c^2}{\sqrt{(v/c)^2 - 1}}\,, \quad p = \frac{\mu\,v}{\sqrt{(v/c)^2 - 1}} \tag{20}$$

relacionadas por

$$E^2 - p^2\,c^2 = -\,\mu^2\,c^4 < 0 \tag{21}$$

Análogamente ocurre con las magnitudes físicas observables posición y tiempo. Para que la longitud L y el intervalo de tiempo T dados en (ref. 1, ecs. 40 y 121, I)

$$L = L_0\,\sqrt{1 - (v/c)^2}\,, \quad T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \tag{22}$$

sean reales, es necesario que cuando v > c, la longitud $L_0$ y el tiempo propio $T_0$, correspondientes a una velocidad nula, y por tanto no medibles en los taquiones, sean imaginarios,

$$L_0 = i\,\lambda\,, \quad T_0 = i\,\tau \tag{23}$$

con lo cual

$$L = \lambda \sqrt{(v/c)^2 - 1} \quad , \quad T = \frac{\tau}{\sqrt{(v/c)^2 - 1}} \tag{24}$$

3.1.

En las figuras 4 y 5 se han representado las ecuaciones (17 y 20), observándose que cuando la partícula está en reposo, $v = 0$, la energía toma su valor mínimo $m_0 c^2$ y el impulso se anula, mientras que cuando el taquión alcanza una velocidad infinita, $v = \infty$, la energía se anula y el impulso toma su valor mínimo $\mu c$.

Nótese que cuando un taquión pierde energía aumenta su velocidad, y recíprocamente.

En las figuras 6, 7 y 8 se han representado las ecuaciones (18 y 21), obteniéndose para $v < c$ un hiperboloide de dos hojas, de revolución alrededor del eje E, para $v = c$ un cono de revolución alrededor del eje E, y para los taquiones $v > c$, un hiperboloide de una hoja, de revolución alrededor del eje E.

## 4. ANALISIS DE LA TRANSFORMACION DE LA ENERGIA Y DEL IMPULSO.

Análogamente al (§ 2), sea 0 un sistema inercial de coordenadas y 0' otro sistema moviéndose respecto del primero a lo largo del eje $x \equiv x'$ con velocidad constante $w < c$. Para el observador 0, si la velocidad de una partícula moviéndose en la dirección del eje $x \equiv x'$ es v, su energía e impulso serán (17)

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad , \quad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \tag{25}$$

mientras que para el observador 0', la velocidad de la partícula será v', dada por (8)

$$v' = \frac{v - w}{1 - \frac{vw}{c^2}} \tag{26}$$

y su energía e impulso serán

$$E' = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v'/c)^2}} \quad , \quad p' = \frac{m_0 v'}{\sqrt{1 - (v'/c)^2}} \tag{27}$$

Eliminando v' entre (26) y (27), teniendo en cuenta que $p = (E/c^2)v$, y empleando (25), resulta

$$E' = \frac{1 - \frac{vw}{c^2}}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \quad , \quad p' = \frac{1 - \frac{w}{v}}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \qquad (28)$$

las cuales pueden obtenerse directamente aplicando la transformación de Lorentz al cuadrimpulso (ref. 1, ecs. 125 y 126, I), cuyas componentes en este caso particular son $(p, 0, 0, \frac{i}{c} E)$, con lo que resulta $P'_\nu = L_{\nu\mu} P_\mu$, o bien

$$p' = \frac{p + \frac{iw}{c} (\frac{i}{c} E)}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \quad , \quad \frac{i}{c} E' = \frac{-i \frac{w}{c} p + \frac{i}{c} E}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \qquad (29)$$

que simplificadas, coinciden con las (28).

4.1

Cuando $v < c$, se obtiene que $v\, w < c^2$, luego de (28), resulta que $E' > 0$.

4.2.

Cuando $v > c$, si $c^2/v < w < c$, resulta que $E' < 0$, es decir si el taquión tiene energía positiva para el observador 0, puede tener energía negativa para el 0', o de otro modo, mediante una transformación de Lorentz se puede transformar un taquión de energía positiva en uno de energía negativa y viceversa. Nótese que en este caso, como $w < c < v$, de (28) se obtiene que p' y p tienen siempre el mismo signo, mientras que de (26) resulta que v' y v tienen signo opuesto, lo cual es debido a que la masa cinética es negativa, de acuerdo con el resultado de $E' = m' c^2 < 0$.

Este resultado está lógicamente de acuerdo con los obtenidos en los párrafos anteriores. En la fig. 28 correspondiente a $v < c$, al ser el hiperboloide de revolución de dos hojas, mediante una transformación de Lorentz se puede pasar de un punto a otro dentro de la misma hoja, o sea entre puntos de energía positiva o entre puntos de energía negativa, pero no entre un punto de energía positiva y otro de energía negativa. En la fig. 30 correspondiente a $v > c$, como el hiperboloide es de una hoja, mediante una transformación de Lorentz

se puede pasar de un punto a otro de la única hoja existente, y por tanto entre un punto de energía positiva y otro de energía negativa.

El hecho de que un taquión tenga energía positiva para el observador 0 y negativa para el 0', está íntimamente ligado al principio de causalidad que se analiza a continuación.

## 5. ANALISIS DEL PRINCIPIO DE CAUSALIDAD.

El principio de causalidad establece que la causa debe preceder al efecto (ref. 1, §§ 4.4, I). Considerando los dos observadores del párrafo anterior, si para el observador 0 se produce en $x_1$ un acontecimiento (causa) en el tiempo $t_1$, el cual origina posteriormente en $x_2$ un efecto en el tiempo $t_2$, el observador 0' medirá un intervalo de tiempo entre ambos sucesos, dado en (ref. 1, ec 46, I) por,

$$(t_2' - t_1') = \frac{(t_2 - t_1) - \frac{w}{c^2}(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - (w/c)^2}}, \quad (t_2 - t_1) > 0 \tag{30}$$

Si v es la velocidad entre causa y efecto,

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \tag{31}$$

resultará

$$(t_2' - t_1') = (t_2 - t_1)\frac{1 - \frac{vw}{c^2}}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \tag{32}$$

Cuando $v < c$, $1 - v\,w/c^2 > 0$, luego $(t_2 - t_1)$ y $(t_2' - t_1')$ tienen igual signo, o sea tanto para el observador 0 como para el 0', la causa prece al efecto.

Cuando $v > c$, si $c^2/v < w < c$, resulta que $(t_2' - t_1') < 0$, es decir que un mismo proceso es visto por el observaodr 0 de modo que la causa precede al efecto, mientras que para el observador 0', el suceso correspondiente al efecto según 0, precede al suceso correspondiente a la causa vista por 0.

### 5.1.

Aplicando las ecuaciones (28 y 32) para los taquiones $v > c$, cuando $w > c^2/v$, resulta

$$E' < 0 \ , \quad (t'_2 - t'_1) < 0 \tag{33}$$

es decir, si el observador 0' se mueve respecto al 0 con velocidad $w > c^2/v$, obtendrá que la energía del taquión es negativa, y que el suceso correspondiente al efecto visto por 0, precede al suceso correspondiente a la causa vista por 0.

Asociando el suceso causa a la emisión de una partícula y el suceso efecto a su absorción, y teniendo en cuenta que el suceso de ($^{\text{emisión}}_{\text{absorción}}$) de un taquión de energía positiva es <u>energéticamente análogo</u> al suceso de ($^{\text{absorción}}_{\text{emisión}}$) de un taquión de energía negativa, se considerará el proceso de emisión y absorción de taquiones visto por los dos observadores 0 y 0' que se mueven con velocidad relativa $w > c^2/v$, fig. 9. El observador 0 analiza el siguiente proceso: en el tiempo $t_0$ hay un átomo de la clase 1 en estado excitado en $x_1$ y otro de la clase 2 en estado fundamental en $x_2$; en el tiempo $t_1$ se supone que se produce el suceso $s_1$, consistente en que el átomo excitado 1 pasa al estado fundamental emitiendo un taquión de energía positiva; en el tiempo $t_2$ se supone que se produce el suceso $s_2$, por el que el taquión emitido es absorbido por el átomo 2 excitándose; de este modo el observador 0 establecerá que el suceso $s_1$, o sea, la emisión del taquión en el tiempo $t_1$ (causa) precede al suceso $s_2$, o sea a su absorción en el tiempo $t_2$ (efecto). El observador 0' analiza el proceso anterior de la siguiente manera, de acuerdo con (33); en el tiempo $t'_0 \equiv t_0$, hay un átomo 1 en estado excitado en $x'_1$ y otro 2 en estado fundamental en $x'_2$; en el tiempo $t'_2$ se produce el suceso $s_2$, consistente en que el átomo en estado fundamental 2 emite un taquión de energía negativa, excitándose; en el tiempo $t'_1$ se produce el suceso $s_1$, por el que el taquión emitido es absorbido por el átomo excitado 1 pasando al estado fundamental; de modo análogo, el observador 0' establecerá que el suceso $s_2$, o sea la emisión del taquión en el tiempo $t'_2$ (causa) precede al suceso $s_1$, o sea su absorción en el tiempo $t'_1$ (efecto).

