

1-1-1987

## La relatividad especial y la antimateria

Hernando Gutierrez Nur  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/esp\\_matematicas\\_fisica](https://ciencia.lasalle.edu.co/esp_matematicas_fisica)

---

### Citación recomendada

Gutierrez Nur, H. (1987). La relatividad especial y la antimateria. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/esp\\_matematicas\\_fisica/56](https://ciencia.lasalle.edu.co/esp_matematicas_fisica/56)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Departamento de Ciencias Básicas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Especialización en Matemáticas y Física by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

T  
27.87  
6984 v  
4.2

"  
LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y LA ANTIMATERIA

HERNANDO GUTIERREZ NUR 224348

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACION  
DEPARTAMENTO DE MATEMATICAS Y FISICA  
BOGOTA, NOVIEMBRE, 1987



LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y LA ANTIMATERIA

HERNANDO GUTIERREZ NUR

Trabajo de grado presentado como  
requisito parcial para optar al  
título de Licenciado en Educación  
con Especialidad en Matemáticas  
y Física.

Director: JUAN OSWALDO RODRIGUEZ  
QUITIAN

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACION  
DEPARTAMENTO DE MATEMATICAS Y FISICA  
BOGOTA, NOVIEMBRE, 1987



Nota de Aceptación

.....  
.....  
.....

*Juan Polanco*  
\_\_\_\_\_  
Presidente del Jurado

*EDUIG*  
\_\_\_\_\_  
Jurado

*José M. ...*  
\_\_\_\_\_  
Jurado

**REGLAMENTO ESTUDIANTIL**

**Artículo 86: " Ni la Universidad,  
ni el asesor, ni el jurado de  
grado, son responsables de las  
ideas expuestas por los graduan  
dos.**

**ACUERDO 028 DEL  
21 DE OCTUBRE DE 1986**

" A mi Familia, a mi Esposa e Hijo "

#### AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Doctor JUAN OSWALDO RODRIGUEZ QUITIAN, Físico Universidad Nacional de Colombia.

Doctor LUCIO FERNANDO RUIZ, Coordinador Departamento de Matemáticas y Física, Universidad de la Salle.

Por la orientación, dirección y continuo apoyo, que me proporcionaron para llevar a cabo este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

		Pág
	INTRODUCCION.....	1
1.	DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	6
1.1	ANTECEDENTES.....	6
1.2	DESCRIPCION.....	9
1.3	FORMULACION.....	10
1.4	OBJETIVOS.....	11
1.4.1	Objetivo General.....	11
1.4.2	Objetivos Específicos.....	12
1.5	JUSTIFICACION.....	13
1.6	PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS.....	14
2.	MARCO TEORICO.....	16
2.1	TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD...	16
2.2	EL MUNDO CUADRIDIMENSIONAL.....	24
2.3	ANTIMATERIA.....	30
3.	EL ATOMO Y LAS ANTIPARTICULAS.....	38



		Pág
4.	GEOMETRIZACION DEL ESPACIO.....	54
4.1	INTRODUCCION.....	55
4.2	GEOMETRIZACION.....	56
4.3	ANALISIS GEOMETRICO DE LA ELIPSE ESPACIAL.....	57
4.4	LA EXCENTRICIDAD.....	66
5.	GEOMETRIZACION DEL TIEMPO.....	69
5.1	INTRODUCCION.....	69
5.2	GEOMETRIZACION.....	69
5.3	ANALISIS GEOMETRICO DE LA HIPERBOLA TEMPORAL.....	73
5.4	LA EXCENTRICIDAD.....	80
6.	GEOMETRIZACION DE LA MASA.....	82
6.1	INTRODUCCION.....	82
6.2	GEOMETRIZACION.....	82
6.3	ANALISIS GEOMETRICO DE LA HIPERBOLA DE LA MASA.....	85
6.4	LA EXCENTRICIDAD.....	92
7.	RELACIONES GEOMETRICAS ENTRE ESPACIO TIEMPO Y MASA.....	95
7.1	RELACION ENTRE ESPACIO, TIEMPO Y MASA EN LA RELATIVIDAD ESPECIAL.....	95

	Pág
7.2           RELACIONES ESPACIO, TIEMPO Y MASA EN LA RELATIVIDAD AMPLIADA.....	96
8.            CONSECUENCIAS FISICAS DE LA GEOMETRI- ZACION.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	126

## INTRODUCCION

Cuando fue publicada la Relatividad Especial en 1905, además de derribar el Absolutismo impuesto por Newton, dió la posibilidad de encontrar magnitudes físicas tanto positivas como negativas, pero la posibilidad negativa fue descartada de la Relatividad Especial por ser considerada como una imposibilidad; y no fue tomada en cuenta sino hasta que en 1930, trabajos realizados por Paul Dirac, uniera perfectamente los dos pilares de la física moderna: La teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Esta unificación arrojó resultados inesperados, pues las partículas elementales deberían tener partículas idénticas a ellas, pero con propiedades cuánticas contrarias; y en efecto en 1931 Anderson estudiando las propiedades de los Rayos Cósmicos, detectó por primera vez al Positrón que es la partícula contraria al Electrón.

Es por lo tanto el fin primordial del presente trabajo de investigación, proporcionar algunas pautas y sus posibles consecuencias al involucrar la posibilidad negativa de la Relatividad Especial.

## 1.

### PROBLEMA

#### 1.1 ANTECEDENTES

(1905), Albert Einstein dió a conocer la Teoría de la Relatividad Especial; esta teoría se basa en dos postulados; el primero establece que las leyes físicas se pueden expresar mediante ecuaciones que tienen la misma forma en todos los sistemas de referencia que se mueven a velocidad constante unos con respecto a otros; el segundo postulado establece que la velocidad de la luz en el espacio libre tiene el mismo valor para todos los observadores, independiente de su estado de movimiento.

De acuerdo con los anteriores postulados, se deriva que la masa, el tiempo y el espacio dejan de ser entidades absolutas como se venían tratando en la física clásica, para convertirse en entidades relativas dependiendo del estado en movimiento del objeto. Una conclusión inmediata a que llegó esta teoría, es la

imposibilidad para cualquier cuerpo material de alcanzar una velocidad igual o superior a la velocidad de la luz, cambiando de paso el concepto de simultaneidad absoluta de dos sucesos,

Una relación importante arrojada por la relatividad especial es que la energía y la masa son intercambiables, o sea que la energía puede convertirse en masa y la masa puede convertirse en energía; esta relación es conocida como equivalencia entre masa y energía.

(1907), Herman Minkowski llega a la conclusión que el tiempo puede ser considerado en cierto modo como la cuarta coordenada complementaria de las tres coordenadas del espacio y el movimiento de un sistema con respecto a otro puede ser tratado como una rotación del entrelazamiento de esta cuarta coordenada dimensional. El resultado obtenido por Minkowski a partir de esta conclusión es una figura geométrica tetradimensional, la cual tiene una apariencia de un par de conos unidos por sus vértices, omitiendo desde luego una de las coordenadas espaciales para poder graficarlo en un sistema tridimensional. La abertura cónica es de 90 grados conocida con el nombre de "luz del cono". Nace pues una nueva definición de pasado,

presente y futuro. Si se considera el origen de coordenadas, todos los sucesos situados en la parte inferior (tiempo negativo), sería el pasado y entre la parte superior e inferior se encuentra el presente.

(1930), Paul Adrien Maurice Dirac, formuló una nueva ecuación, la cual satisface todos los requerimientos relativistas aplicados a un electrón sin importar la velocidad con que se mueva y automáticamente lleva a la conclusión de que el electrón debe comportarse como una pequeña peonza magnetizada que gira sobre sí mismo. Esta ecuación lleva de inmediato a una complicación muy seria, precisamente, a causa de que une perfectamente la relatividad y los cuanta; la dificultad procede del hecho de que la mecánica relativista conduce a la posibilidad matemática de dos mundos diferentes; el primero un mundo negativo, en este mundo negativo todos los objetos tienen masa negativa, lo que significa que al ser empujados en una dirección comenzarán a moverse en dirección opuesta. El segundo un mundo positivo.

La teoría de Dirac condujo a la existencia de un posible electrón positivo o antielectrón, el cual se

mueve en estados de energía negativa, y que a los electrones negativos les está prohibido caer a estos estados por el principio de exclusión de Pauli. Esto significa que el vacío no es vacío sino que está lleno de electrones positivos moviéndose en todas direcciones posibles con todas las "posibles velocidades".

## 1.2 DESCRIPCION

La existencia de antipartículas prueba de una vez por todas la muy posible existencia de antimateria estable en el universo. Hasta el momento no hay ninguna teoría física, ni observación experimental que impida que ensamblen antiátomos. La pequesimísima vida media de las antipartículas se debe únicamente a que se originan en un medio material y su aniquilamiento es casi de inmediato, pero en el vacío su vida media se ampliará enormemente y de esta forma podrán formar antiátomos en una forma permanente.<sup>1</sup>

La probable existencia de antimateria plantea tremendos problemas a la astronomía y la cosmología, pues en ellas nunca se ha involucrado en forma directa la antimateria. ¿ Toda la materia que hay en el univer

so es de la misma clase o hay trozos de materia y de antimateria esparcidos irregularmente por el espacio?<sup>2</sup> Si al principio había energía pura que eventualmente se materializó en el presente, ¿ Por qué existe ahora un exceso de materia, puesto que cantidades iguales de cada una se debieron materializar?<sup>3</sup> ¿ Qué ocurriría con el espacio, tiempo, masa y energía para la antimateria? ¿ Cómo influiría la antimateria para las leyes de la física actuales en las cuales no tiene cabida la antimateria? ¿ Seguirán inalterables las teorías acerca de la forma y evolución del cosmos, o por el contrario serán incompatibles con la incursión de la antimateria?<sup>4</sup>

### 1.3 FORMULACION

Todos los anteriores interrogantes deben tener respuesta; indudablemente es la teoría de la relatividad en particular la relatividad especial, porque ésta suministra la descripción tanto cualitativa como cuantitativa de las unidades fundamentales de la física (espacio, tiempo, masa y energía).

Albert Einstein excluyó de la relatividad especial la posibilidad negativa de las unidades fundamenta



les por considerarlas carentes de todo sentido en la naturaleza, pues para los años 1905 a 1929 no había evidencia alguna de la existencia de la antimateria.<sup>5</sup>

Ea así como llevando a cabo un estudio de la relatividad especial, involucrando la parte negativa se puede llegar a las respuestas de algunas de las incógnitas surgidas posteriormente al descubrimiento de la antimateria.

El análisis de la parte negativa de la relatividad conlleva, de inmediato a una geometrización de la relatividad especial ampliada a la antimateria de forma análoga a la efectuada en 1908 por Hermann Minlowski a la relatividad especial. Esta geometrización debe arrojar resultados tanto cualitativo como cuantitativos del comportamiento de las unidades fundamentales como también la probable forma y evolución del universo.

#### 1.4 OBJETIVOS

##### 1.4.1 Objetivo General

Plantear relaciones entre la teoría de la relatividad

dad especial y sistemas antimateriales, desde el punto de vista geométrico, con una recopilación bibliográfica del tema.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer qué limitaciones existen en la relatividad Especial al ser aplicada a la antimateria y qué diferencia específicamente posee con la relatividad especial ampliada.
- Llevar a cabo una geometrización de las correspondientes variaciones relativistas, concernientes al tiempo, el espacio, la masa y la energía teniendo en cuenta esta vez sus antiestados.
- Unificar las variaciones relativistas de la masa, tiempo, espacio y energía y de sus respectivos anti en una geometría única.
- Determinar si la velocidad de la luz sigue siendo una limitante de velocidad en el universo para la relatividad especial ampliada.

- La antimateria trae consigo la oportunidad de estudiar el comportamiento de las unidades fundamentales negativas y así enriquecer el aspecto cognoscitivo del universo.
  
- Elaborar planteamientos y suministrarlos como aportes a la teoría especial de la relatividad con respecto a los sistemas antimateriales, brindará a la física la oportunidad de escudriñar el átomo y estudiarlo de una manera más detallada y así comprender un poco más el comportamiento de las partículas atómicas.
  
- Como es bien sabido los energéticos mundiales se están agotando y llegará el día en que el petróleo se acabe definitivamente, entonces la humanidad tendrá que buscar otras alternativas. Una de ellas es sin lugar a dudas la energía atómica y nuclear, pero de estas, solo una parte de la masa de la sustancia implicada se convierte en energía; de otra parte si la materia se combina con antimateria, toda la masa se convierte en energía; pues es claro que la reacción materia - antimateria libera

mucha más energía que la atómica o la nuclear. En la actualidad el problema reside en que se conoce muy poco sobre las leyes que gobiernan el mundo antimaterial, siendo muy difícil el mantener la antimateria en forma estable y mucho menos controlar el proceso de aniquilación.<sup>1</sup>

Por lo anteriormente expuesto el presente trabajo de investigación ofrecerá algunas pautas por las cuales han de seguirse el estudio de las leyes que obedecen las partículas antimateriales y así poder establecer algunas sugerencias que permitan la explicación de cómo se origina la antimateria con base a un análisis geométrico de las unidades fundamentales de la física con respecto a un hipercono cuadrimensional.

#### 1.6 PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS

- La materia y la antimateria se encuentran íntimamente ligadas en la estructura atómica, ambas a la vez están presentes en el átomo.
- La teoría de la Relatividad ampliada, se puede geometrizarse en cuanto al espacio, tiempo, masa y energía con sus correspondientes antiestados.

- La unificación de las magnitudes y antimagnitudes fundamentales, en la relatividad especial ampliada engendran un par de conos unidos por sus vértices coincidiendo con sus ejes.
  
- La producción de materia y antimateria en el universo se lleva a cabo en cantidades iguales, de acuerdo a el fenómeno de producción de pares.

2.

## MARCO TEORICO

### 2.1 TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

(1905) Albert Einstein, dió a conocer la Teoría de la Relatividad Especial. En la introducción, a su escrito que establece la teoría especial de la relatividad, Einstein dice: "Como cualquier otra teoría electrodinámica, esta teoría se basa en la cinemática de los cuerpos rígidos. Al enunciar toda teoría hay que tratar las relaciones entre los cuerpos rígidos (sistema de coordenadas), los relojes y los procesos electromagnéticos. Al no darle suficiente consideración a estas circunstancias, surgen las dificultades contra las cuales tiene que luchar en el presente la electrodinámica de los cuerpos que se mueven".

Einstein examinó, pues, las nociones fundamentales de distancia y tiempo como se implican en el caso especial de los sistemas en movimiento uno con respecto al otro a una velocidad constante (por lo tanto, relatividad especial). Le dio atención especial al

problema de la simultaneidad: lo que significa el mismo instante en sitios diferentes; dedujo las consecuencias que resultan del hecho de que la información sólo puede transmitirse por medio físicos, por ejemplo, con señales luminosas, y del hecho experimental de que la velocidad de la luz es independiente del movimiento de la fuente y del observador, como lo mostraron Michelson y Morley. La discusión en su escrito no es matemáticamente compleja pero se enfrenta a la dificultad psicológica de tener que vencer lo que nosotros consideramos puntos de vista intuitivos y axiomáticos.

Los resultados de su trabajo se resumen frecuentemente en 2 principios que parecen simples a primera vista:

- (a) Dos observadores que se mueven con velocidad lineal constante uno con respecto al otro describen los fenómenos naturales por las mismas leyes físicas.
- (b) La velocidad de la luz en el espacio libre es constante para todos los observadores prescindiendo de su movimiento.

Es así como el intervalo de tiempo  $t$  medido en dos <sup>18</sup> lugares distintos por un observador en movimiento es mayor que el intervalo de tiempo  $t_0$  (tiempo propio) medido por otro observador en el mismo lugar de su sistema de referencia. Este efecto se denomina dilatación del tiempo y la ecuación que mide este efecto es

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 2-1$$

En donde  $v$  es la velocidad del observador en movimiento y  $c$  la velocidad de la luz en el vacío. Aunque el radical del denominador posee los signos + y - la relatividad tiene en cuenta únicamente el signo positivo por considerarse el tiempo siempre positivo.