5.2.

Sin embargo, la interpretación anterior presenta algunas dificultades.

Sea un conjunto de átomos en estado excitado de la clase 1 dentro de una caja, una de cuyas paredes es un diafragma, y fuera de ella átomos en estado fundamental de la clase 2. Se supone que el diafragma

se abre en tiempos coincidentes con una tabla de números aleatorios. Los observadores 0 y 0' establecerán entonces una relación causal entre las aperturas al azar del diafragma y los sucesos $s_2$, no estableciendo ninguna relación entre los sucesos $s_1$ y las aperturas al azar del diafragma. Por lo que ambos observadores considerarán que el suceso $s_1$ es la causa y el $s_2$ el efecto, pero mientras que para el 0 el suceso $s_1$ precede al $s_2$, para el 0' el $s_2$ precederá al $s_1$, o sea el efecto precederá a la causa.

5.3.

Teniendo en cuenta que el principio de causalidad no es una ley fundamental de la física, de su violación no puede obtenerse la no existencia de los taquiones.

La segunda ley de la termodinámica, que por su naturaleza es una ley estádistica, se aplica a los procesos macrocópicos, estableciendo que el tiempo y la entropía crecen en la misma dirección, de donde se obtiene que entre sucesos causales hay una dirección determinada en el transcurso del tiempo, es decir, se obtiene el principio de causalidad, por el cual la causa precede al efecto.

Según los resultados obtenidos actualmente, es probable que en las interacciones débiles haya violación de la invariancia de la inversión temporal. En los procesos microscópicos en los cuales se conserve la invariancia de la inversión temporal, las ecuaciones del movimiento son reversibles respecto al tiempo, o sea la dirección en la cual el tiempo transcurre no puede distinguirse microscópicamente. Todos los procesos suceden de un modo completamente simétrico, independientemente de si son considerados de pasado a futuro o de futuro a pasado. La irreversibilidad es debida a las circunstancias macroscópicas del experimento.

Debido a esto, varios investigadores (Heisemberg, Blokhintsev, etc.) admiten la violación de la segunda ley de la termodinámica, y por tanto, del principio de causalidad, para distancias nucleares, ($\sim 10^{-13}$ cm), sin embargo, la violación del principio de causalidad para distancias microscópicas, puede transformarse, mediante una transformación de Lorentz adecuada, en la violación del principio de causalidad para distancias macroscópicas, ya que si para el observador 0, $l = x_2 - x_1$ es la distancia entre dos sucesos producidos en los tiempos $t_2$ y $t_1$ por un taquión de velocidad $v = (x_2 - x_1)/(t_2 -$

$- t_1) > c$, para el observador 0' la distancia correspondiente $l' = x'_2 - x'_1$, valdrá (ref. 1, ec. 26, I)

$$l' = \frac{l - w\,(t_2 - t_1)}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} = l\,\frac{1 - w/v}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \sim \frac{l}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \qquad (34)$$

de modo que si para 0 se viola el principio de causalidad en la distancia microscópica l,para 0' se puede violar en la distancia macroscópica l', con tal de hacer $v >> c \gtrsim w$.

Sin embargo, si para el observador 0 la violación del principio de causalidad se produce con una frecuenca $\nu$, para el 0' se producirá con una frecuencia $\nu'$, dada por la ley del retraso de los relojes (ref. 1, ec. 43, I)

$$\nu' = \nu\sqrt{1 - (w/c)^2} \qquad (35)$$

y teniendo en cuenta (34),resulta

$$l'\,\nu' = l\,\nu \qquad (36)$$

es decir, la probabilidad de violación del principio de causalidad disminuye a medida que aumenta la distancia entre los sucesos. Por tanto, aunque la violación del principio de causalidad puede producirse en los procesos macroscópicos, su probabilidad es muy pequeña, de acuerdo con la naturaleza estadística de la segunda ley de la termodinámica.

## 6. ANALISIS DE LA CONSERVACION DEL NUMERO DE PARTICULAS.

El número de partículas con velocidad sublumínica, que en un instante dado hay en un cierto volumen, es independiente del observador, es decir, es invariante en una transformación de Lorentz.

En el caso de taquiones $v > c$, cuando el observador 0' se mueve con respecto al 0 con velocidad $w > c^2/v$, el número de taquiones no es invariante en la transformación de Lorentz considerada, tal como se obtiene en el siguiente experimento.

Sea un taquión inicial y un detector tal que todo taquión después de ser detectado puede continuar hasta el infinito, y de que el proceso de detección es similar para ambos observadores, fig. 10.

El observador 0 ve que el taquión inicial emite un fotón (radiación Cerenkov) en el punto $x_1$ y en el instante $t_1$, siendo poste-

riormente detectado en el punto $x_2$ y en el instante $t_2 > t_1$. El observador 0' ve primeramente que un taquión de energía negativa es detectado en el punto $x'_2$ y en el instante $t'_2$, y que posteriormente es emitido un fotón en el punto $x'_1$ y en el instante $t'_1 > t'_2$ (reacción de aniquilación entre el taquión inicial y el de energía negativa). Para el observador 0 hay siempre presente un taquión. Para el 0' hay presentes dos taquiones hasta el instante $t'_1$ y ninguno a partir de entonces.

## 7. DETECCION DE LOS TAQUIONES.

Se han realizado diversos experimentos con objeto de detectar la existencia de los taquiones, no habiéndose obtenido hasta ahora resultados positivos.

Estos experimentos son de dos clases, unos basados en el efecto Cerenkov, y los otros en la determinación de la masa residual.

### 7.1. Método basado en el efecto Cerenkov.

Teniendo en cuenta que el efecto Cerenkov es debido a la radiación electromagnética emitida por una partícula caragada que se mueve con velocidad superior a la de la luz en el medio considerado, o sea, fig. 11

$$v > \frac{c}{n} , \quad \text{sen } \theta = \frac{c}{n\, v} < 1 \tag{37}$$

en principio, los taquiones podrían emitir radiación Cerenkov aún en el vacio, de índice de refracción n = 1.

#### 7.1.1.

La pérdida de energía sufrida por una partícula, por unidad de camino recorrido en su trayectoria, o sea el poder de frenado lineal, fue obtenido por Frank y Tamm (1937) empleando la mecánica clásica, y por Fermi (1940) empleando la mecánica cuántica, obteniéndose en ambos casos (ref. 1, ec. 177, XIX)

$$\left(-\frac{dE}{ds}\right) = \frac{4\,\pi^2\, Z^2\, e^2}{c^2} \int \left[1 - \left(\frac{c}{n\, v}\right)^2\right] \nu \, d\, \nu \tag{38}$$

en la cual Ze es la carga eléctrica del taquión y $\nu$ la frecuencia

de la radiación emitida. La integración anterior se extiende a todas las frecuencias para las cuales se verifica (37). Para n = 1 y un intervalo de frecuencias $0 \leq \nu \leq E/h$, la ecuación (38) se reduce a

$$\left(-\frac{dE}{ds}\right) = \frac{\mu^2 Z^2 e^2}{2 \hbar^2} \frac{E^2}{p^2} \tag{39}$$

la cual para $v \to \infty$, al ser $\lim p^2 = \lim \frac{\mu^2 v^2}{(v/c)^2 - 1} = \mu^2 c^2$, se transforma en

$$\left(-\frac{dE}{ds}\right) = \frac{Z^2 e^2}{2 \hbar^2 c^2} E^2 \tag{40}$$

El camino recorrido por el taquión desde la energía inicial $E_i$ a la final $E_f$, valdrá entonces

$$S = S_f - S_i = \frac{2 \hbar^2 c^2}{Z^2 e^2 \mu^2 c^4} \left[ (E_i - E_f) + \mu^2 c^4 \left(\frac{1}{E_f} - \frac{1}{E_i}\right) \right] \tag{41}$$

Para $E_i \sim \mu c^2$, Z = 1, y haciendo $E_f \sim 1$ eV, ya que para energías finales menores, la longitud de onda de la radiación emitida sería muy superior a la de la luz visible y por tanto dificl de detectar, la ecuación anterior se reduce a

$$S \sim \frac{2 \hbar^2 c^2}{Z^2 e^2 E_f} \sim 5 \times 10^{-3} \text{ cm} \tag{42}$$

lo que hace extraordinariamente dificil poder detectar un taquión en un camino recorrido tan pequeño, no pudiéndose emplear entonces las técnicas habituales de detección.

7.1.2.

Con objeto de resolver este problema, Alväger y Kreisler de Princeton (1968) hicieron pasar los taquiones por un campo eléctrico de modo que se estableciese un equilibrio entre la energía ganada al campo eléctrico y la perdida por radiación Cerenkov. La validez de este experimento se basa en suponer que:

i) La ganancia de energía en un campo electrostático, es análoga en los taquiones que en las partículas de velocidad sublumínica.

ii) El efecto Cerenkov en los taquiones no está prohibido por determinadas reglas de selección.

En este caso, el poder de frenado lineal (39), queda modificado por la presencia del potencial eléctrico V en la forma

$$\left(-\frac{dE}{ds}\right) = \frac{\mu^2 Z^2 e^2}{2 \hbar^2} \frac{E^2}{p^2} - Ze \, |\nabla V| \qquad (43)$$

que para el estado estacionario, dE/ds = 0, se reduce a

$$E^2 = \frac{2 \hbar^2}{\mu^2 Z e} p^2 \, |\nabla V| \qquad (44)$$

Cuando $v \to \infty$, de (40) resulta

$$\left(-\frac{dE}{ds}\right) = \frac{Z^2 e^2}{2 \hbar^2 c^2} E^2 - Z e \, |\nabla V| \qquad (45)$$

$$E^2 = \frac{2 \hbar^2 c^2}{Z e} |\nabla V| \qquad (46)$$

que para E = 3.8 e V, Z = 1 de (46) se obtiene un gradiente de $|\nabla V| = 3$ KV . $cm^{-1}$, con el cual en (45) resulta que el camino recorrido por el taquión hasta alcanzar el 95% de la energía del estado estacionario, vale

$$S = \frac{2 \times 10^{-3}}{Z^{3/2}} \text{ , cm} \qquad (47)$$

El experimento representado en la fig. 12, consiste en una fuente de $Cs^{134}$ el cual emite $\gamma$ de 797 KeV (32%) y de 605 KeV (44%). La fuente está situada dentro de un cilindro de plomo, cuya misión es la creación de pares de taquiones, y blindar los $\gamma$ sobrantes, evitando así que se solapen con la radiación Crenkov, perturbando de ese modo las medidas. Parte de los taquiones producidos penetran en el detector, el cual está formado por dos placas paralelas entre las cuales se establece un campo electrostático, que comunica a los taquiones la energía necesaria para compensar la pérdida por radiación Cerenkov, y por un fotomultiplicador para la detección de los fotones producidos. A pesar de las diversas configuraciones empleadas, no aparecío en el espectro de fotones ningún pico que indicase la existencia de los taquiones.

El fallo del experimento puede ser debido a diferentes causas entre ellas a que lo indicado en los apartados anteriores i), ii) deje de cumplirse, o bien a que el taquión tenga una carga eléctrica

superior a 2e, en cuyo caso la energía del estado estacionario, dada en (46), sería inferior a la apropiada para el fotomultiplicador, o en el otro extremo, a que el taquión tenga una carga eléctrica inferior a 0.1 e, en cuyo caso el camino recorrido hasta alcanzar el estado estacionario, dado en (47), sería demasiado grande. Otra causa pudiera ser que un sólo taquión se desintegre en varios taquiones, cada uno de energía menor.

7.2. Método basado en la determinación de la masa residual.

Este método es usual en el análisis de las reacciones entre partículas "elementales" y se basa en la conservación de la energía e impulso en toda reacción. Conociendo la energía y el impulso de las partículas antes de la reacción, se calculan estos valores para las partículas cargadas que aparecen después de la reacción, y por diferencia se obtiene la energía e impulso de las partículas neutras producidas, de donde puede calcularse el cuadrado de su masa.

Cuando en un determinado proceso se produce una sola partícula neutra, se obtiene siempre el mismo valor de la masa residual, pero cuando se producen varias partículas neutras, la masa residual dependerá, entre otros factores, de las direcciones relativas de los impulsos de las partículas. Repitiendo el proceso suficiente número de veces, se obtiene una distribución de masa residual al cuadrado. Cuando se produce una sola partícula neutra, la distribución tiene un pico, que para el caso de los taquiones como $m_0^2 = -\mu^2 < 0$, será negativo. Cuando se producen varios taquiones, la distribución tendría valores positivos y negativos.

Si una determinada partícula existe, por ejemplo un taquión, deberá poder crearse a partir de determinadas reacciones, siempre que se cumplan determinadas leyes, y de que se disponga de suficiente energía utilizable. En el caso de taquiones, esta condición se cumple siempre, ya que pueden alcanzar una energía total nula (§3.1).

Baltay, Linsker, Yeh y Feinberg de Columbia, analizaron unos 6000 procesos de captura de mesones $K^-$ por protones, con resultado negativo.

## 8. BIBLIOGRAFIA


- Velarde, G., "Física Nuclear, vol I y II".- ETSII, (1971).
- Bilaniuk, O.M.P., Deshpande, V.K., Sudarshan, E.C.G.- Am. J. Phy., 30, 718, (1962).
- Feinberg, G., "Particles that go faster than light.- Sc. Am.
- Alväger, T., Kreisler, M.N.- "Quest for faster-than-ligth particles".- Phy. Rev. 171, 5, 1375, (1968).
- Newton, R.G., "Causality effects of particles that travel faster than light.- Phy. Rev. 162, 5, 1274, (1967).
- Frank, I., Tamm. I., Compt. Rend. Acad. Sc. URSS-14, 109, (1937).
- Fermi., E., Phy. Rev. 57, 485, (1940).