Desaparece por consiguiente el concepto de un tiempo absoluto, y de igual manera, para todos los sistemas, con respecto al cual todos los sucesos son catalogados unívocamente como pertenecientes a un pasado, un presente, o un futuro, para ser sustituido por el concepto de tiempo relativo al estado de movimiento.



del sistema en cuestión. Como consecuencia inmediata desaparece también el concepto de simultaneidad absoluta de dos sucesos.

Para el espacio también desaparece el concepto clásico de absoluto. Es pues así que la distancia  $l$  medida por un observador en movimiento paralelo a su longitud es menor comparada con su longitud propia  $l_0$  medida en un sistema donde está en reposo. Es evidente, por razones de simetría, que las distancias perpendiculares al movimiento no sufren modificación alguna. La ecuación que mide esta contracción del espacio es

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 2-2$$

Donde  $v$  es la velocidad del observador en movimiento y  $c$  la velocidad de la luz. Como ocurrió en el tiempo el signo negativo del radical es descartado como una posible solución.

De cuanto se ha dicho, puede deducirse además una consecuencia importante de la teoría de la relatividad

dad: la imposibilidad para cualquier cuerpo materia de alcanzar una velocidad igual o superior a la velocidad de la luz en el vacío.

En efecto, si fuese posible transmitir señales (distintas desde luego, de aquellas transportadas por ondas electromagnéticas), a una velocidad tan grande como se quisiera, se conseguiría de forma absoluta que dos sucesos fueran simultáneos en cualquier sistema de referencia, resultando que, como se ha visto está en contradicción con las consecuencias sacadas de los postulados de Einstein. Por lo tanto la velocidad de la luz, no es únicamente la velocidad de propagación de un fenómeno natural, sino que asume el papel de velocidad límite.

De estas consideraciones se deriva también que la ley clásica de composición de velocidades deja de ser válida, cuando se consideran velocidades próximas a la de la luz. Si un cuerpo se mueve respecto a un sistema  $S'$  a una velocidad próxima a la de la luz, y este sistema se mueve respecto a otro sistema  $S$ , a una velocidad también próxima a la de la luz, el cuerpo no se moverá respecto de  $S$ , con una velocidad próxima al doble de la velocidad de la luz, pre

vee la mecánica clásica. Cuantitativamente la composición de velocidades sería:

$$V_x = \frac{V_x' + V}{1 + \frac{V V_x'}{c^2}} \quad 2-3$$

$$V_y = \frac{V_y' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{V V_x'}{c^2}} \quad 2-4$$

$$V_z = \frac{V_z' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{V V_x'}{c^2}} \quad 2-5$$

La masa como el tiempo y el espacio, también deja de ser absoluta. Un cuerpo de masa inicialmente en reposo, sometido a la acción de una fuerza constante, y de acuerdo con la mecánica clásica éste se moverá con una velocidad que crece proporcionalmente al tiempo, puesto que según la ley fundamental de la dinámica la aceleración  $\frac{v}{t}$ , es igual a la relación entre la fuerza aplicada  $F$  y masa  $M$  del cuerpo, resulta que la velocidad en un instante viene dada por:

$$V = \frac{F}{m} t \quad 2-6$$

Por otra parte, de acuerdo con la teoría de la relatividad, el cuerpo no puede superar la velocidad de la luz. Esto significa que al cabo de un cierto tiempo, cuando  $v$  se acerca al valor de  $C$ , la velocidad no podrá seguir aumentando, sino que tendrá que aumentar cada vez más lentamente, acercándose a  $C$  pero sin llegar a alcanzar nunca este valor. esto sólo puede suceder si la masa  $m$  deja de ser una constante característica del cuerpo y aumenta junto con la velocidad. En efecto en tales circunstancias, si  $t$  continúa aumentando indefinidamente, también aumentará simultáneamente la masa  $m$  que está en el denominador y la velocidad podrá resultar en todo momento menor a  $C$ . Matemáticamente resulta que la ley de aumento de masa al aumentar la velocidad  $v$  del cuerpo se da en la relación

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 2-7$$

Donde  $m_0$  es el valor de la masa del cuerpo en reposo. Estrechamente ligada a esta propiedad está la ley de equivalencia entre masa y energía, que es sin lugar a dudas una de las consecuencias más importan



tes de la relatividad especial. En efecto si la masa de un cuerpo aumenta al aumentar su velocidad, la energía cinética adquirida por el cuerpo es equivalente al trabajo realizado por la fuerza externa aplicada y ésta ha sido almacenada por el cuerpo bajo la forma de un aumento de masa. Esta equivalencia entre energía cinética y masa es válida para cualquier otra forma de energía, dado que una forma de energía se puede transformar en otra. Cuantitativamente, la relación de equivalencia entre la energía  $E$  y la masa correspondiente  $m$ , adquirida por un cuerpo viene dada por la célebre ecuación de Einstein:

$$E = mc^2 \quad 2-8$$

En consecuencia la energía cinética relativista viene dada por la ecuación:

$$E_c = mc^2 - m_0 c^2 \quad 2-9$$

Lo cual nos indica que cualquier cambio de la ener

gía de un cuerpo en reposo necesariamente implicaría que el cuerpo está en movimiento.<sup>7</sup>

## 2.2 EL MUNDO CUADRIDIMENSIONAL

(1907) El alemán Hermann Minkowski, llega a la conclusión de que el tiempo puede ser considerado en cierto modo, como la cuarta coordenada complementaria a las tres coordenadas del espacio, y que el movimiento de un sistema respecto a otro puede ser tratado como una rotación del entrelazamiento de esta cuarta coordenada dimensional. Si el tiempo ha de ser considerado como una auténtica cuarta coordenada, debe ante todo ser medida en las mismas unidades de las tres coordenadas del espacio. Esto puede hacerse multiplicando el tiempo por la velocidad de la luz y así quedaría la cuarta coordenada como  $ct$ . Las coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , son intercambiables, lo que no puede ocurrir con la cuarta coordenada, por lo tanto, debe ser multiplicada por un factor que la diferencia físicamente de las demás, este factor es pues la unidad imaginaria  $i$ , y así la cuarta coordenada viene siendo  $ict$ . El resultado obtenido por Minkowski se puede ver en la figura (Véase figura 2-1) Los ejes  $x$  e  $y$ , están en un plano horizontal

(respecto al lector) y el eje imaginario del tiempo corre verticalmente. Se omite la coordenada  $Z$  por la imposibilidad de dibujar cuatro coordenadas ortogonales entre sí.

Los sucesos simultáneos están representados por puntos en planos perpendiculares al eje del tiempo (en el sistema particular de referencia para el cual está trazada la figura. Los que ocurren en tiempos diferentes pero en el mismo lugar están en líneas rectas paralelas al eje del tiempo. La superficie cónica con una abertura de 90 grados conocida como "Luz del Cono", corresponde a los sucesos que pueden ser enlazados por una señal luminosa. Como, no obstante la velocidad del movimiento nunca puede ser mayor que la velocidad de la luz  $c$ , el ángulo en que se inclina el eje  $ict$  nunca puede ser mayor de 90 grados; así pues, podemos distinguir dos clases diferentes de sucesos:

1. Sucesos como E y F para los cuales el ángulo entre la línea  $EF$  que los enlaza con el eje del tiempo forma un ángulo menor que 90 grados. En este caso se puede encontrar un sistema de coordenadas que se mueva respecto al primitivo con tal velocidad

que ambos sucesos estén en el nuevo eje del tiempo  $ict'$  y su distancia espacial se reduzca a cero. La separación espacio-tiempo de dos sucesos es llamada Timelike a causa de que moviéndose con la velocidad adecuada se puede reducir a cero su separación espacial.

2. Sucesos C y D, para los cuales el ángulo entre la línea CD y el eje del tiempo es mayor que 90 grados. En este caso no se puede ir de un lugar a otro a menos que se viaje más velozmente que la luz. Por otra parte, se puede siempre escoger una velocidad adecuada para reducir a cero la diferencia de tiempo entre dos sucesos y hacerlos simultáneos en el sistema de coordenadas espacio-tiempo, escogido. La separación espacio-temporal de tales parejas de sucesos se llama Spacelike, puesto que moviéndose a una velocidad adecuada se puede reducir a cero la diferencia de tiempo.

Ahora se puede dar una nueva definición de "pasado", "presente" y "futuro". Si se considera el origen de las coordenadas de la figura 2-1 ( $x=0, y=0, z=0$ ) y también ( $t=0$ ) todos los sucesos situados en la parte superior del cono ( $t$  positivo) serán el fu



turo, puesto que no importa cómo se mueva un observador, pasará algún tiempo antes que los vea. Análogamente, todos los sucesos situados en la parte inferior del cono ( $t$  negativo) será el pasado, puesto que no importa la rapidez con que se mueva el observador, no los puede ver. Entre las partes superior e inferior se encuentra el presente, este incluye los sucesos que son simultáneos desde el punto de vista de un observador determinado, o puede convertirse en simultáneos si se observan desde un sistema de referencia que se mueve con menos velocidad que la luz. El hecho que el presente ocupe en la figura 2-1 tanto espacio, es debido a la decisión de usar  $Ct$  en lugar únicamente de  $t$  para contar los intervalos de tiempo. Si se usara  $t$ , en lugar de  $Ct$  la escala vertical se acortaría por un factor de  $3 \times 10^{10}$ , las partes superior e inferior de la abertura del cono se ensancharían, y el espacio entre ellas se achicaría prácticamente a cero. Esto se observa en la vida diaria con las velocidades, despreciables, comparadas con la velocidad de la luz. Ahora volviendo al espacio tetradimensional, se pueden realizar algunos cálculos de gran utilidad. Supóngase que se envía una señal luminosa desde el origen de las coordenadas  $x=0, y=0, z=0$  en el momento  $t=0$ ,

en el tiempo  $t$ , la señal luminosa llega a alguna posición con las coordenadas  $X, Y$  o  $Z$  y su distancia desde el origen será según el teorema de Pitágoras:

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad 2-10$$

Como la luz siempre se propaga con la velocidad  $C$ , esta distancia debe ser igual a  $ct$  y podemos escribir:

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = Ct \quad 2-11$$

o bien

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = (Ct)^2 \quad 2-12$$

o

$$X^2 + Y^2 + Z^2 - (Ct)^2 = 0 \quad 2-13$$

Pero como  $-1 = i^2$ , se puede escribir la expresión anterior de este modo:

$$X^2 + Y^2 + Z^2 + (ict)^2 = 0 \quad 2-14$$

cuyo término de la izquierda es la suma pitagórica de los cuadrados para el espacio tetradimensional. En el espacio de coordenadas que se mueve respecto al primero se tiene:

$$X^2 + Y^2 + Z^2 + (ict)^2 = 0 \quad 2-15$$

La suma de los cuatro cuadrados no cambia por la rotación del sistema tetradimensional de coordenadas. Se puede demostrar empleando las transformaciones de Lorentz, que lo mismo es verdad para la separación de espacio y tiempo de cualquiera dos puntos  $(X, Y, Z, ict)$  espacio que representen dos sucesos, así pues, la expresión:

$$X^2 + Y^2 + Z^2 + (ict)^2 \quad 2-16$$

es invariante, cualquiera que sea el sistema de referencia en que los dos sucesos son observados. Sus separaciones en el espacio tridimensional y tiempo unidimensional cambiarán, pero su separación tetradimensional, dada por la expresión 2-16, siempre sigue siendo la misma. Así empleando  $ict$  como cuarta coordenada, se consigue la unión matemática de espacio y tiempo y se puede considerar todo suceso físi

co como ocurriendo en el mundo espacio-temporal de cuatro dimensiones.

### 2.3 ANTIMATERIA

En el año de 1930, Paul Adrien Maurice Dirac formuló una nueva ecuación, que ahora lleva su nombre; esa ecuación satisface todos los requerimientos relativistas, aplicándose a un electrón sin importar la velocidad con que se mueva y al mismo tiempo lleva automáticamente a la conclusión de que el electrón debe comportarse como una pequeña peonza magnetizada que gira sobre sí misma. La ecuación relativista de onda de Dirac, es completamente correcta; pero por buena que fuera la ecuación de Dirac, llevó inmediatamente a una complicación muy seria, precisamente a causa de que una perfectamente la relatividad y los cuanta. La dificultad procede del hecho de que la mecánica relativista conduce a la posibilidad matemática de dos mundos diferentes; el primero un mundo positivo en el que vivimos, y otro, un extraño mundo negativo que desafía la imaginación. En este mundo negativo todos los objetos tienen masa negativa, lo que significa que, al ser empujados en una dirección, comenzarán a moverse en la dirección opuesta. Debi

do a sus cargas eléctricas, existen fuerzas de repul<sup>31</sup>sión entre ellos; si ambos electrones son ordinarios, estas fuerzas prestarán aceleraciones en direcciones opuestas y los electrones se separarán a gran velocidad. No obstante uno de estos dos electrones, es un electrón positivo, la fuerza de repulsión lo moverá hacia el otro electrón mientras este otro electrón se alejará de él. Como ambas aceleraciones son numéricamente iguales, los dos electrones se moverán con velocidad siempre creciente, persiguiendo el electrón positivo al electrón normal. No hay en esto una contradicción con la ley de la conservación de la energía. La energía cinética del electrón normal es  $\frac{1}{2}mv^2$  mientras para el electrón negativo se tiene  $-\frac{1}{2}mv^2$ .

Así, pues la energía total del sistema es:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv^2 = 0 \quad 2-17$$

es decir, precisamente la misma que cuando esta en reposo.

Antes que Dirac uniera la relatividad y la teoría cuántica, un electrón normal en reposo tiene la ener

gía  $m_0 c^2$  y cuando se mueve con una velocidad  $V$ , su energía cinética debe sumarse a ello. Un electrón positivo, cuando se encuentra en reposo tiene la energía  $m_0 c^2$  y su movimiento se traducirá en una energía cinética negativa adicional. Así el diagrama 2 de la energía de las dos clases de electrones aparece como se observa en la figura (véase figura 2-2), la parte superior para un electrón ordinario y la parte inferior para electrones positivos, las dos partes separadas por la diferencia entre  $+m_0 c^2$ ,  $-m_0 c^2$  puesto que la masa del electrón no puede ser menor que  $m_0$  y por lo tanto ningún electrón puede estar en la región de energía entre  $m_0 c^2$  y  $-m_0 c^2$ . Así, el movimiento de las partículas es continuo, no hay modo de que puedan cambiar de la parte superior del diagrama a la inferior. Entonces se puede preguntar ¿Por qué los electrones con energía positiva no caen a los niveles más bajos que se suponen, que son más estables? según la teoría cuántica, los electrones saltan de un nivel de energía a otro, no hay transición continua los dos estados de movimiento. Si los electrones saltan de una órbita a otra, emitiendo su energía en forma de cuanta de luz, ¿Por qué no pueden saltar del nivel superior de energía al inferior en la figura 2-2?. Si esto fue

33  
ra posible todo electrón normal saltaría hacia abajo en los estados de energía negativa y como resultado de perder cada vez más energía por radiación, se moverían más rápidamente ganando energía cinética. Naturalmente esto no ocurre, pero por qué?. Una posible solución dada por Dirac, para salvar esta dificultad fué suponer que todos los estados de energía negativa están totalmente cubiertos por electrones positivos, y que a los electrones de energía positiva, les está prohibido caer a ellos en virtud del principio de exclusión de Pauli. Esto significa que el vacío no es vacío, sino que está lleno de electrones positivos moviéndose en todas direcciones posibles con todas las posibles velocidades. En efecto cada unidad de volumen del vacío debe contener un número infinito de esas partículas que se contradicen a sí mismas. Al proceder Dirac a calcular la masa del electrón positivo resultó que la masa debería ser exactamente igual a la del electrón normal. Efectivamente los resultados de Dirac eran correctos pues en 1931 un físico americano Carl Anderson estudiando los rastros dejados en la cámara de niebla, por electrones de alta energía que hay en los rayos cósmicos, Anderson con el fin de poder determinar su velocidad colocó la cámara de niebla en un fuerte campo magné

tico, y con gran sorpresa las fotografías mostraron que la mitad de los electrones eran desviados en una dirección mientras la otra mitad era desviada en sentido opuesto. Así pues allí había una mezcla de 50% de electrones cargados negativamente y el otro 50% cargados positivamente y todos con la misma masa. El par de un electrón positivo o positrón (como actualmente se le llama) y otro electrón negativo pueden ser producidos por el impacto de un cuanto de luz de alta energía (rayos gama o rayos cósmicos), contra los núcleos atómicos; este fenómeno se conoce con el nombre de producción de pares. Un fotón al materializarse en un electrón y un positrón, la energía electromagnética en este proceso se transforma en energía en reposo. Los principios de conservación no se violan cuando un par electrón-positrón se crea cerca de un núcleo atómico. La suma de las cargas del electrón y del positrón es cero; como la carga del fotón; la energía total incluyendo la energía de masa, del electrón y del positrón es igual a la energía total del fotón; el momentum se conserva gracias al núcleo que lleva suficiente momentum del fotón, como para que ocurra el proceso, pero debido a su masa relativamente enorme, únicamente se lleva una fracción despreciable de la energía del fotón (para que



ocurra la producción de pares en el vacío no se pueden conservar la energía ni el momentum lineal, por lo tanto ahí no se produce).