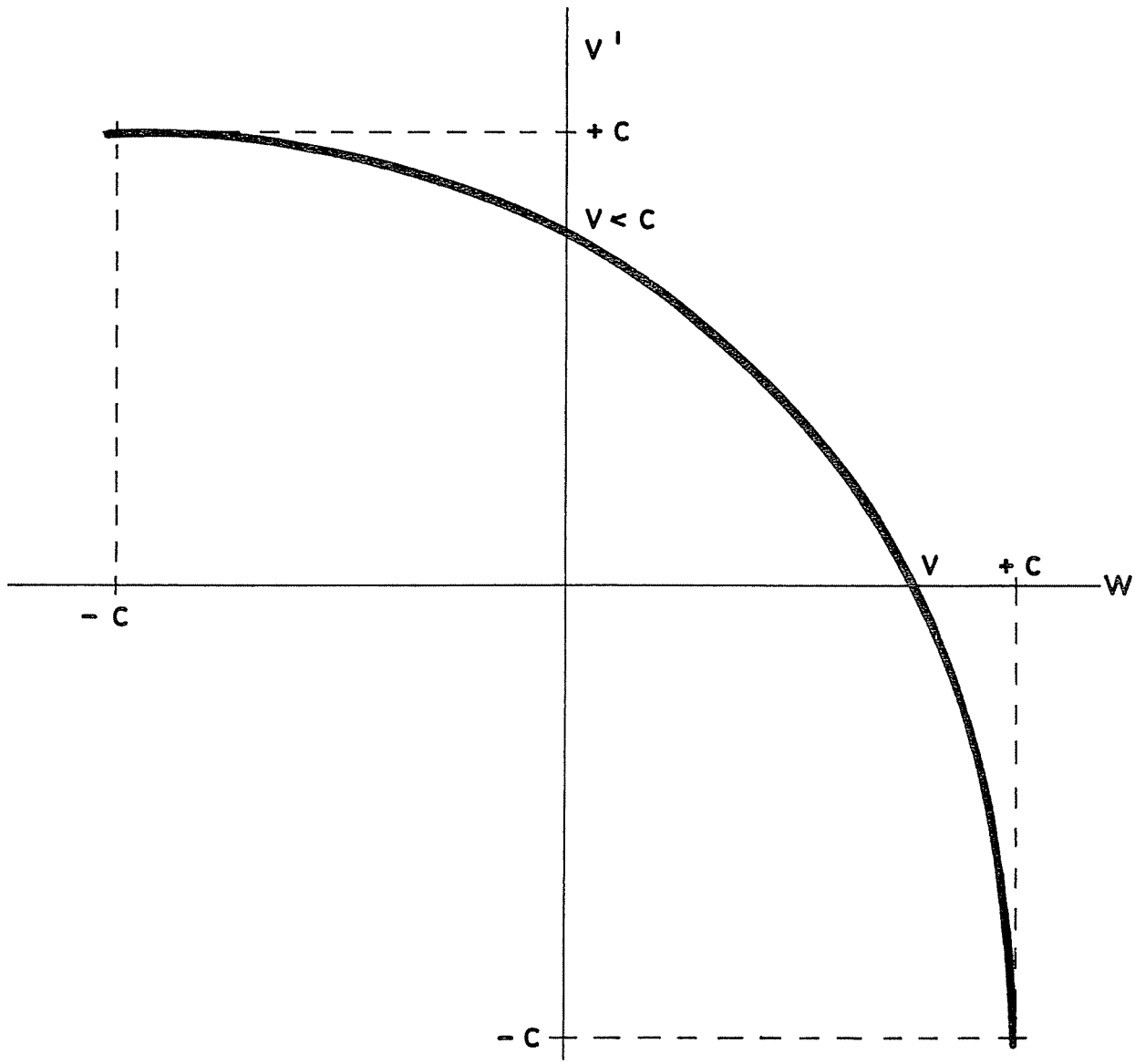



Fig.-1

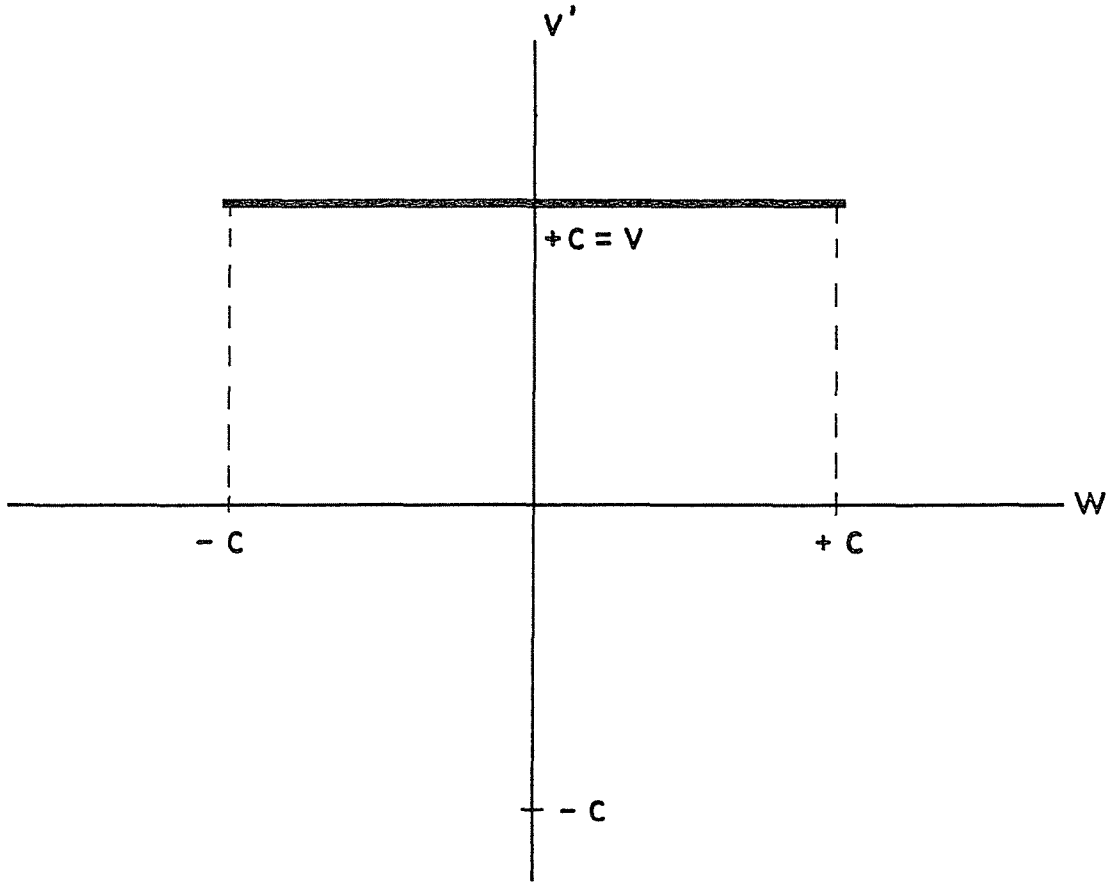



Fig.- 2

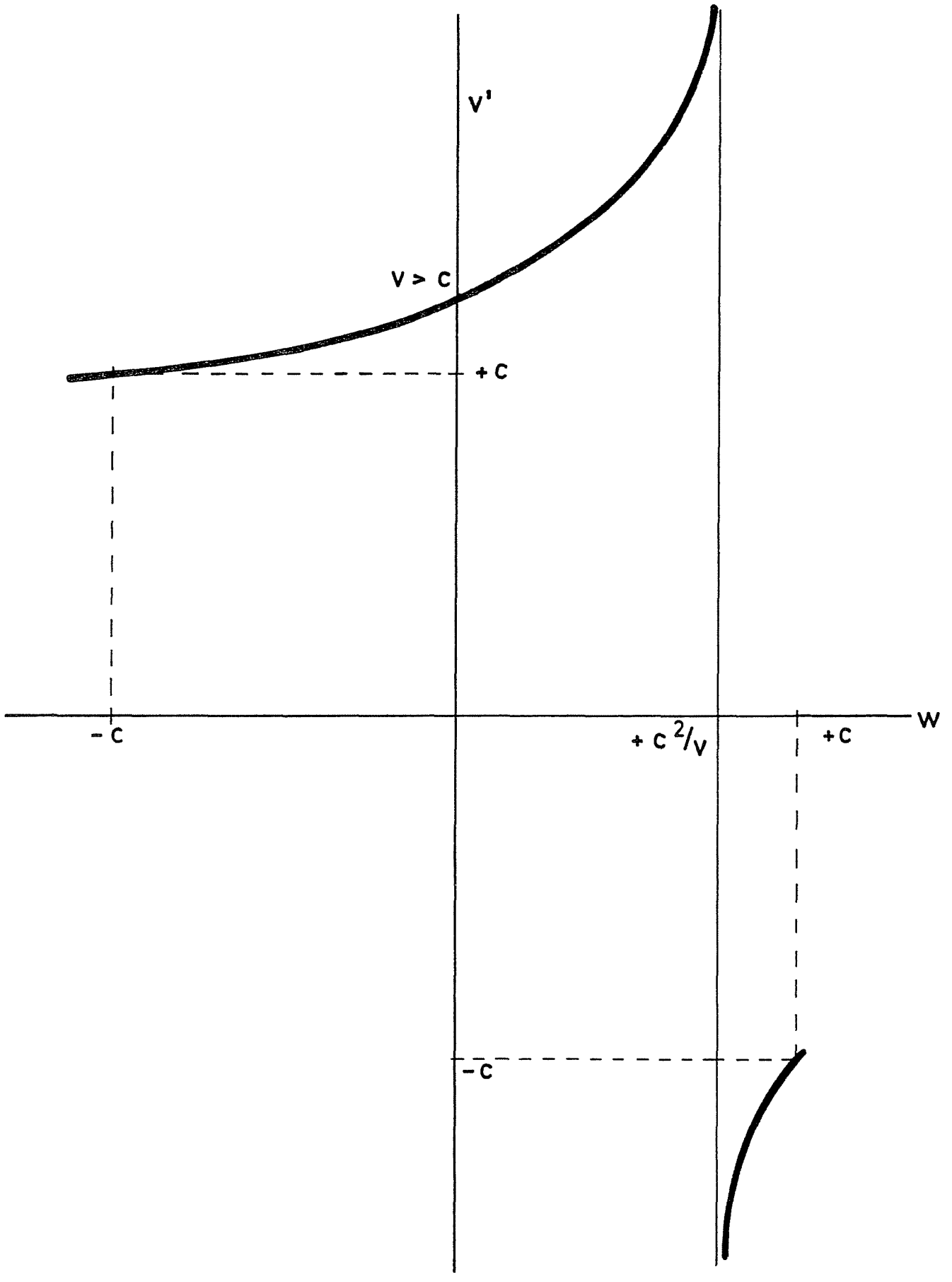



Fig. - 3

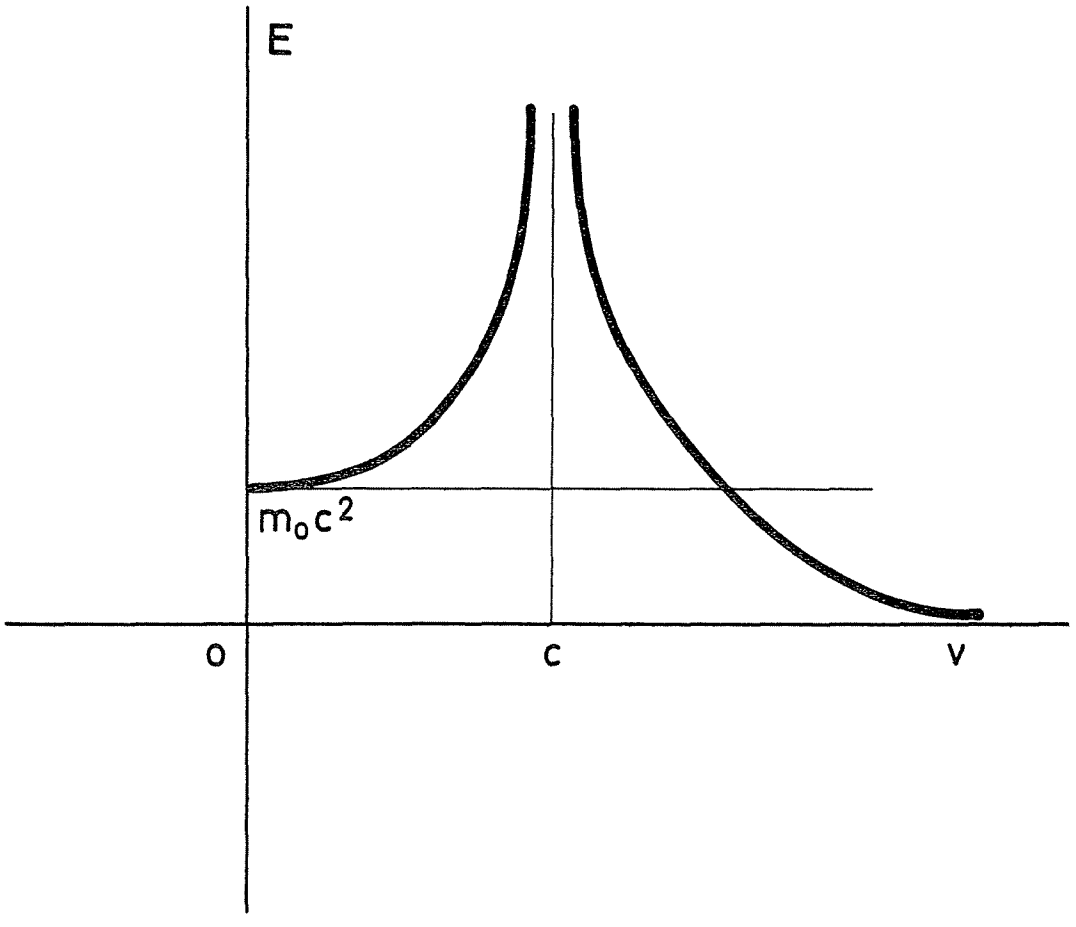