La energía en reposo  $m_0 c^2$  de un electrón o de un positrón es 0,51 Mev, y por lo tanto la producción de pares requiere una energía del fotón de por lo menos 1.02 Mev. Cualquier energía adicional del fotón se transmitirá en energía cinética del electrón y del positrón. La longitud de onda máxima del fotón corresponde a  $0.012 \text{ \AA}$ . Las ondas electromagnéticas que tiene esas longitudes reciben el nombre de rayos Gamma.

El proceso inverso de la producción de pares se presenta cuando un electrón y un positrón se unen y se anulan, para crear un par de fotones. Las direcciones de los fotones son de tal manera que se conserva tanto la energía como el momentum lineal, y por lo tanto no se requiere núcleo u otra partícula para que la anulación tenga lugar.

Ya habiéndose probado teórica y experimentalmente la existencia del positrón, los físicos pensaron en la probabilidad de protones negativos que estuvieran en la misma relación que los positrones con los electro

nes y efectivamente en el año de 1955 Emilio Segré y Owen Chamberlain, anunciaron que habían observado protones negativos emitidos por blancos bombarderos mediante proyectiles atómicos, con 6'2 (mil millones de electronvoltios), ya que los protones son casi dos mil veces más pesados que los electrones, su producción requería de varios miles de millones de electronvoltios.

Lo mismo que los electrones positivos producidos artificialmente, son aniquilados cuando pasan a través de una materia corriente, que contiene una multitud de electrones negativos; se espera que los protones negativos fueran aniquilados al encontrar protones positivos en los núcleos atómicos con que chocan. Como la energía implicada en el proceso de aniquilación protón positivo - protón negativo (o antiprotón como se le llama actualmente), excede por un factor de casi dos mil veces la energía implicada en una colisión electrón-protón o antielectrón, el proceso de aniquilación se realiza con mucha más violencia resultando una estrella formada por muchas partículas expulsadas.

No paso mucho tiempo para que la producción de anti

neutrones fuera una realidad, en efecto en el otoño de 1956, fueron detectados con éxito; como en este caso falta la carga eléctrica, la diferencia entre neutrones y antineutrones puede ser observada únicamente sobre la base de la capacidad de aniquilarse mutuamente. Hoy en día, la gran mayoría de partículas atómicas se les ha detectado su correspondiente antipartícula exceptuando el fotón y el mesón pi neutro.

### 3. EL ATOMO Y LAS ANTIPARTICULAS

Volvamos al concepto de antimateria tratado en el capítulo segundo. Tan pronto como Dirac concluyó la posible existencia del positron se encontró con serios problemas para situarlo dentro del mundo de la mecánica cuantica. Sin lugar a dudas el problema más serio con que tropezó Dirac fué el de explicar el porque los electrones de energía positiva no caen al nivel más bajo que se supone son más estables. La razón que Dirac dió fue que los niveles más bajos ya estan ocupados por un número infinito de positrones y por el principio de exclusión de Pauli en cada nivel pueden hallarse únicamente dos electrones con espinos dirigidos en sentidos opuestos; pero suponiendo que esto es cierto surge otro interrogante ¿porqué la naturaleza creó mucha más antimateria que materia?. En los experimentos llevados a cabo hoy en día en los laboratorios siempre se ha observado que cuando un rayo gamma choca con un átomo, el rayo gamma desaparece y se encuentran en su lugar dos partículas: un electrón común y otro con carga positiva llamado positrón. Este es el ejemplo más

notable de la transformación de energía pura en masa. Ahora como se vió en el capítulo segundo, se pueden obtener todas las antipartículas de las partículas atómicas excepto la del fotón y el mesón Pi neutro, y por lo tanto recurriendo a las teorías del origen del universo se cree que en un principio no existía materia sino energía pura (era de la radiación) que eventualmente se materializó en partículas y antipartículas, entonces, ¿Porqué el espacio vacío debe contener un número infinito de antipartículas como supone Dirac, si la radiación pura debió haber originado igual número de partículas y antipartículas en el universo?.

Todo parece indicar que en el universo deben existir un número igual de partículas y antipartículas y por lo tanto en el espacio vacío no debe estar ocupado por un número infinito de antipartículas. Pero entonces ¿Cómo explicar el hecho de que las partículas atómicas no caen a estados energéticos negativos?.

Para llegar a una respuesta debe recordarse la estructura atómica. Los electrones se mueven en ciertos orbitales probabilísticos, o sea, es más probable encontrar un determinado electrón en cierta región del espacio que en otro. Esto indica que el electrón se mueve

en cierta región del espacio únicamente mientras que para otras regiones del espacio es nula la probabilidad de encontrar un electrón. Este hecho había sido pronosticado por Borh y más tarde demostrado por Schrödinger. La explicación que se dió a esta cuantificación de los niveles probables donde se mueve el electrón, es que el electrón es retenido en una cavidad potencial cerca del núcleo pues la energía está cuantificada como lo mostro Max Plank, y por lo tanto la energía total que posee el electrón se limita a ciertos valores discretos.

Hasta ahora existe pues entre los electrones, espacios vacíos y los electrones cuando saltan de un nivel de energía lo hacen en forma discontinua, por ejemplo: Si un electrón que está en el nivel 2 entrega energía en forma de un cuanto de luz, éste salta al nivel 1 sin transitar por el espacio vacío entre el nivel 2 y el nivel 1, es decir, no hay una transición continua entre los dos estados de movimiento, es como si para el electrón no existiera este espacio vacío; ya que el electrón desaparece virtualmente en el nivel 2 y aparece de inmediato en el nivel 1; entonces, ¿Qué ocurre en este espacio vacío?. Supongase que cada electrón negativo está unido de alguna forma a un antielectrón negativo, o sea, estan en una correspondencia biunivo

ca. Además supongase que existe las antiunidades fundamentales de la física como el espacio, tiempo y masa-energía negativa.

Por todo lo anterior se puede además suponer que el espacio vacío interorbital es en realidad un espacio negativo, en donde residen los antielectrones en correspondencia biunívoca con los electrones. Un espacio negativo debe ser ignorado por cualquier partícula material y por lo tanto el electrón da un salto discontinuo cuando pasa de un nivel de energía a otro; ¿Cómo se podría entonces a partir de esta suposición describir la producción de pares observados en los aceleradores de partículas?. Si existe la masa negativa, entonces es de esperar que las antipartículas se muevan en ondas negativas alrededor del antinúcleo tal como sucede con los electrones, y si existe energía negativa entonces ha de existir cuantos negativos y en especial existirá el fotón negativo o antifotón.

Bajo estas características todo movimiento ondulatorio debe poseer una parte negativa asociada a la onda en cuestión, y por lo tanto la onda en que viaja un fotón gamma debe estar asociado a un antifotón gamma que viaja en una onda negativa, Si un fotón-antifotón gamma

viajan en dirección a un átomo y penetra en sus nubes electrónicas es probable que colisione con un par electrón-antielectrón, entonces ¿Qué puede suceder?. El efecto Compton es de gran utilidad para este caso

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad 3-1$$

Aquí  $\lambda'$  es la longitud de onda del fotón dispersado,  $\lambda$  la longitud de onda del fotón antes de la colisión y  $\theta$  es el ángulo de dispersión del fotón gamma.

Es claro que el cambio máximo de longitud de onda que puede ocurrir tendrá lugar para  $\theta = 180^\circ$ , entonces

$$\lambda' = \frac{2h}{m_0 c} + \lambda \quad 3-2$$

Para calcular  $\lambda'$  se tienen los siguientes datos:

$$\begin{aligned} m_0 &= 9.108 \times 10^{-31} \text{ Kgr (masa en reposo del electrón)} \\ h &= 6,625 \times 10^{-34} \text{ julios-Seg (Constante de Planck)} \\ c &= 3 \times 10^8 \text{ m/seg (Velocidad de la luz)} \\ \lambda &= 6 \times 10^{-15} \text{ m (Longitud de onda gamma)} \end{aligned}$$



Reemplazando los anteriores datos en la ecuación 3-2,<sup>43</sup>  
se tiene que:

$$\lambda' = 4,85521 \times 10^{-12} \text{ m}$$

Ahora comparando la energía del fotón gamma antes y  
después del choque se tiene:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

De donde

$$E = 3.3125 \times 10^{-11} \text{ julios} \quad 3-3$$

De donde

$$E' = \frac{hc}{\lambda'}$$

$$E' = 4.09354 \times 10^{-16} \text{ julios} \quad 3-4$$

Por lo tanto

$$E - E' = 3.3084 \times 10^{-11} \text{ julios}$$

Que es la energía adquirida por el electrón dispersado.

La velocidad que adquiere el electrón después del choque con el fotón gamma se puede obtener a partir de la ecuación de relación masa-energía de la relatividad especial

$$E = mc^2 \quad 3-5$$

Pero

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 3-6$$

Luego

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 3-7$$

Despejando

$$v = c \sqrt{1 - \frac{m_0^2 c^4}{E^2}} \quad 3-8$$

Como la energía cedida por el fotón es de:

$$\Delta E = 3.3084 \times 10^{-11} \text{ julios}$$

Entonces, de la ecuación 3-8, tenemos:

$$C = 299.999.99 \text{ Km/seg}$$

Esta electrón se moverá con una longitud de onda de Broglie De:

$$\lambda = \frac{h}{m v} \quad 3-9$$

Pero

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 3-10$$

Donde

$$\lambda = \frac{h \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{m_0 v} \quad 3-11$$

y se obtiene que:

$$\lambda = 2.4246 \times 10^{-12} \text{ metros}$$

Repetiendo los anteriores cálculos para el antifotón se obtienen los mismos resultados pero negativos.

Se ha observado que un rayo gamma cuando impacta con un átomo se desvanece y en su lugar aparecen un electrón y un positrón, por lo tanto, no hay onda dispersada, entonces el fotón-antifotón deber ser totalmente absorbidos por la pareja electrón-antielectrón, ahora si se reevaluan los cálculos para el electrón y el positrón absorbiendo por completo el fotón-antifotón gamma, se tiene como resultado un aumento muy pequeño en la velocidad electrón-positrón, pues es de esperar este resultado ya que un cuerpo material no puede igualar la velocidad de la luz, por lo tanto cualquier aumento en la energía y antienergía es difícilmente aceptada por el electrón-positrón respectivamente. En el caso que sea forzado el electrón-positrón a aceptar más energía-antienergía, esta se manifestará en un aumento de masa-antimasa y su velocidad apenas aumentará unas cuantas cifras decimales.

Hasta ahora se ha concluido que el impacto de un fotón gamma con un electrón da como resultado que el electrón sale disparado a velocidades próximas a la luz y análogamente lo mismo acontece para el positrón, pero para el mundo de la materia únicamente es detectado el electrón moviéndose a grandes velocidades, pero el antielectrón se mueve aún en su mundo antimaterial y de

esta manera es impersectible para el mundo material,<sup>47</sup>  
entonces, cómo es posible que en los aceleradores de  
partículas se pueda detectar el positrón. Si el posi-  
trón se puede detectar en el mundo material es por que  
ha logrado por algún medio invertir las propiedades de  
las unidades fundamentales de la física, es decir, pa-  
sar de un espacio-tiempo negativo a un espacio-tiempo  
positivo. Entonces, ¿Cómo puede suceder esto?.

Anteriormente se pudo determinar que cuando un fotón  
gamma choca con un electrón, éste se resiste a aceptar  
la totalidad de energía del fotón por que el electrón  
se acelera a velocidades cercanas a la luz en un ins-  
tante muy pequeño de tiempo. Es así como el fotón ga-  
mma se ve obligado a pasar la barrera de potencial del  
electrón y salta a la barrera de potencial del anti-  
electrón con carga negativa, pues es más fácil adicio-  
narle energía positiva a un antielectrón, que a un  
electrón y así el fotón gamma atravieza la barrera de  
potencial positiva a la negativa y eleva la energía de  
un antielectrón en por lo menos en  $+2 m_0 c^2$  ,  
y el antielectrón pasa a la barrera positiva conservan-  
do su carga negativa comportándose como un auténtico  
electrón mientras en la barrera negativa queda un anti-  
positrón. Bajo estas condiciones el antielectrón y el

positrón dejan de ser la misma cosa, porque el anti electrón es la partícula que se encuentra en un potencial negativa y se mueve en un espacio-tiempo negativo con una masa negativa y una carga negativa y el antipositrón en cambio es algo así como el hueco dejado por el antielectrón cuando salta a un espacio-tiempo positivo y de forma análoga acontece para el electrón positrón. Ahora la parte negativa de la onda donde viaja el antifotón gamma se encuentra con el mismo problema con el antielectrón, pues es más difícil suministrarle más energía negativa mientras que sí es más fácil restarle energía al electrón en por lo menos de  $-2 m_0 c^2$  y de esta manera el antifotón atraviesa la barrera de potencial negativo al positivo impactando con el electrón que de inmediato salta al potencial negativo conservando su carga negativa comportándose como un auténtico antielectrón, en tanto en el lugar que ocupará el electrón queda un positrón.

De esta forma aparecen en la parte positiva de la barrera de potencial un electrón y un positrón y en la parte negativa aparecen un antielectrón y un antipositrón y de esta forma no son violados los principios de conservación de la carga y la conservación de la energía.

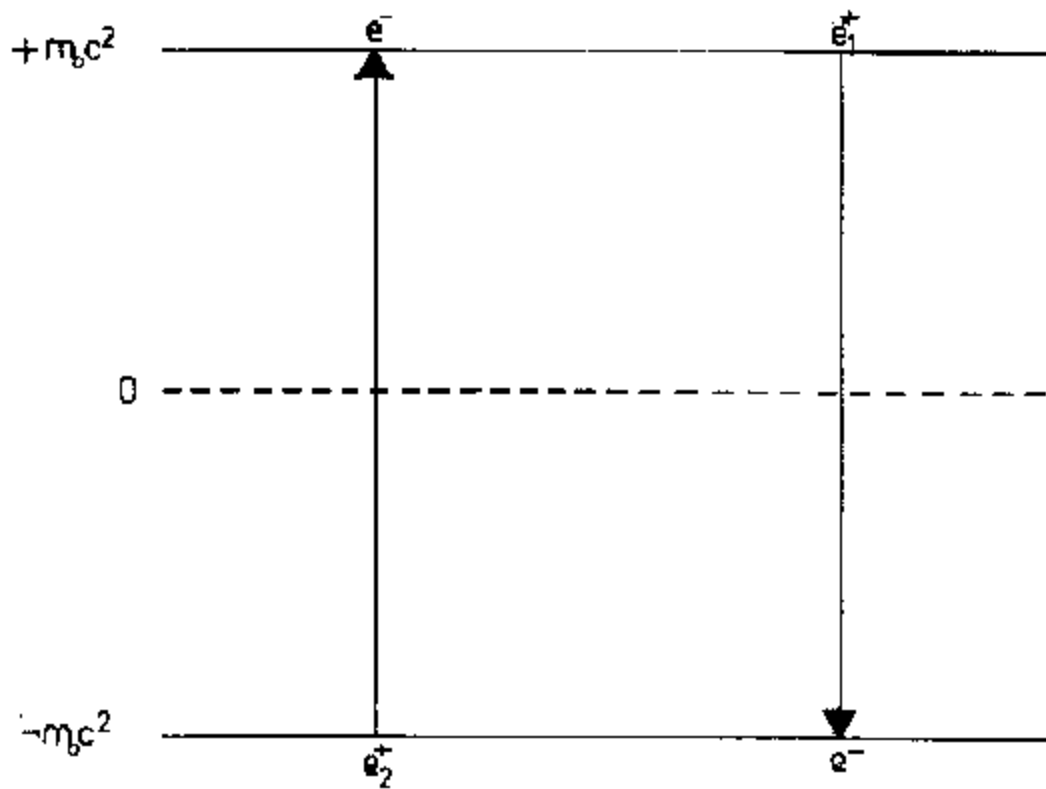


FIGURA 3-1

La transición de electrón a antielectrón y de antielectrón a electrón se lleva a cabo en forma simultánea. Cuando el fotón gamma esta interactuando con el anti electrón en ese preciso momento el antifotón debe estar interactuando con el electrón.

Hasta ahora se ha explicado la producción de electrón-positrón pero ¿qué sucede en la producción de todas las demás partículas atómicas con sus correspondientes antipartículas?

Al parecer el núcleo también esta determinado por ciertos niveles de energía, bueno la existencia de niveles de energía la predice la ecuación de Schrodinger para cualquier colectividad de partículas nucleares además la fuerza nuclear tiene un radio de acción limitado tanto un límite superior como inferior. La fuerza nuclear actúa en un radio muy reducido del orden de  $10^{-13}$ cm. Esta fuerza nuclear disminuye hacia dentro del protón o neutrón hasta que se anula cerca a la superficie de la partícula nuclear, si la fuerza nuclear no tuviese un límite inferior entonces las partículas nucleares se fundirían en una sola perdiendo así sus propiedades individuales pues la fuerza nuclear es muy intensa (La región de la energía producida por la fuerza nuclear





za nuclear se extiende desde decenas hasta millares de electronvoltios). Entonces las partículas atómicas no están tocándose por lo tanto existen espacios vacíos entre ellas y estos determinan a su vez niveles de energía bien determinados, para cada una de las partículas según el principio de exclusión de Pauli.

Cuando una partícula nuclear cambia de estado energético de un nivel energético a otro menos energético, entonces se produce una radiación gamma. Estos saltos de niveles de energía deben ser similares a los de los electrones, pues la energía está cuantificada.

Es de esperar que los espacios vacíos entre las partículas nucleares estén ocupados en verdad por antiprotones y antineutrones los cuales son excitados por rayos gamma de longitudes de onda de por lo menos de  $10^{-16}m$  por que estos rayos poseen la energía necesaria para excitar un antiprotón o un protón de forma similar como ocurre con los electrones.

Al parecer el átomo se encuentra dividido en sectores de espacio-tiempo positivo y espacio-tiempo negativo, y por supuesto cada uno de ellos alberga materia y antimateria respectivamente, mientras la antimateria per

manezca en un espacio-tiempo negativo será ignorado por la materia y viceversa.

En conclusión donde se encuentra materia indudablemente se encuentra antimateria, la antimateria no hay que buscarla en lugares distantes en el universo pues ésta está unida íntimamente en cada átomo del universo, bueno y entonces ¿Qué pasa en el vacío?. El vacío contiene tanto espacios-tiempos positivos como espacios-tiempos negativos con la diferencia de que no existe materia ni antimateria en él. Así que el movimiento de los cuerpos en el universo se debe efectuar en forma discreta. Esto es, si un cuerpo en movimiento se dirige a cierto lugar, éste llegará sin lugar a dudas a su destino pero ¿Cómo llega?. Si el espacio-tiempo está intercalado sucesivamente de espacio-tiempo positivo y negativo entonces el cuerpo se desplazará en pequeñísimos saltos hasta llegar a su destino, estos saltos son imperceptibles, ya que son sumamente pequeños, mucho más pequeños que las dimensiones de un átomo. Si esto es así, entonces se puede concluir que el espacio-tiempo se encuentra cuantificado, o sea, se encuentra dividido en pequeñísimas porciones.

Bueno hasta ahora se ha venido tocando cuestiones pro

híbridas por la física como son la negatividad de las unidades fundamentales de la física pero, ¿Hasta donde pueden ser imposibles?. El principio de entropía niega la existencia del tiempo negativo y el sentido común aparta del pensamiento los conceptos de masa y espacio negativos. Tal vez ya es tiempo de apartar ciertos obstáculos impuestos por el sentido común y empezar a estudiar el universo de una forma más real.

## 4. GEOMETRIZACION DEL ESPACIO

### 4.1 INTRODUCCION

Como se vió en el capítulo tercero, la existencia de antimateria, conlleva a la existencia de espacios negativos, los cuales quedaron por fuera de todo estudio físico por haber sido omitida la parte negativa de los resultados de la teoría de la relatividad, por ser considerada como un resultado ficticio.

El propósito del presente capítulo, es por lo tanto, involucrar y formular la negatividad del espacio en el contexto de la relatividad especial.

### 4.2 GEOMETRIZACION

La ecuación que relaciona la variación de la longitud de un objeto respecto a su velocidad está dada por:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 4-1$$

Donde  $l$  , es la longitud del objeto en cualquier momento.  $l_0$  la longitud inicial del móvil,  $v$  , la velocidad del objeto y  $C$  , la velocidad de la luz en el vacío, en el espacio de referencia.

Como se puede observar, la Relatividad Especial no involucra el signo negativo del radical, ya que si se toma en cuenta, entonces la ecuación sería:

$$l = \pm l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 4-2$$

Y al graficar la última ecuación con abscisa, la longitud  $l$  , y ordenada la velocidad  $v$  , se obtiene una elipse cuyo semieje mayor está determinado por la longitud inicial (la cual se puede considerar como una constante para un marco de referencia en particular) y el semieje menor por la velocidad de la luz  $C$  , que de hecho es una constante. Las variables vendrían siendo la longitud del cuerpo en cualquier momento  $l$  , y la velocidad del móvil  $v$  .

En efecto conociendo los semiejes de una elipse, se puede calcular fácilmente los focos, los cuales vie

nen siendo:

$$h = \pm \sqrt{l_0^2 - c^2} \quad 4-3$$

Ahora conociendo los focos y los semiejes, se puede proceder a calcular su ecuación canónica como sigue:

$$\sqrt{(l+h)^2 + v^2} + \sqrt{(l-h)^2 + v^2} = 2l_0 \quad 4-4$$

Trasladando el segundo radical al otro lado de la igualdad y elevando al cuadrado, además reuniendo términos semejantes se obtiene:

$$l_0^2 - lh = l_0 \sqrt{(l-h)^2 + v^2} \quad 4-5$$

Elevando nuevamente al cuadrado se obtiene:

$$l_0^4 + l^2 h^2 - 2l_0^2 l - l_0^2 h^2 - l_0^2 v^2 = 0 \quad 4-6$$

Reemplazando a  $h$  por su valor se llega a:

$$-l^2 c^2 + l_0^2 c^2 - l_0^2 v^2 = 0 \quad 4-7$$

Dividiendo la ecuación por  $l_0^2 \frac{v^2}{c^2}$  , se obtiene: 57

$$\frac{l^2}{l_0^2} + \frac{v^2}{c^2} = 1 \quad 4-8$$

(ECUACION CANONICA)

Despejando  $l$  , se tiene:

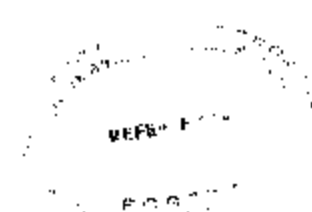
$$l = \pm l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 4-9$$

Que es precisamente la ecuación de la variación de la longitud relativista, con la diferencia de que esta vez se dedujo de un análisis puramente geométrico en donde se tiene en cuenta la parte negativa del espacio como se puede ver en la figura. (Véase figura 4-1); de esta manera queda verificada la ecuación 4-2.

#### 4.3 ANALISIS GEOMETRICO DE LA ELIPSE ESPACIAL

Para someter a un análisis geométrico la elipse espacial, es conveniente cambiar la ecuación 4-8 a su forma canónica o sea:

$$\frac{l^2}{l_0^2} + \frac{v^2}{c^2} = 1$$



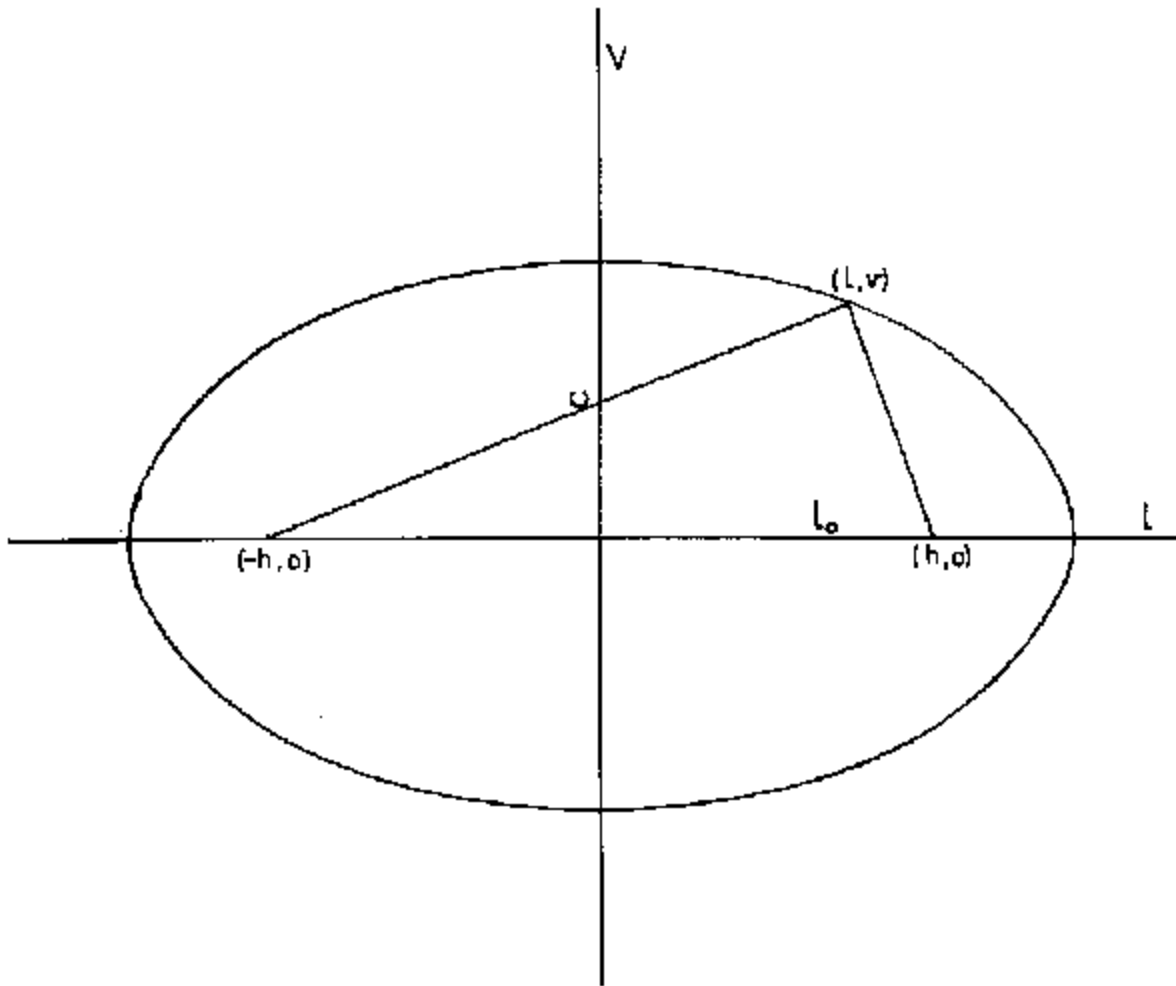


FIGURA 4-1



De ahora en adelante se adoptaran dos convenios: el<sup>59</sup> primero se refiere a que la velocidad  $v$ , se trabajará en porcentajes de la velocidad de la luz en el vacío, y el segundo convenio se refiere a que cualquier tipo de operación que se realice entre las diferentes magnitudes se lleve a cabo, sin tener en cuenta sus unidades, es decir que la operación sea a nivel únicamente de escala; por ejemplo si la operación es una diferencia entre las magnitudes de la longitud  $l_0$ , y la velocidad de la luz  $c$ , la operación se puede hacer si es teniendo en cuenta solamente su escala y el resultado, por consiguiente viene siendo un número real.

#### Los Focos

El foco que corresponde a la elipse espacial como se dedujo anteriormente es:

$$h = \pm \sqrt{l_0^2 - c^2} \quad 4-10$$

Se puede observar que la cantidad del radical debe ser mayor ó igual a cero, por lo tanto,

$$l_0^2 - c^2 \geq 0 \quad 4-11$$

de donde

$$l_0 \cong c \quad 4-12$$

Pero este resultado lleva de inmediato a serias contradicciones, pues la escala longitud inicial  $l_0$ , no puede ser igual a la escala velocidad de la luz, porque si la escala longitud inicial  $l_0$ , llegase a ser menor que la escala velocidad de la luz, entonces su ecuación se transformaría en:

$$\frac{l^2}{c^2} - \frac{v^2}{l_0^2} = 1 \quad 4-13$$

con focos 
$$h = \pm \sqrt{c^2 - l_0^2}$$
 4-14

de donde

$$c > l_0 \quad 4-15$$

y por lo tanto los focos de la elipse cambiarían así: de estar sobre el eje de las abcisas a estar sobre

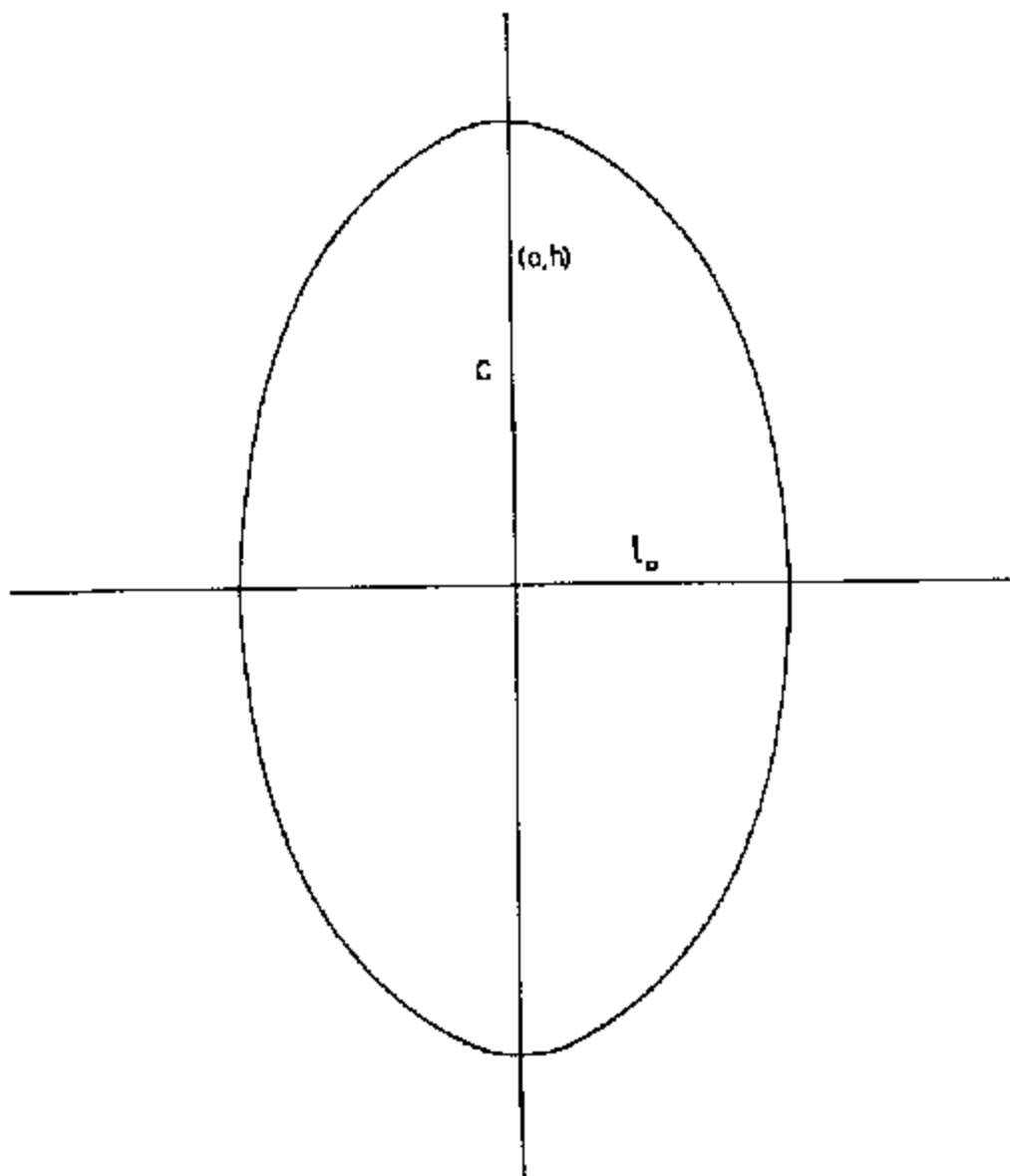


FIGURA 4-2

el eje de las ordenadas; es decir ahora la elipse tiene el eje mayor  $l_0$ , sobre la ordenada y el eje menor  $c$ , sobre las abscisas. De acuerdo con esta transformación, la ecuación para el cálculo de la contracción de la longitud sería:

$$l = c \sqrt{1 - \frac{v^2}{l_0^2}} \quad 4-16$$

La cual difiere de la ecuación de la relatividad especial.