Fig.-4

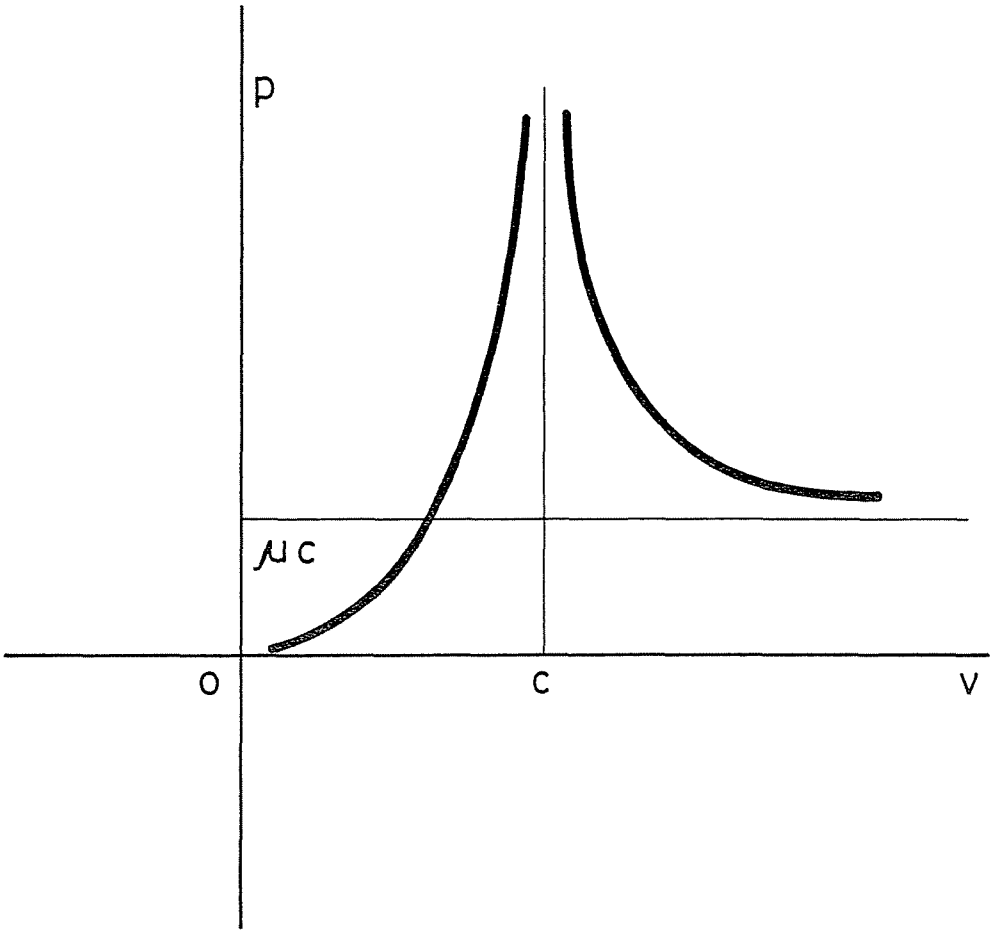



Fig.- 5

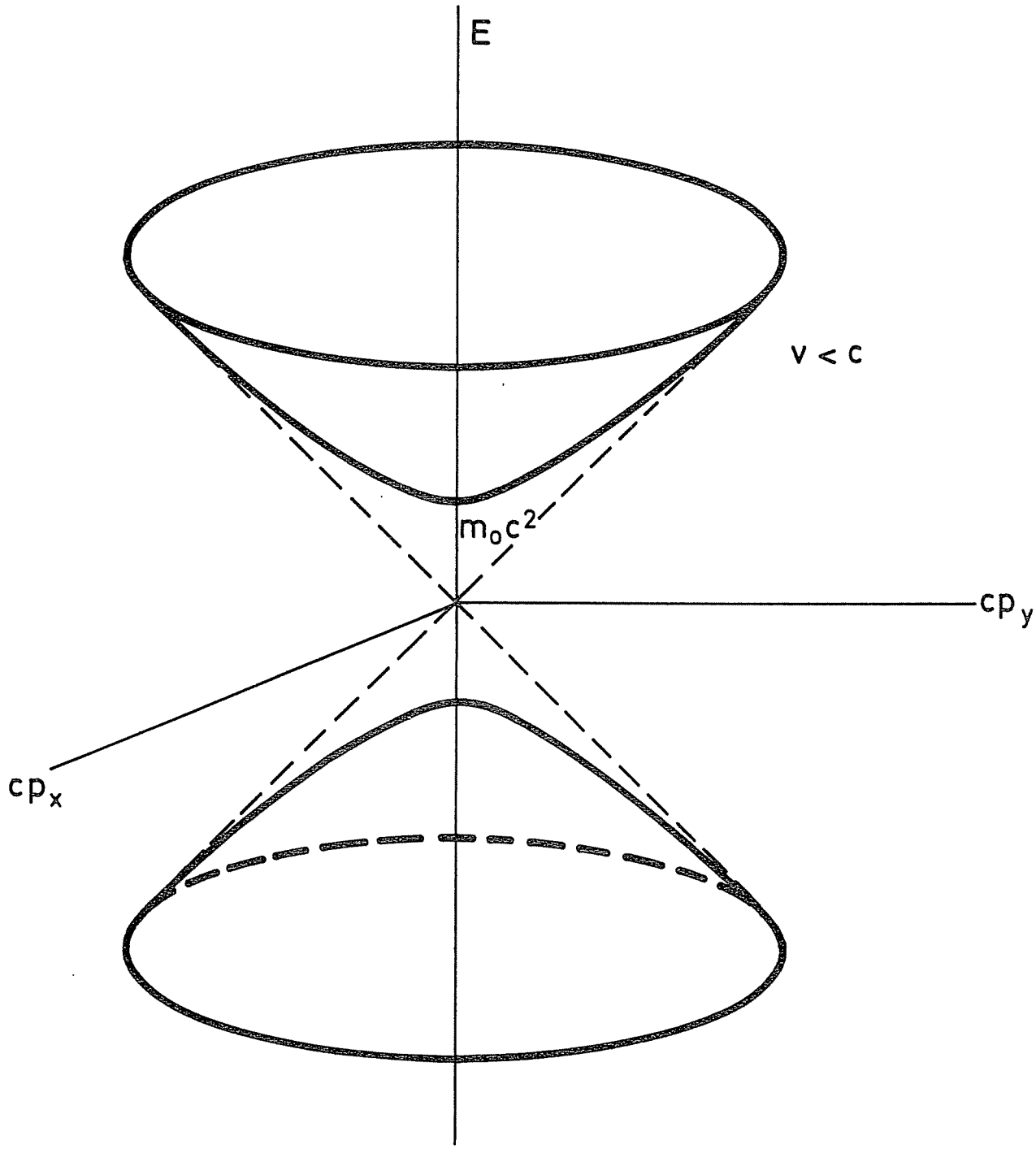



Fig.-6

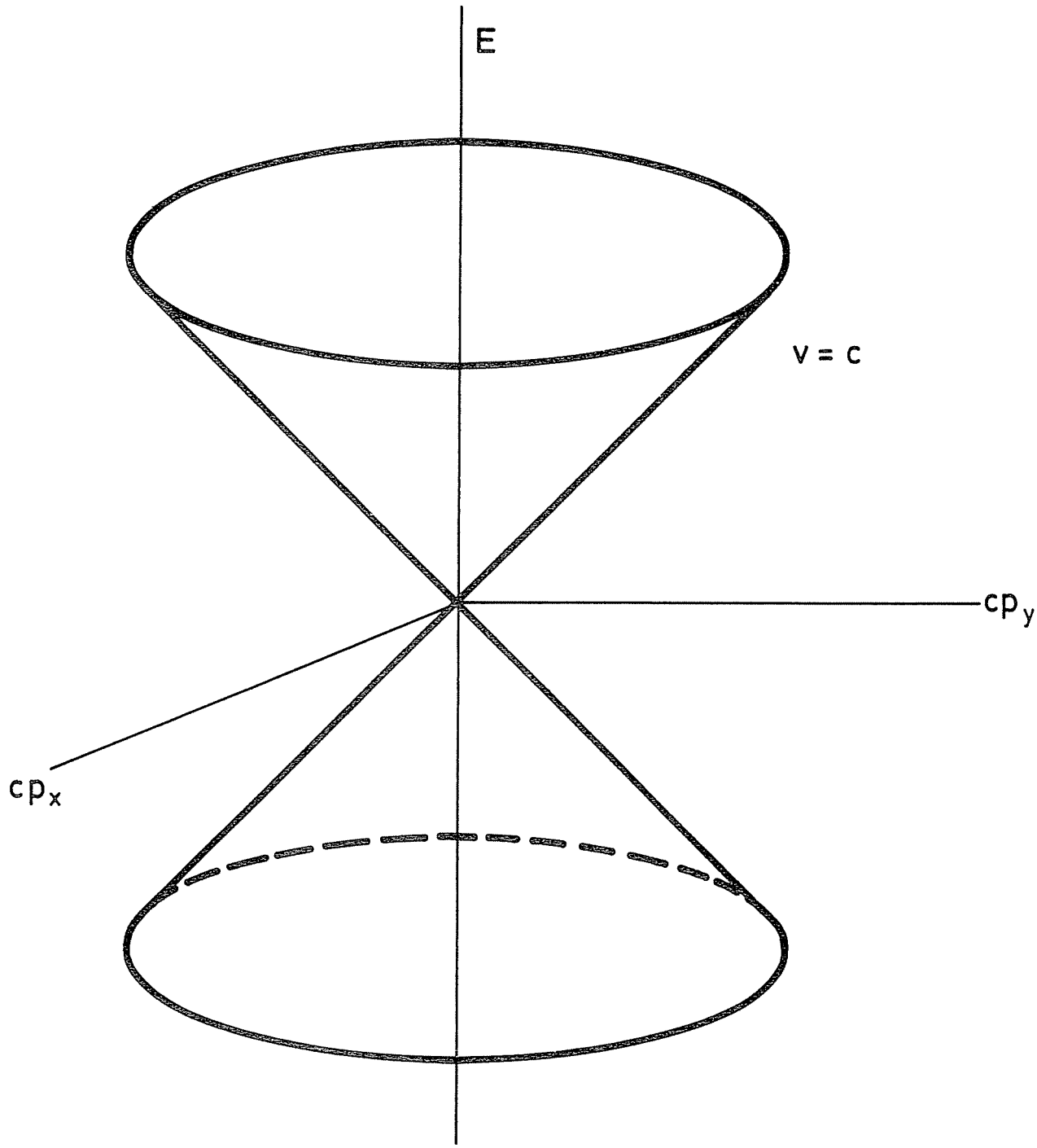



Fig.-7

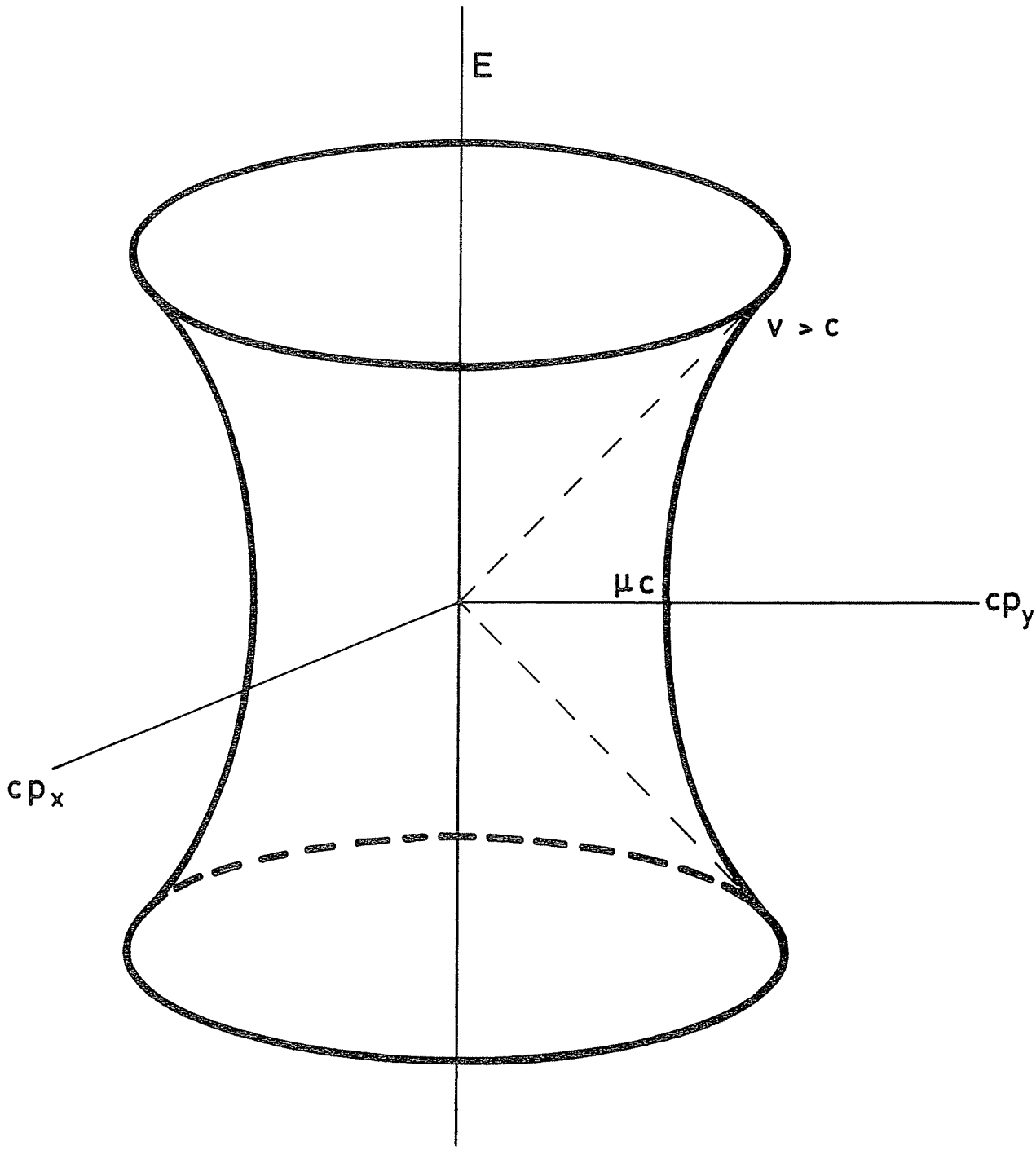