Ahora si se analiza el caso en el que la escala longitudinal inicial  $l_0$ , se haga tan grande como se quiera, se va a encontrar también que existe una restricción (Véase figura 4-3)

Para el cálculo de los dos ángulos  $d$  y  $\theta$  del triángulo rectángulo  $(0, c)$ ,  $(0, 0)$ ,  $(l_0, 0)$  (Véase figura 4-3), se procede por medio de la función trigonométrica tangente:

$$\tan d = \frac{c}{l_0} \quad 4-17$$

$$\tan \theta = \frac{l_0}{c} \quad 4-18$$

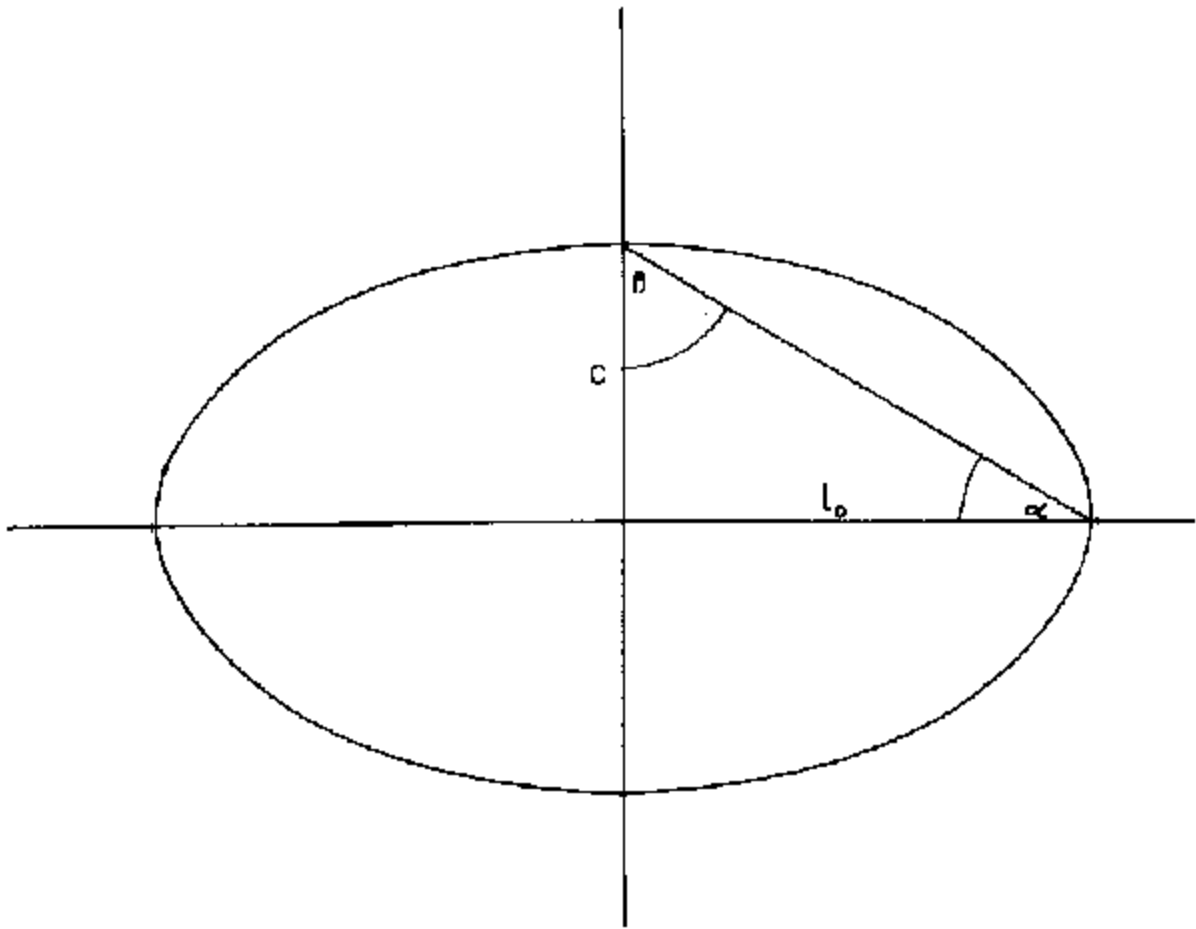


FIGURA 4-3

Calculando sus límites cuando la longitud inicial  
tiende a infinito se obtiene que:

$$\lim_{\delta \rightarrow \infty} \tan \delta = \lim_{\delta \rightarrow \infty} \frac{c}{l_0} \Rightarrow \tan \delta = 0 \quad 4-19$$

La solución para esta ecuación es cuando:

$$\delta = n\pi \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Pero como se trata de un triángulo la solución es  
cuando  $n = 0$  , por lo tanto,

$$\delta = 0^\circ$$

Para el cálculo del ángulo  $\beta$  , se procede de forma  
análoga o sea:

$$\lim_{l_0 \rightarrow \infty} \tan \beta = \lim_{l_0 \rightarrow \infty} \frac{c}{l_0} \Rightarrow \tan \beta = \infty \quad 4-20$$

La solución para esta ecuación es cuando

$$\beta = \frac{n\pi}{2} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

por la misma razón anterior, la única solución es cuando:  $\beta = 90^\circ$

Pero no es posible que un triángulo posea dos ángulos cuya suma sea igual a 180 grados, por tanto los cálculos anteriores demuestran que la longitud inicial no puede hacerse tan grande como se quiera, por que la elipse espacial se deformaría a tal punto que todas sus propiedades se pierden.

Las limitaciones o restricciones anteriormente expuestas, se deben exclusivamente a la constancia de la velocidad de la luz resulta demasiado grande para espacios demasiado grandes, la velocidad de la luz resulta demasiado pequeña.

El lado Recto

El lado recto de la elipse espacial se presenta cuando la variable  $l$  toma el valor del foco

$$h = \pm \sqrt{l_0^2 - c^2} \quad 4-21$$

reemplazando este valor en la ecuación canónica (4-5), se obtiene:

$$\frac{l_0^2 - c^2}{l_0^2} + \frac{v^2}{c^2} = 1 \quad 4-22$$

$$v = \frac{c^2}{l_0} \quad 4-23$$

Pero esta última ecuación se refiere únicamente a la distancia entre los puntos  $(h, 0)$  y  $(h, v)$ , por lo tanto la longitud del lado recto viene siendo

$$l_R = \frac{2c^2}{l_0} \quad 4-24$$

#### 4.4 LA EXCENTRICIDAD

La excentricidad de la elipse espacial viene dada por el cociente:

$$e = \sqrt{\frac{l_0^2 - c^2}{l_0^2}} \quad 4-25$$

$$e = \sqrt{1 - \frac{c^2}{l_0^2}} \quad 4-26$$



Pero la excentricidad de una elipse siempre es menor que la unidad, se obtiene que:

$$\sqrt{1 - \frac{c^2}{l_0^2}} < 1 \quad 4-27$$

Lo cual se cumple siempre pues como se vió anteriormente la escala de la velocidad de la luz  $c$ , es siempre menor o igual que la escala de la longitud inicial  $l_0$ , y en consecuencia la última desigualdad se verifica para todo caso.

Hasta ahora se ha supuesto, que la elipse del espacio se encuentra determinada con semieje mayor  $l_0$ , y semieje menor  $c$ , pero no hay por ahora ningún impedimento para que sus semiejes sean intercambiados. Para tal caso, los focos vendrían siendo:

$$h = \pm \sqrt{c^2 - l_0^2} \quad 4-28$$

En tal caso desaparecería la restricción de que la longitud inicial sea tan pequeña como se desee y de otro lado aparece la restricción:

$$c > l_0 \quad 4-29$$

La ecuación canónica se obtiene de forma similar a la anterior y esta es:

$$\frac{v^2}{c^2} + \frac{l^2}{l_0^2} = 1 \quad 4-30$$

La excentricidad viene dada por la ecuación

$$e = \frac{\sqrt{c^2 - l_0^2}}{c} \quad 4-31$$

y el lado recto por la ecuación

$$v = \sqrt{2c^2 - \frac{c^4}{l_0^2}} \quad 4-32$$

## 5. GEOMETRIZACION DEL TIEMPO

### 5.1 INTRODUCCION

Para que el tiempo como en el caso del espacio, la Relatividad Especial da también un tratamiento exclusivamente positivo, por ser considerado el tiempo negativo como una solución ficticia. En el capítulo tercero, se discutió sobre el tiempo negativo y se llegó a la conclusión de que la antimateria trae consigo la negatividad del tiempo.

Es pues el objetivo de este capítulo, involucrar y formular la negatividad del tiempo en la Relatividad Especial.

### 5.2 GEOMETRIZACION

La ecuación que relaciona la variación del tiempo con respecto a la velocidad está dada por:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 5-1$$

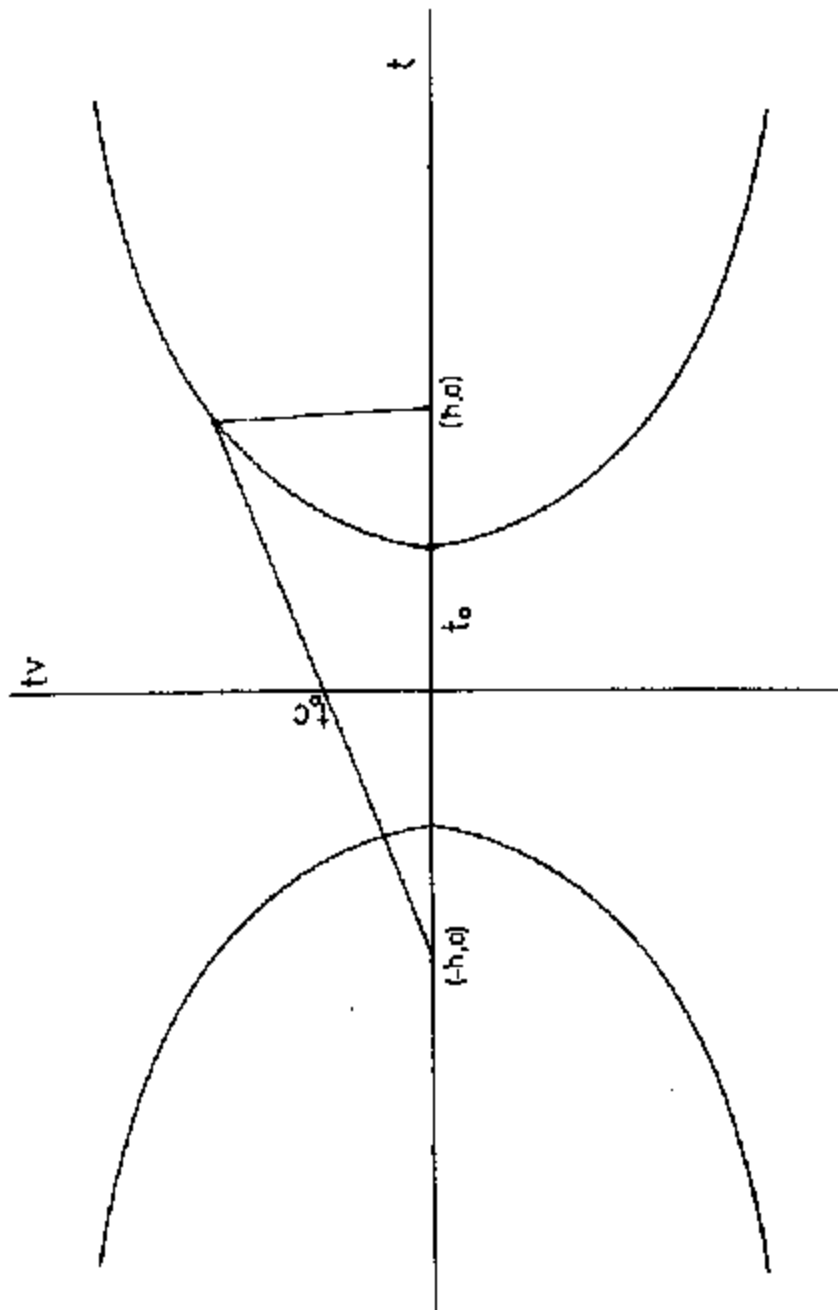


FIGURA 5-1

En donde  $t_0$  es el tiempo propio,  $t$  es el tiempo medido,  $v$  la velocidad del móvil y  $c$  la velocidad de la luz en el vacío.

Si se toma en cuenta ahora como algo que puede presentar realmente, entonces basta tomar en cuenta el signo negativo del radical de la ecuación 5-1, o sea,

$$t = \pm \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 5-2$$

Graficando esta última ecuación, en un plano cartesiano con abscisas, el tiempo  $t$  y ordenada el producto de el tiempo  $t$  por la velocidad del móvil  $v$ , se obtiene una hipérbola cuyo eje transversal está determinado por el tiempo propio  $t_0$ , el cual se puede considerar como constante en un marco de referencia dado, y el eje conjugado, por el producto del tiempo propio  $t_0$  y la velocidad de la luz  $c$  el cual también se puede considerar constante, por que la velocidad de la luz es en sí una constante y el tiempo propio  $t_0$  por la razón anterior.

Ahora conociendo el eje transversal  $t_0$  y el eje conju

gado  $t_0$ ,  $c$  de una hipérbola se puede calcular fácilmente los focos:

$$h = \pm \sqrt{t_0^2 + t_0^2 c^2} \quad 5-3$$

o sea,

$$h = \pm t_0 \sqrt{1 + c^2} \quad 5-4$$

conociendo los focos y los ejes transversos y conjugado se puede proceder a calcular su ecuación canónica:

$$\sqrt{(t+h)^2 + t^2 v^2} - \sqrt{(t-h)^2 + t^2 v^2} = 2t_0 \quad 5-5$$

trasladando el segundo radical al otro lado de la igualdad, elevando al cuadrado y reuniendo términos semejantes se tiene:

$$-th - t_0^2 = t_0 \sqrt{(t-h)^2 + t^2 v^2} \quad 5-6$$

Elevando nuevamente al cuadrado

$$t^2 h^2 + t_0^4 - t_0^2 t^2 - t_0^2 h^2 - t_0^2 t^2 v^2 = 0 \quad 5-7$$



reemplazando a  $h$  por su valor

$$t^2 t_0^2 c^2 - t_0^2 c^2 - t_0^2 t^2 v^2 = 0 \quad 5-8$$

dividiendo por  $t_0^2 c^2$  se obtiene:

$$\frac{t^2}{t_0^2} - \frac{t^2 v^2}{t_0^2 c^2} = 1 \quad 5-9$$

(ecuación Canónica)

despejando  $t$  de la última ecuación se obtiene finalmente:

$$t = \pm t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 5-10$$

que viene siendo la misma ecuación de la Relatividad Especial, que mide la variación del tiempo con la diferencia que esta vez se ha obtenido de un proceso puramente geométrico, en donde se tiene en cuenta la parte negativa del tiempo como se puede ver en la figura. (Véase figura 5-1)

### 5.3 ANALISIS GEOMETRICO DE LA HIPERBOLA TEMPORAL

Para facilitar el análisis de la hipérbola temporal,

es conveniente llevar la ecuación 5-2 a la forma canónica:

$$\frac{t^2}{t_0^2} - \frac{t^2 v^2}{t_0^2 c^2} = 1 \quad 5-11$$

Los focos

Los focos son los que se dedujeron anteriormente en la ecuación 5-3

$$h = \pm t_0 \sqrt{1 + c^2} \quad 5-12$$

en cuanto al radical no existe ninguna restricción pues la expresión  $1 + c^2$  es siempre positiva y por lo tanto  $t_0$ , puede ser

$$t_0 \geq 0 \quad \cdot \quad t_0 \leq 0 \quad 5-13$$

Las asíntotas

Para el análisis de asíntotas es preciso hacer un estudio detallado del rectángulo fundamental. (Véase figura 5-2).



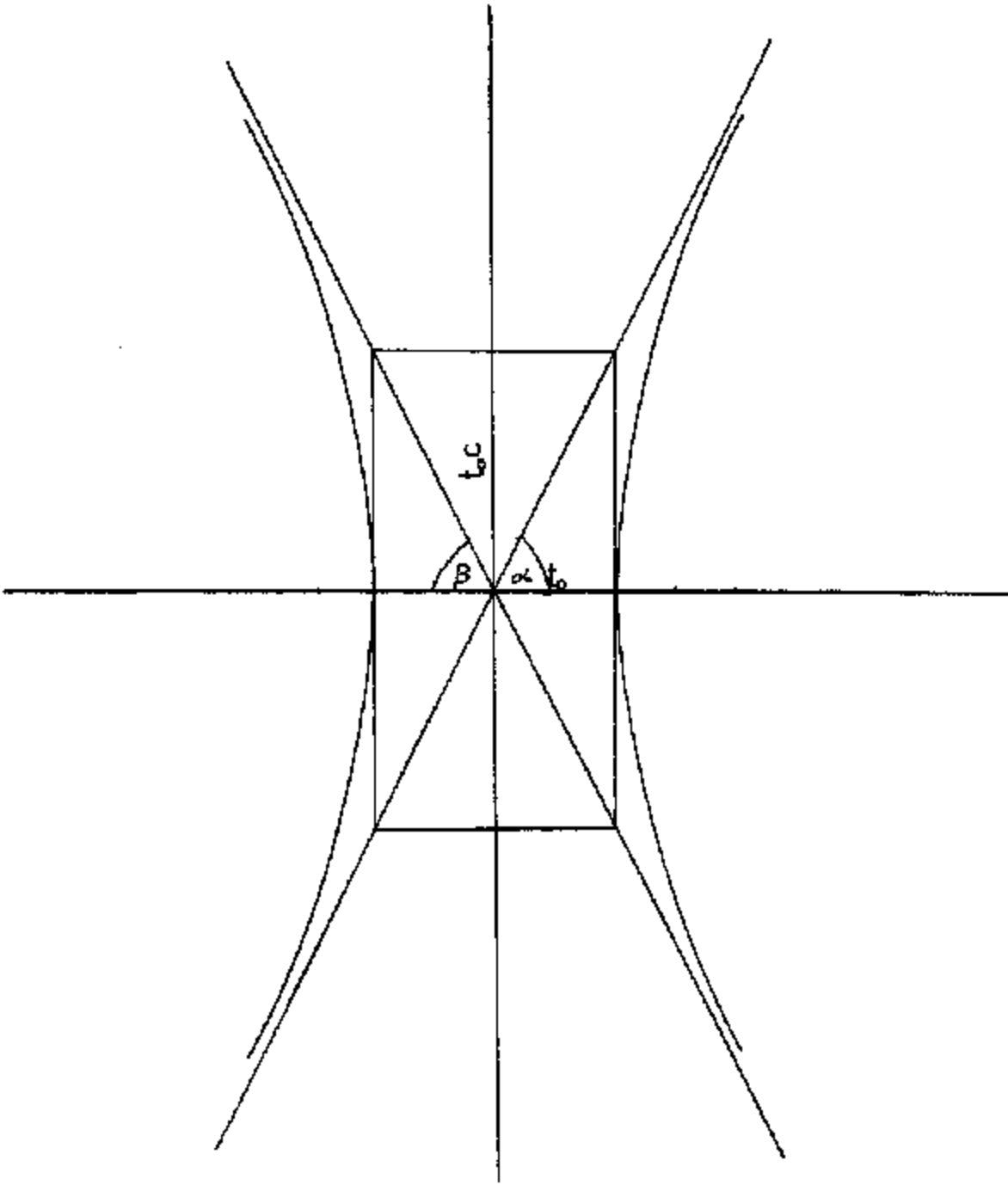


FIGURA 5-2

Es fácil observar que el tiempo propio  $t_0$  interviene en ambos semiejes, por lo tanto, si el eje transversal  $t_0$  crece o decrece, el eje conjugado  $t_0 c$  lo hará en la misma proporción y por tanto todos los posibles rectángulos serán semejantes y sus diagonales coincidirán. Como es sabido las diagonales del rectángulo fundamental son las que determinan las asíntotas de la hipérbola, entonces si todos los rectángulos fundamentales posibles son semejantes, todas las posibles asíntotas tendrán la misma pendiente, es decir, van a coincidir. En conclusión para cualquier valor que se elija para el tiempo propio  $t_0$  existen únicamente dos posibles asíntotas, y si esto es así, se pueda proceder a el cálculo de sus pendiente.

Las asíntotas de la hipérbola temporal se puede obtener despejando el producto  $t v$  de la forma canónica.

$$\frac{t^2}{t_0^2} - \frac{t^2 v^2}{t_0^2 c^2} = 1 \quad 5-14$$

o sea

$$t v = \pm \frac{t_0 c t}{t_0} \sqrt{t^2 - t_0^2} \quad 5-15$$

$$t v = \pm c t \sqrt{1 - \frac{t_0^2}{t^2}} \quad 5-16$$

Ahora si se desea investigar en la última ecuación qué ocurre cuando aumenta  $t$  numéricamente sin límite, es claro que si un punto de la hipérbola se mueve a lo largo de la curva de manera que su abscisa  $t$  aumenta numéricamente sin límite, el radical del segundo miembro, se aproxima más a la unidad y la ecuación tiende a la forma

$$tv = \pm ct \quad 5-17$$

y de esta manera se obtienen las dos asíntotas.

Las pendientes de las dos asíntotas vienen siendo  $-c$  y  $+c$  con lo cual se puede calcular los ángulos que forman con las abscisas, las cuales son:

$$\alpha = \tan^{-1} (c) \quad 5-18$$

$$\alpha = \tan^{-1} (-c) \quad 5-19$$

Pero según el convenio, el valor de  $\alpha$  en la escala

tiene el valor de 1, por lo tanto:

$$\alpha = \tan^{-1}(1) \quad \text{y} \quad \beta = \tan^{-1}(1) \quad 5-20$$

de donde

$$\alpha = 45^{\circ} \quad \text{y} \quad \beta = 135^{\circ}$$

por lo tanto el ángulo formado entre las dos asíntotas es de 90 grados.

El lado recto

El lado recto en la hipérbola temporal se presenta en las abscisas la variable  $t$  toma el valor del foco:

$$t = \pm t_0 \sqrt{1 + c^2} \quad 5-21$$

entonces reemplazando este valor en la ecuación canónica se obtiene:

$$\frac{t_0^2(1+c^2)}{t_0^2} - \frac{t^2 v^2}{t_0^2 c^2} = 1 \quad 5-22$$

Obsérvese que no se reemplaza el tiempo  $t$  en el

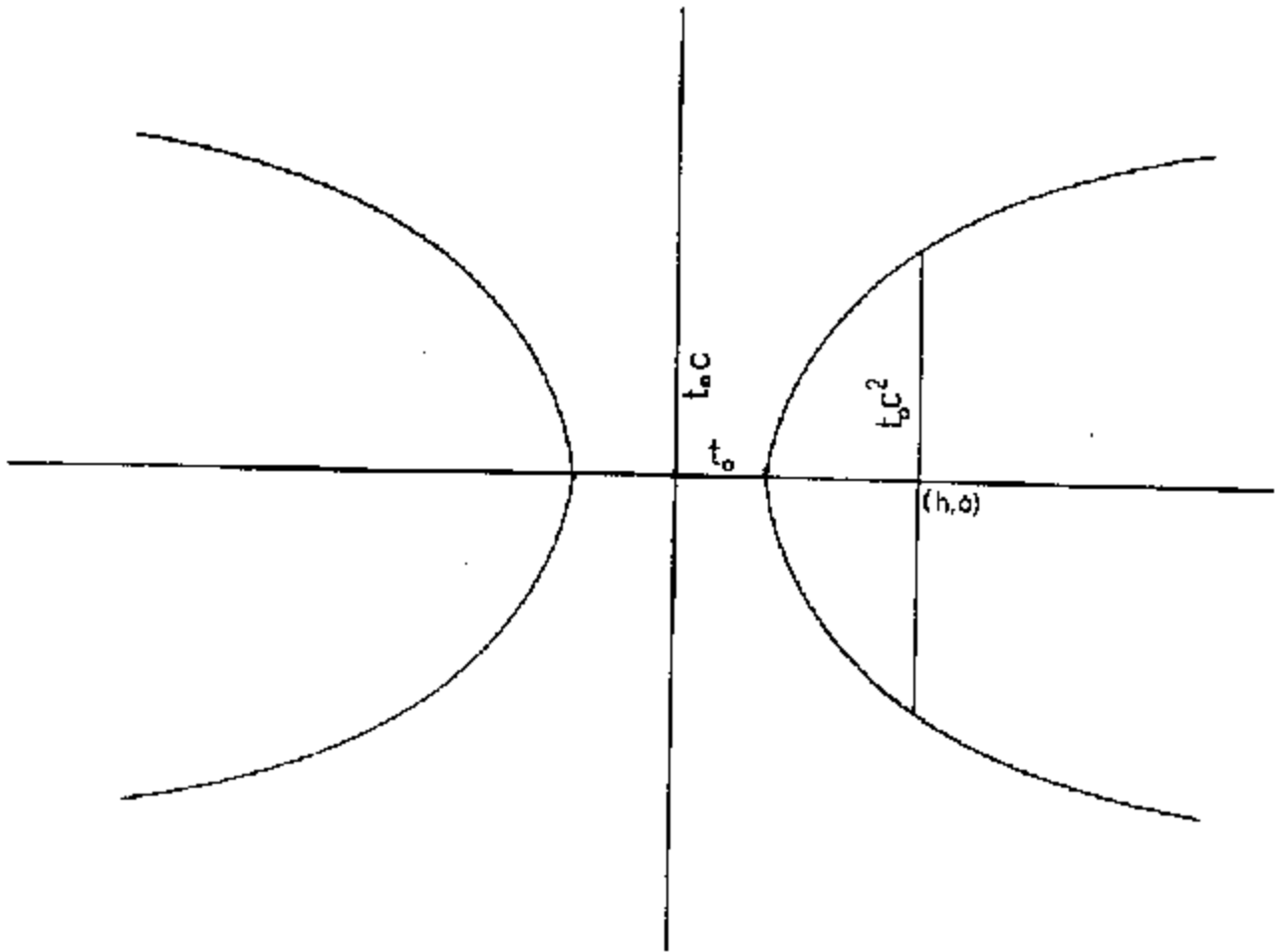


FIGURA 5-3

producto  $t v$  porque este producto representa la ordenada que es la que se va a calcular cuando la abscisa  $t$  alcanza el valor del foco, entonces:

$$c^2 = \frac{t^2 v^2}{t_0^2 c^2} \quad 5-23$$

5-24

$$t^2 v^2 = t_0^2 c^2$$

5-25

$$t v = t_0 c^2$$

El valor total del lado recto es

$$l_R = 2 t_0 c^2 \quad 5-26$$

#### 5.4 LA EXCENTRICIDAD

La excentricidad de la hipérbola temporal viene dada por

$$e = \frac{\sqrt{(t_0^2 + t_0^2 c^2)}}{t_0} \quad 5-27$$

$$e = \sqrt{1 + c^2} \quad 5-28$$

Como la excentricidad en una hipérbola siempre es mayor que la unidad entonces se obtiene que:

$$\sqrt{1 + c^2} > 1 \quad 5-29$$

lo cual se verifica siempre.

## 6. GEOMETRIZACION DE LA MASA

### 6.1 INTRODUCCION

A diferencia del antiespacio y el antitiempo, la antimateria, ha sido detectada y estudiada en infinidad de experimento. Es pues así que en definitiva la antimateria pasa a formar parte de un mundo tan real como el de la materia.

De esta manera es conveniente involucrar entonces la antimateria dentro del contexto de la relatividad especial.

### 6.2 GEOMETRIZACION

La ecuación que relaciona la variación de la masa respecto a la velocidad viene dada por:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 6-1$$



En donde  $m$  es la masa inicial ( $m_0$ ), la masa en cualquier instante de la trayectoria, la velocidad  $v$  y  $c$  la velocidad de la luz en el vacío.

La relatividad especial descarta en la ecuación 5-1 la posibilidad de la masa negativa, pero como es bien sabido la antimateria posee una masa negativa, entonces para involucrar el concepto de negatividad de la masa, basta transformar la ecuación 5-1 en:

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 5-2$$

Efectuando un estudio gráfico y analítico de la ecuación 5-2, se obtiene como resultado una hipérbola con centro en el origen de un sistema de coordenadas cuya abscisa está determinada por la masa  $m$  y la ordenada por el producto  $m v$ . El eje transverso de la hipérbola, está dado por la masa inicial  $m_0$ , la cual es considerada como constante en un marco de referencia determinado y el eje conjugado por el producto  $m_0 c$  que es de por sí otra constante.

Conociendo el eje transverso  $m_0$  y el eje conjugado  $m_0 c$  de un hipérbola se puede calcular fácilmente

te los focos:

$$h = \pm \sqrt{m_0^2 + m_0^2 c^2} \quad 6-3$$

o sea,

$$h = \pm m_0 \sqrt{1 + c^2} \quad 6-4$$

ahora conociendo los focos y los ejes transversos y conjugados, se puede proceder a calcular su ecuación canónica,

$$\sqrt{(m+h)^2 + m^2 v^2} - \sqrt{(m-h)^2 + m^2 v^2} = 2m_0 \quad 6-5$$

trasladando el segundo radical al otro lado de la igualdad; elevando al cuadrado y reuniendo términos semejantes se tiene:

$$m h - m_0^2 = m_0 \sqrt{(m-h)^2 + m^2 v^2} \quad 6-6$$

Elevando nuevamente al cuadrado

$$m^2 h^2 + m_0^4 - m_0^2 m^2 - m_0^2 h^2 - m_0^2 v^2 m^2 = 0 \quad 6-7$$

reemplazando a  $h$  por su valor, se tiene

$$m^2 m_0^2 c^2 - m_0^4 c^2 - m_0^2 m^2 v^2 = 0 \quad 6-8$$

dividiendo por  $m_0^2 c^2$ , se obtiene:

$$\frac{m^2}{m_0} - \frac{m^2 v^2}{m_0 c^2} = 1 \quad 6-9$$

(ecuación canónica)

Despejando  $m$  de la última ecuación se obtiene finalmente:

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 6-10$$

que es la misma ecuación de la Relatividad Especial, que mide la variación de la masa con la diferencia que esta vez se ha obtenido de un proceso puramente geométrico en donde se tiene en cuenta la parte negativa del tiempo como se puede observar en la figura. (Véase figura 6-1).

### 6-3 ANALISIS GEOMETRICO DE LA HIPERBOLA DE LA MASA

Para realizar un análisis de la hipérbola es conve

niente llevar la ecuación 6-2 a la forma canónica: 67

$$\frac{m^2}{m_0^2} - \frac{m^2 v^2}{m_0^2 c^2} = 1 \quad 6-11$$

Los focos

Como se dedujo anteriormente los focos están dados por la ecuación:

$$n = \pm m_0 \sqrt{1 + c^2} \quad 61-2$$

En cuanto al radical no existe ninguna restricción, pues la expresión  $1 + c^2$  es siempre positiva y por tanto no puede ser

$$m_0 \geq 0 \quad m_0 \leq 0 \quad 6-13$$

Las Asíntotas

Como en el caso del tiempo, para llevar un análisis de asíntotas, es conveniente centrar la atención en el rectángulo fundamental (Véase figura 6-2).