Fig.- 8

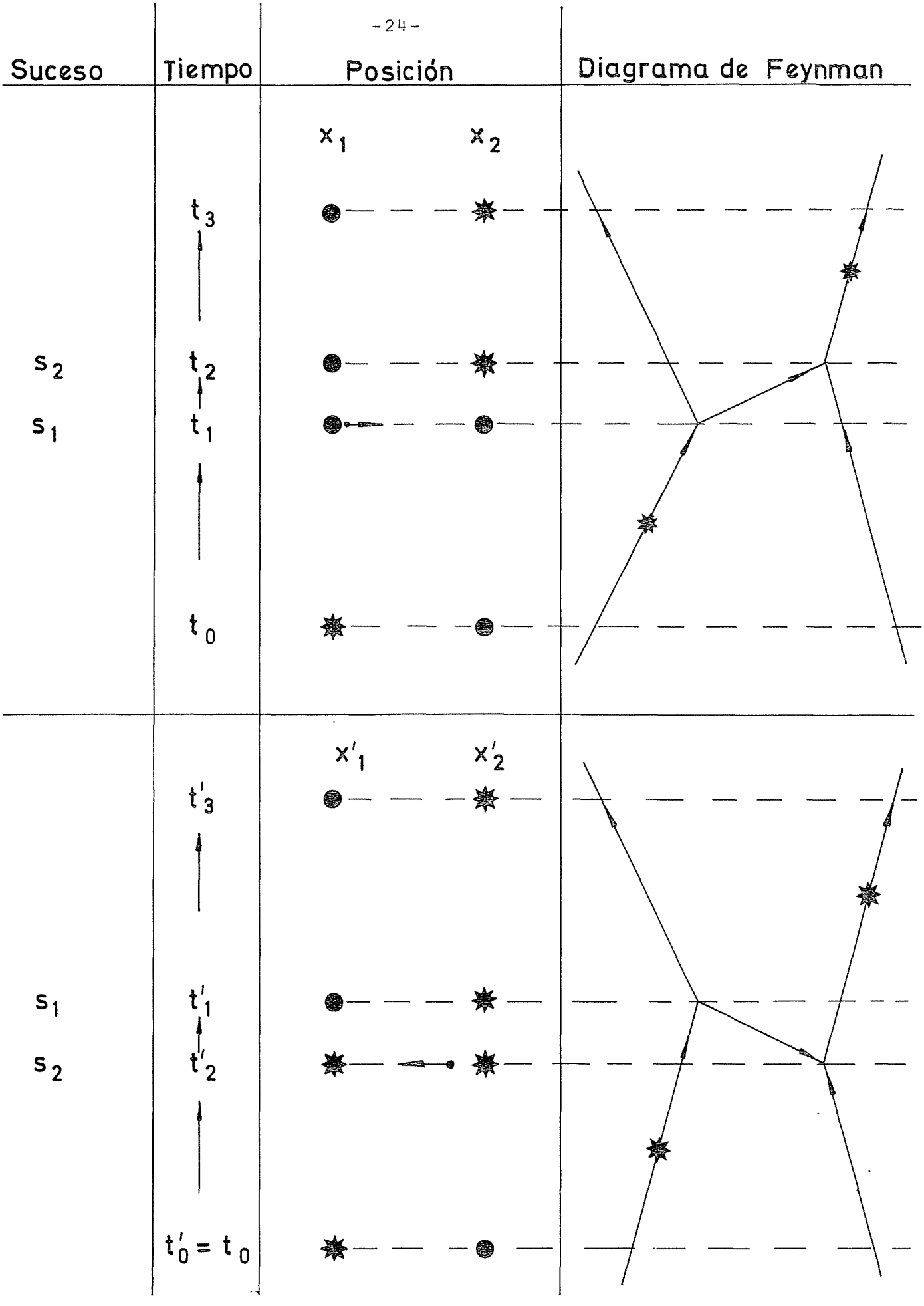
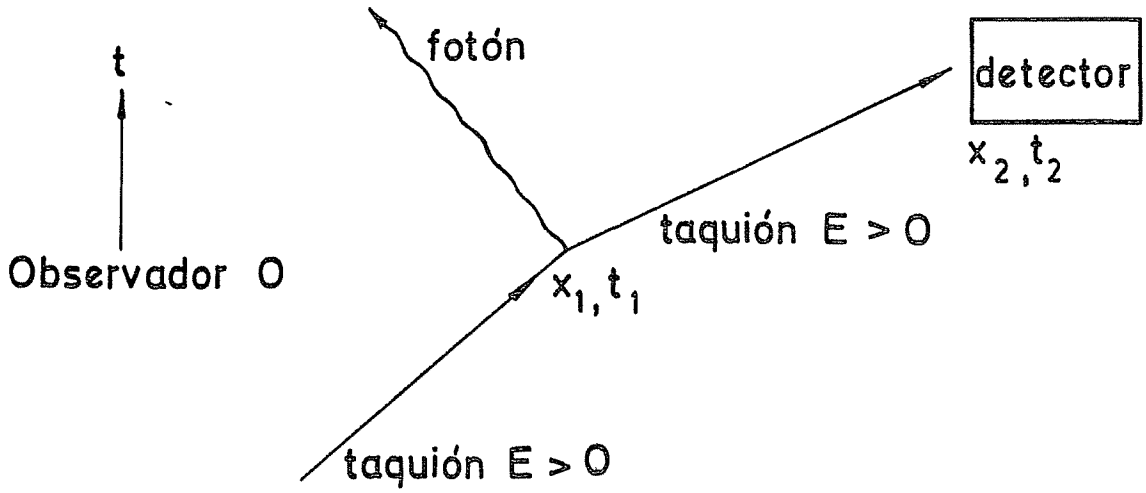

Suceso
Tiempo
Posición
Diagrama de Feynman
x1
x2
t3
s2
t2
s1
t1
t0
x'1
x'2
t'3
s1
t'1
s2
t'2
t'0 = t0

Fig.- 9


t
Observador O
fotón
detector
$x_2, t_2$
taquión E > 0
$x_1, t_1$
taquión E > 0

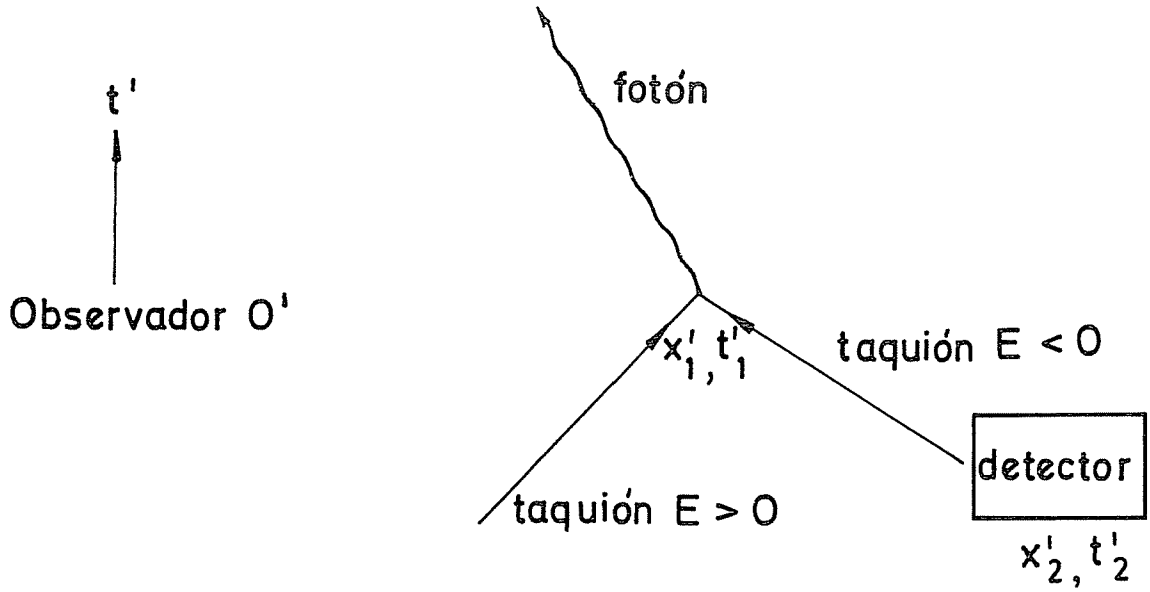

t'
Observador O'
fotón
$x'_1, t'_1$
taquión E < 0
detector
taquión E > 0
$x'_2, t'_2$