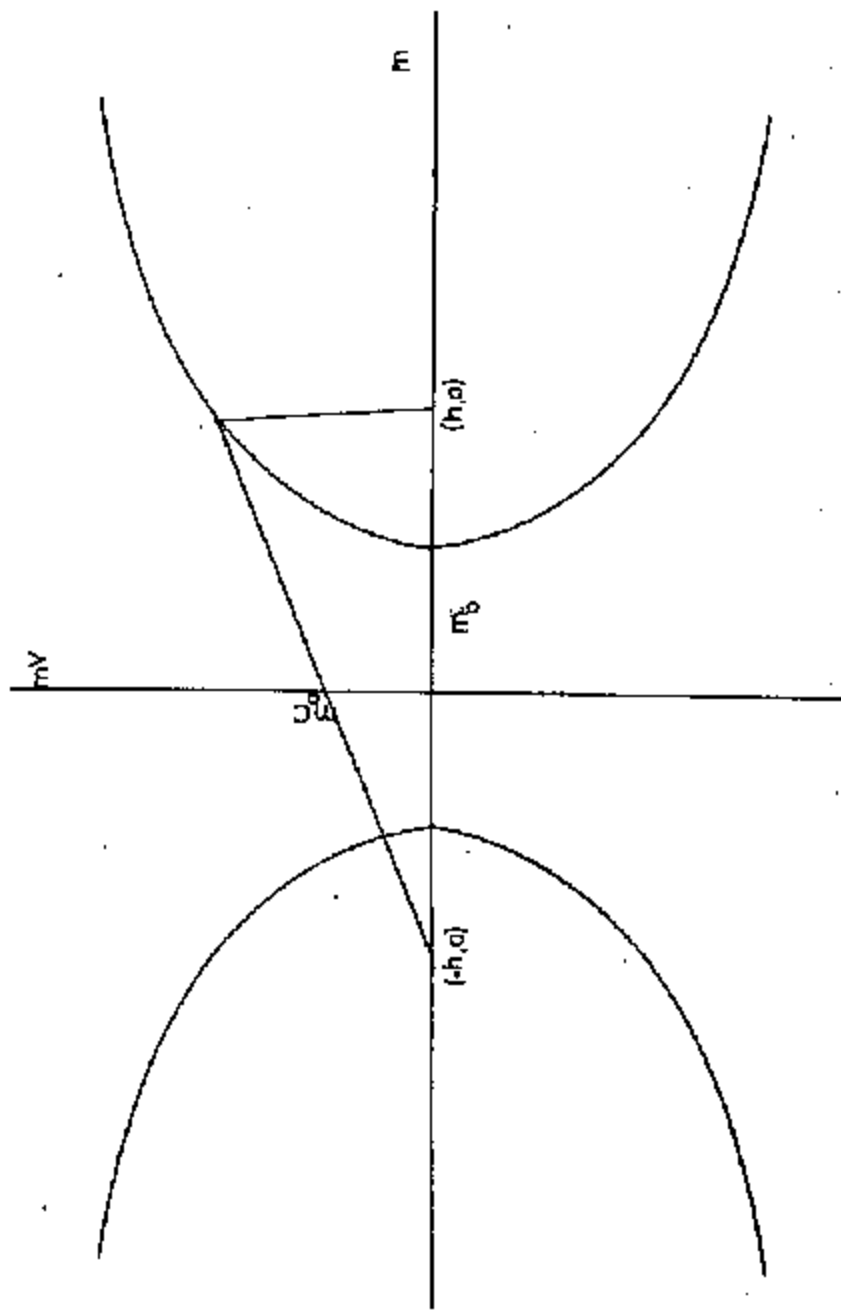


FIGURA 6.1

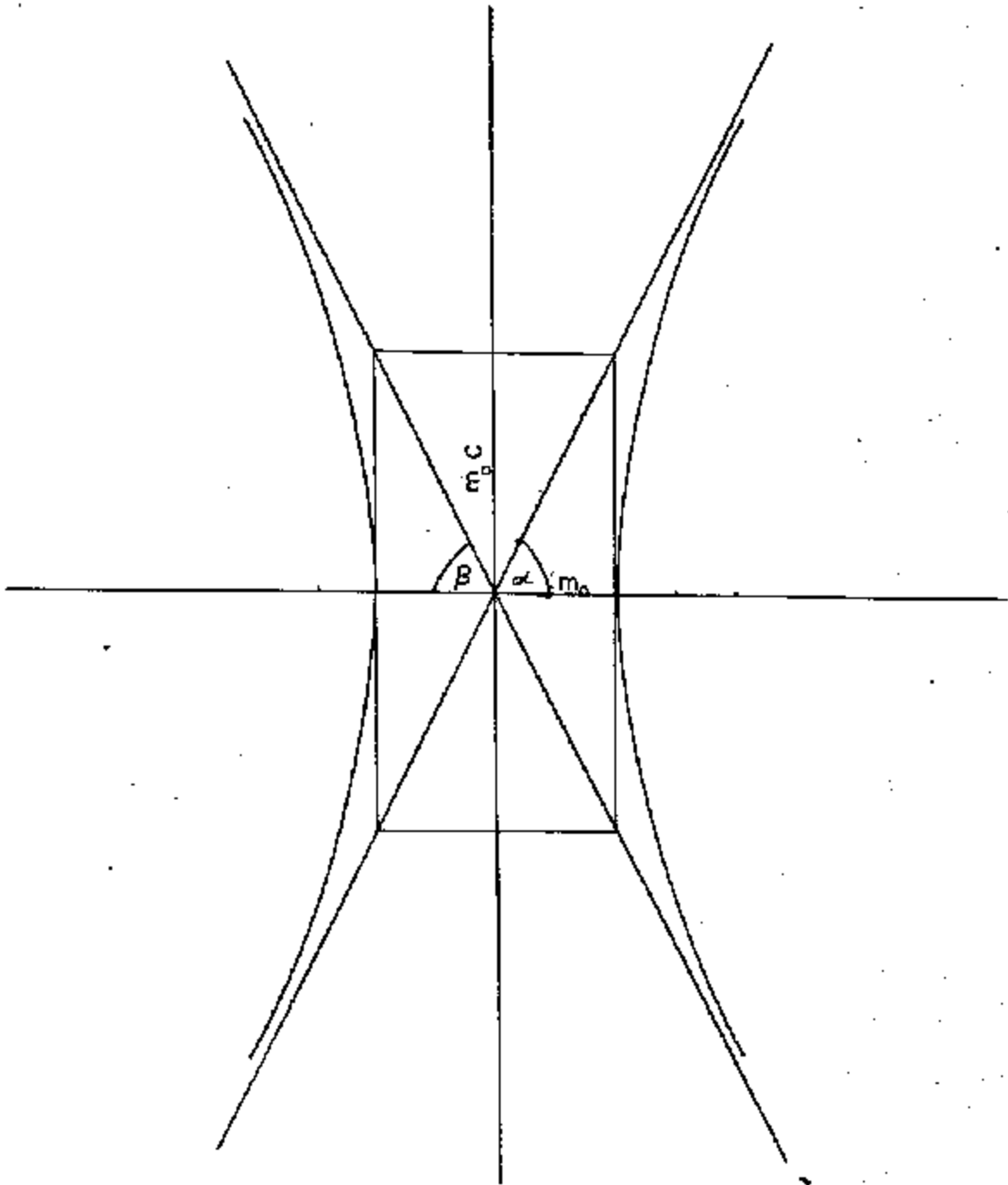


FIGURA 6:2

Se puede observar que la masa inicial  $m_0$  interviene en ambos semiejes, por lo tanto, si el semieje transversal  $m_0$  crece o decrece, el semieje conjugado  $m_0 c$  lo hará en la misma proporción y por lo tanto todos los posibles rectángulos serán semejantes y sus diagonales coincidirán. Es bien sabido que las diagonales del rectángulo fundamental son las que determinan las asíntotas de una hipérbola, entonces si todos son semejantes, todas las posibles asíntotas tendrán la misma pendiente o sea van a coincidir.

Como resultado, para cualquier valor que se elija para la masa inicial  $m_0$  existen únicamente dos posibles asíntotas y si esto es así, se pueda proceder al cálculo de sus pendientes.

Las asíntotas de la hipérbola de la masa, se pueden calcular despejando el producto  $m v$  de la forma canónica

$$\frac{m^2}{m_0^2} - \frac{m^2 v^2}{m_0^2 c^2} = 1 \quad 6-14$$

$$m v = \pm \frac{m_0 c m}{m_0} \sqrt{m^2 - m_0^2} \quad 6-15$$

o sea:

$$m v = \pm c m \sqrt{1 - \frac{m_0^2}{m^2}} \quad 6-16$$

Ahora se desea saber en la última ecuación qué ocurre cuando  $m$  aumenta numéricamente sin límite. Es evidente que si un punto de la hipérbola se mueve a lo largo de la curva de manera que su abscisa  $m$  aumenta numéricamente sin límite, el radical del segundo miembro se aproxima más a la unidad y la ecuación toma la forma:

$$m v = \pm m c \quad 6-17$$

y así se obtiene dos asíntotas cuyas pendientes vienen siendo  $c$  y  $-c$ , con lo cual se pueden calcular los ángulos que forman con las abscisas, así:

$$\alpha = \tan^{-1} (c) \quad 6-18$$

$$\beta = \tan^{-1} (-c) \quad 6-19$$



pero según el convenio, el valor de  $C$  en la escala<sup>91</sup>,  
 tiene el valor de 1, por lo tanto:

$$\alpha = \tan^{-1}(1) \qquad \theta = \tan^{-1}(1) \quad 6-20$$

$$\alpha = 40^\circ \qquad \theta = 135^\circ$$

Entonces el ángulo formado entre las asíntotas es de  
 90 grados.

El lado recto

Para calcular el lado recto de la hipérbola de la ma  
 sa se reemplaza el valor del foco

$$m = \pm m_0 \sqrt{1 + c^2} \quad 6-21$$

en la ecuación 6-4

$$\frac{m_0^2(1+c^2)}{m_0^2} - \frac{m^2 v^2}{m_0^2 c^2} = 1 \quad 6-22$$

No se reemplaza el valor de  $m$  en el producto  $m^2 v^2$   
 ya que es la que se va a calcular cuando la abscisa

$m$  alcanza el valor del foco, entonces:

$$1 + c^2 - \frac{m^2 v^2}{m_0^2 c^2} = 1 \quad 6-23$$

$$m^2 v^2 = m_0^2 c^2 \quad 6-24$$

$$m v = m_0 c^2 \quad 6-25$$

Por lo tanto el valor del lado recto es

$$2m_0 c^2 \quad 6-26$$

que es un resultado muy conocido en la relatividad especial, pues corresponde al valor de la energía de un cuerpo en estado de reposo.

#### 6.4 LA EXCENRICIDAD

La excentricidad de la hipérbola de la masa viene dado por la ecuación:

$$e = \frac{\sqrt{(m_0^2 + m_0^2 c^2)}}{m_0} \quad 6-27$$

$$e = \sqrt{1 + c^2} \quad 6-28$$

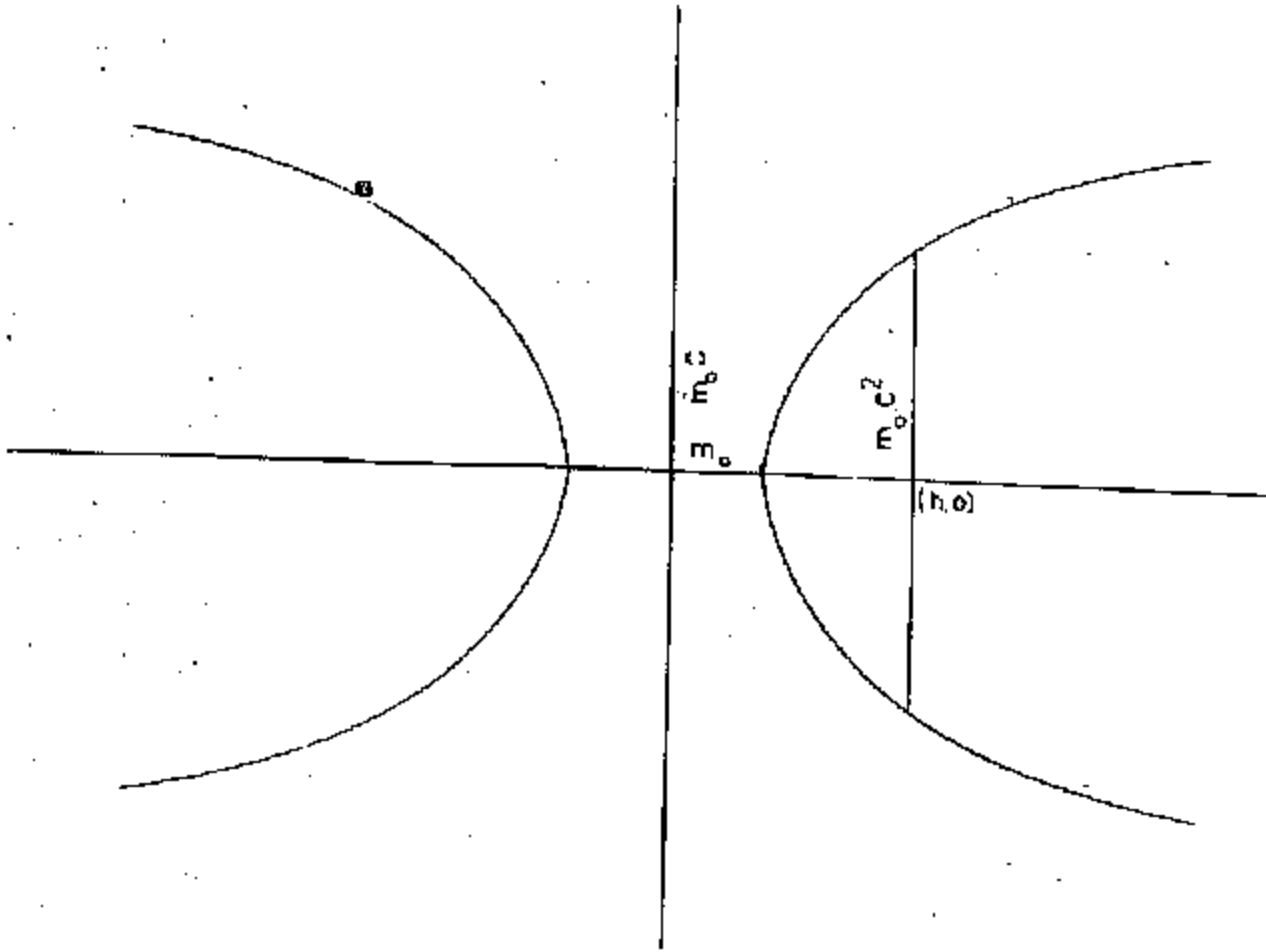


FIGURA 6-3

como la excentricidad de la hipérbola siempre es ma<sup>94</sup>  
yor que la unidad, entonces se obtiene que:

$$\sqrt{1 + c^2} > 1$$

6-29

Lo cual se verifica siempre.

7. RELACIONES GEOMETRICAS ENTRE  
ESPACIO, TIEMPO Y MASA

7.1 RELACION ENTRE ESPACIO, TIEMPO Y MASA EN LA RELATIVI  
DAD ESPECIAL

En la relatividad especial existe una estrecha rela  
ción entre la masa, tiempo y espacio. Para determi  
nar en qué proporciones se encuentran, es necesario  
recordar las ecuaciones de las variaciones de las  
mismas, expuestas anteriormente, así se tiene que:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 7-1$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 7-2$$

despejando de cada una de las ecuaciones anteriores

se obtiene:

$$\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 7-4$$

$$\frac{t_0}{t} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 7-5$$

$$\frac{m_0}{m} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 7-6$$

igualando se obtiene:

$$\frac{l}{l_0} = \frac{t_0}{t} = \frac{m_0}{m} \quad 7-7$$

o sea que las variaciones del espacio, tiempo y masa son equivalentes. Entonces conociendo la relación de la variación de la longitud inicial, se puede saber fácilmente en qué relación se encuentran el tiempo y la masa.