Fig.-10

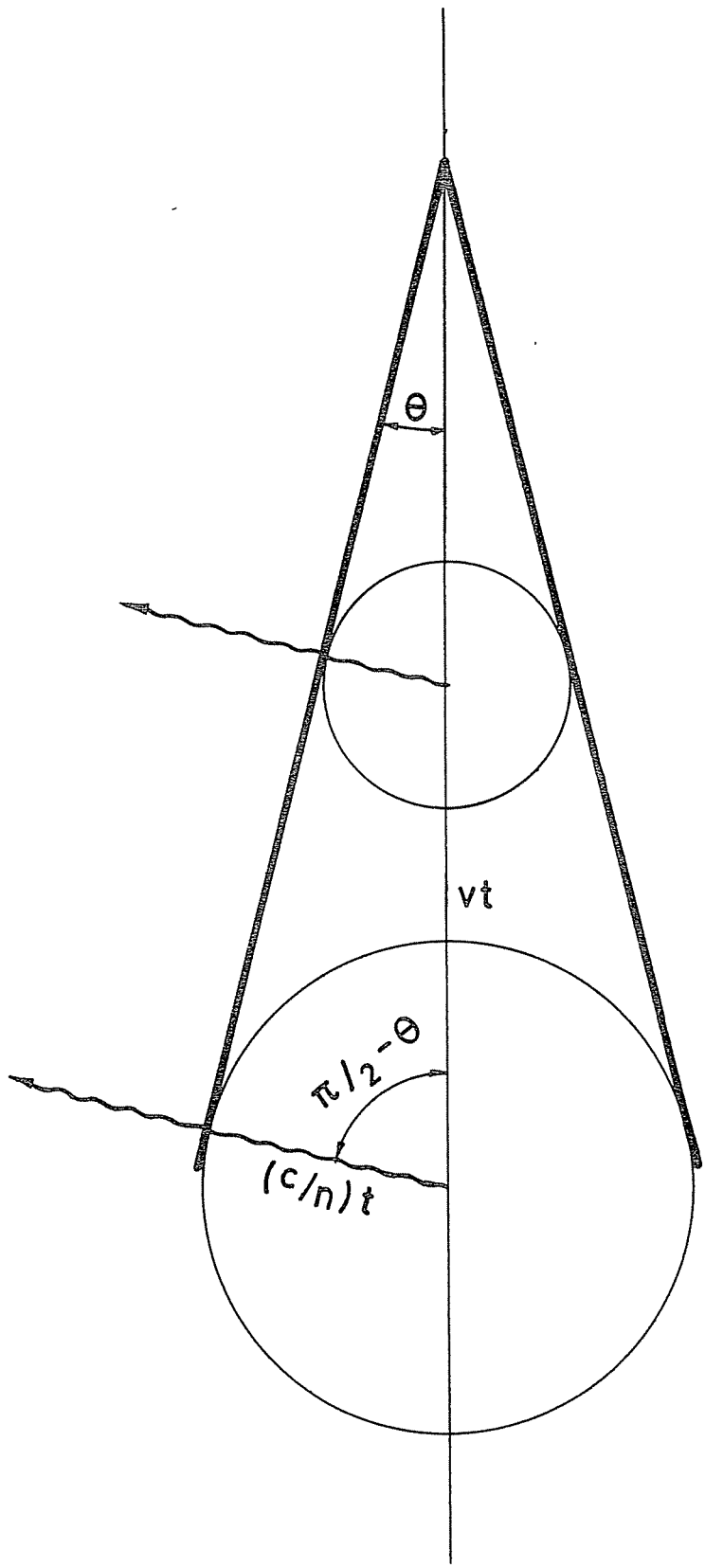



Fig.- 11

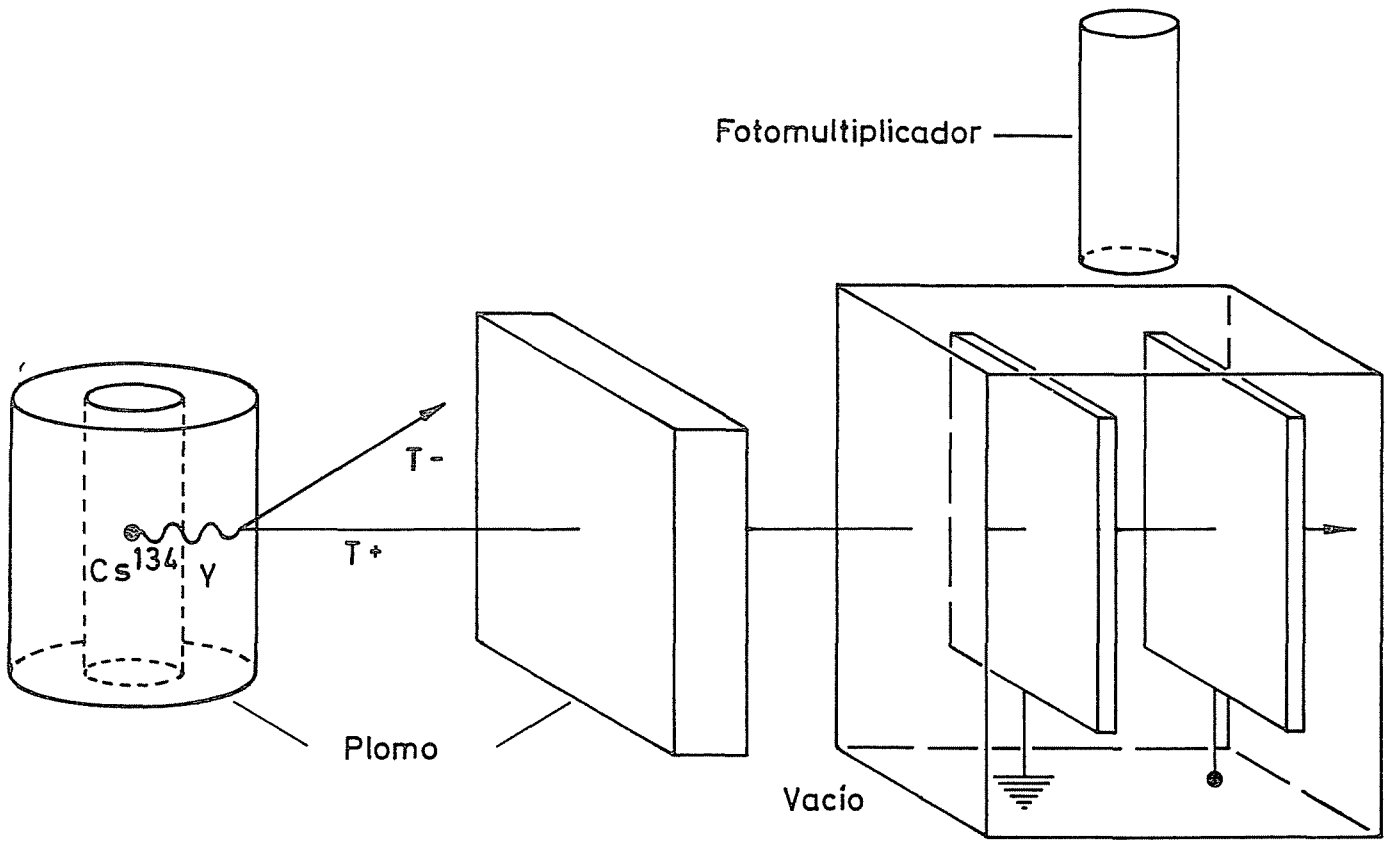



Fig. - 12

J.E.N. 252

Junta de Energía Nuclear, División de Física Teórica, Madrid

"Taquiones"

VELARDE, G. (1973) 15 pp. 12 figs. 7 refs.

Se estudian las propiedades de los taquiones y los métodos experimentales propuestos para su detección. Se analiza el principio de causalidad.

J.E.N. 252

Junta de Energía Nuclear, División de Física Teórica, Madrid

"Taquiones"

VELARDE, G. (1973) 15 pp. 12 figs. 7 refs.

Se estudian las propiedades de los taquiones y los métodos experimentales propuestos para su detección. Se analiza el principio de causalidad.

J.E.N. 252

Junta de Energía Nuclear, División de Física Teórica, Madrid.

"Taquiones"

VELARDE; G. (1973) 15 pp. 12 figs. 7 refs.

Se estudian las propiedades de los taquiones y los métodos experimentales propuestos para su detección. Se analiza el principio de causalidad.

J.E.N. 252

Junta de Energía Nuclear, División de Física Teórica, Madrid

"Taquiones"

VELARDE, G. (1973) 15 pp. 12 figs. 7 refs.

Se estudian las propiedades de los taquiones y los métodos experimentales propuestos para su detección. Se analiza el principio de causalidad.

J.E.N. 252

Junta de Energía Nuclear, División de Física Teórica, Madrid.

"Tachyons"

VELARDE, G. (1973) 15 pp. 12 figs. 7 refs.

The properties of tachyons and the experimental methods to detect them are studied. The principle of causality is analysed.

J.E.N. 252

Junta de Energía Nuclear, División de Física Teórica, Madrid.

"Tachyons"

VELARDE, G. (1973) 15 pp. 12 figs. 7 refs.

The properties of tachyons and the experimental methods to detect them are studied. The principle of causality is analysed.

J.E.N. 252

Junta de Energía Nuclear, División de Física Teórica, Madrid.

"Tachyons"

VELARDE, G. (1973) 15 pp. 12 figs. 7 refs.

The properties of tachyons and the experimental methods to detect them are studied. The principle of causality is analysed.

J.E.N. 252

Junta de Energía Nuclear, División de Física Teórica, Madrid

"Tachyons"

VELARDE, G. (1973) 15 pp. 12 figs. 7 refs.

The properties of tachyons and the experimental methods to detect them are studied. The principle of causality is analysed.