## 7.2 RELACIONES ESPACIO, TIEMPO Y MASA EN LA RELATIVIDAD ESPECIAL AMPLIADA

En capítulos anteriores se ha efectuado una ampliación a la teoría de la relatividad especial, con res

pecto a la antimateria. Los resultados arrojados hasta el momento, han sido concretos, pues la variación del espacio, tiempo y masa se pueden presentar con élipses para el espacio, e hipérbolas para el tiempo y la masa.

La élipse tiene como semieje menor la velocidad de la luz  $C$ , como semieje mayor la longitud inicial  $l_0$ , la hipérbola de la masa tiene como eje transverso la masa inicial  $m_0$  y el eje conjugado el producto  $m_0 C$ ; y la hipérbola del tiempo posee como eje transverso el tiempo propio  $t_0$  y eje conjugado el producto  $t_0 C$ .

Es evidente que bajo las anteriores particularidades el espacio, tiempo y masa, vienen siendo figuras cónicas y pueden constituir cortes en un hipercono, cuyos ejes coordenados son:  $(l, v, m, t)$

dicho hipercono, tendría por ecuación

$$\frac{l^2}{l_0^2} + \frac{v^2}{c^2} = \frac{m^2}{m_0^2} + \frac{t^2}{t_0^2} \quad 7-8$$

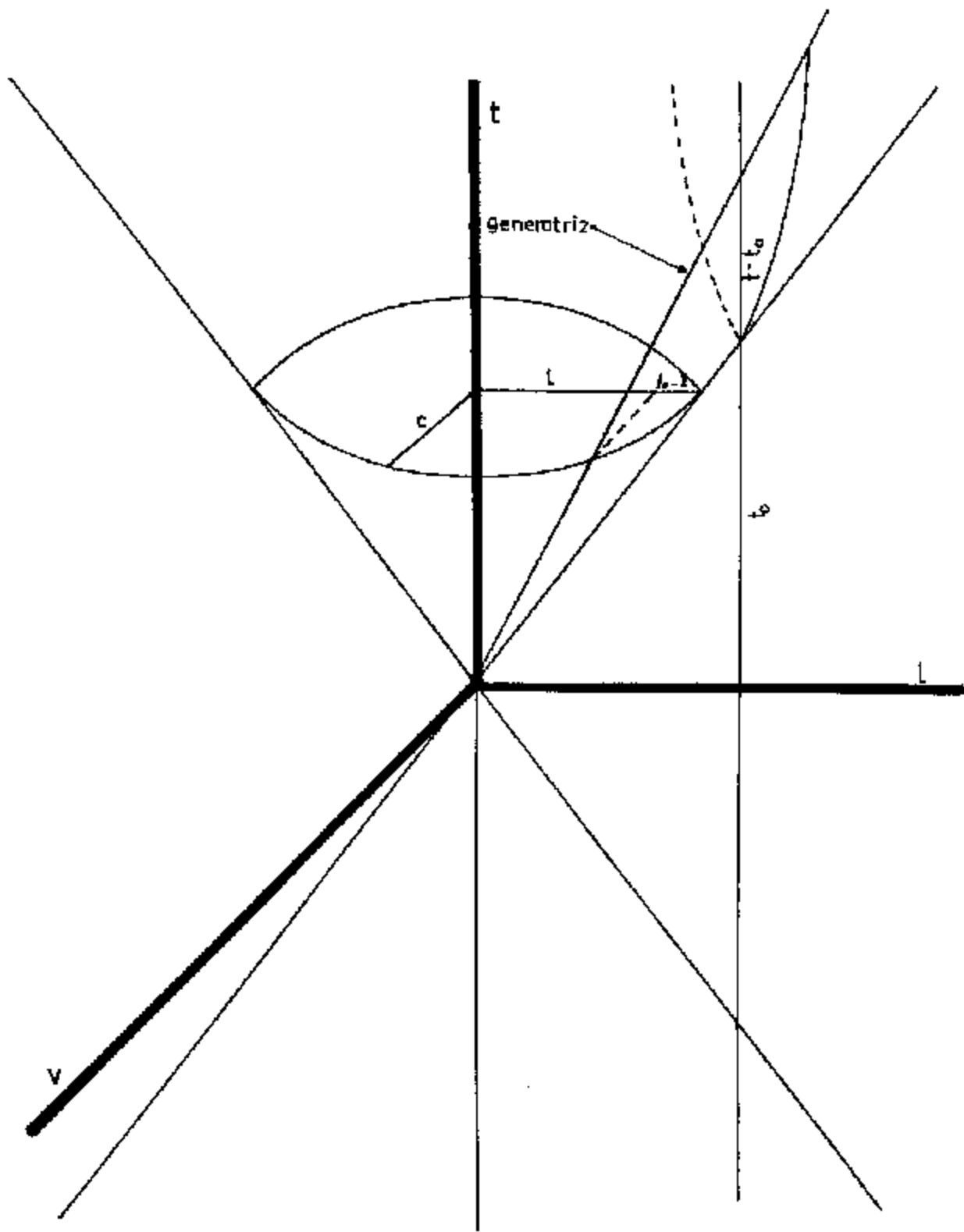


FIGURA 7.1



(Véase figura 7-1). La generatriz por lo tanto, mide simultáneamente las variaciones del tiempo y espacio.

Para facilitar aún más el cálculo de la relación entre espacio y tiempo, se puede omitir la coordenada de la velocidad  $V$  y así se obtiene únicamente la proyección de la generatriz sobre el plano  $t \times l$ , como se puede observar en la figura (Véase figura 7-2).

La proyección de la generatriz sobre el plano  $t \times l$ , forma tres triángulos rectángulos al cortar el eje de la elipse del espacio y a la hipérbola del tiempo en cualquier posición de la generatriz. Estos triángulos vienen siendo  $OAB$ ,  $OAC$  y  $ODE$ .

Es evidente que los triángulos rectángulos,  $OAC$  y  $ODE$  son semejantes, pues sus ángulos internos son congruentes

$$\hat{O} = \hat{O}' \quad \text{por alternos internos}$$

$$\hat{e} = \hat{e}' \quad \text{por alternos internos}$$

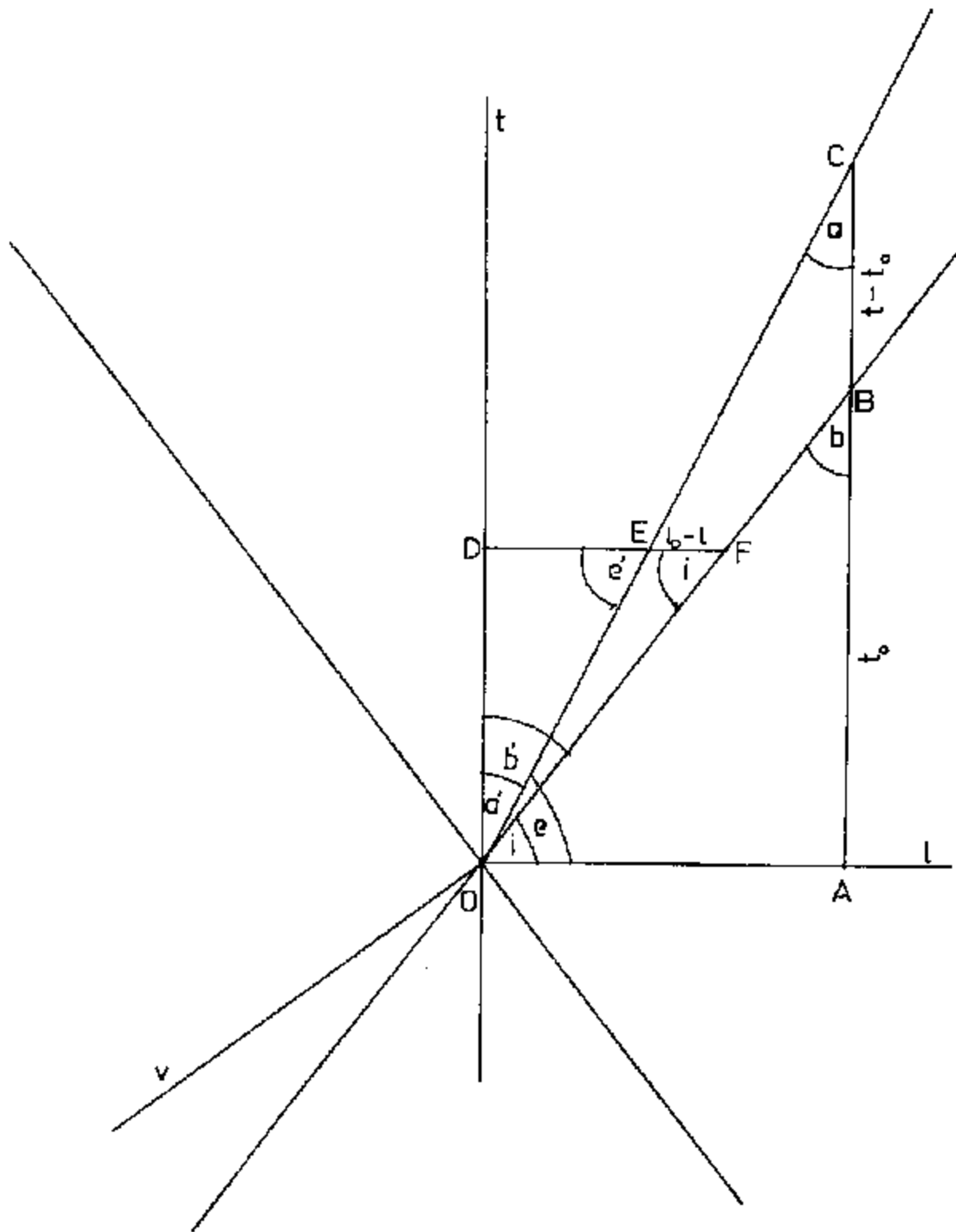


FIGURA 7.2

por ser triángulos semejantes se puede establecer una relación entre sus lados, así:

$$\frac{\overline{DE}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{DO}}{\overline{AC}}$$

se puede concluir que

$$\overline{DE} \cdot \overline{AC} = \overline{DO} \cdot \overline{OA} \quad 7-10$$

También los triángulos rectángulos ODF y OAB son semejantes pues,

$$\hat{b} = \hat{b}' \quad \text{por alternos internos}$$

$$\hat{i} = \hat{i}' \quad \text{por alternos internos}$$

como también hay semejanza en estos dos triángulos, se puede establecer una relación entre sus lados, así:

$$\frac{\overline{DF}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{DO}}{\overline{AB}}$$

se puede concluir que

$$\overline{DF} = \overline{ATB} = \overline{DO} \cdot \overline{OA} \quad 7-11$$

igualando las ecuaciones 7-10 y 7-11 se obtiene que:

$$\overline{DE} \cdot \overline{AC} = \overline{DF} \cdot \overline{ATB}$$

o sea

$$\frac{\overline{DE}}{\overline{DF}} = \frac{\overline{ATB}}{\overline{AC}}$$

dando a los segmentos su valor se obtiene que:

$$\frac{l}{l_0} = \frac{t_0}{t} \quad 7-12$$

Para poder deducir la relación que existe entre espacio y masa, en el modelo tetradimensional, es necesario esta vez eliminar la coordenada del tiempo de la ecuación 7-8 y se obtiene:

$$\frac{l^2}{l_0^2} + \frac{v^2}{c^2} = \frac{m^2}{m_0^2} \quad 7-13$$

y como resultado llegamos a un cono elíptico como en la relación espacio - tiempo.

En este caso la elipse espacial será cualquier corte en el cono elíptico paralelo al plano

$$l \times v$$

y la hipérbola de la masa es cualquier corte en el cono elíptico paralelo al plano

$$m \times v$$

Con las anteriores condiciones se obtiene un cono, como lo muestra la figura (Véase figura 7-3)

Como en el caso anterior, para facilidad en el cálculo, esta vez de la relación masa - espacio, se va a omitir la coordenada  $v$  y de esta manera se va a obtener únicamente la proyección de la generatriz sobre el plano  $m \times l$ , como se puede ver en la figura (Véase figura 7-4).

La proyección de la generatriz sobre el plano  $l \times m$  forma tres triángulos rectángulos bien determinados,

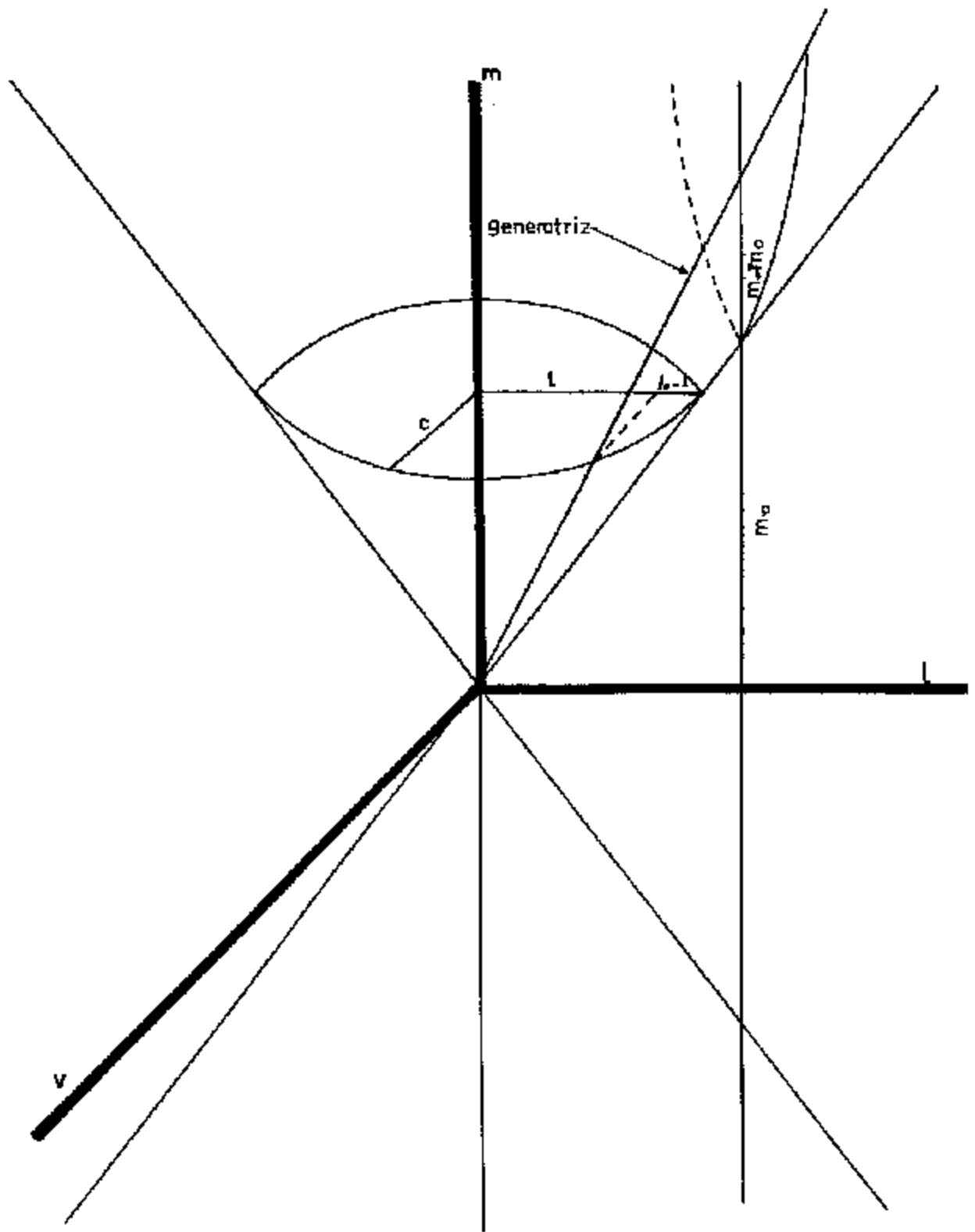


FIGURA 7.3

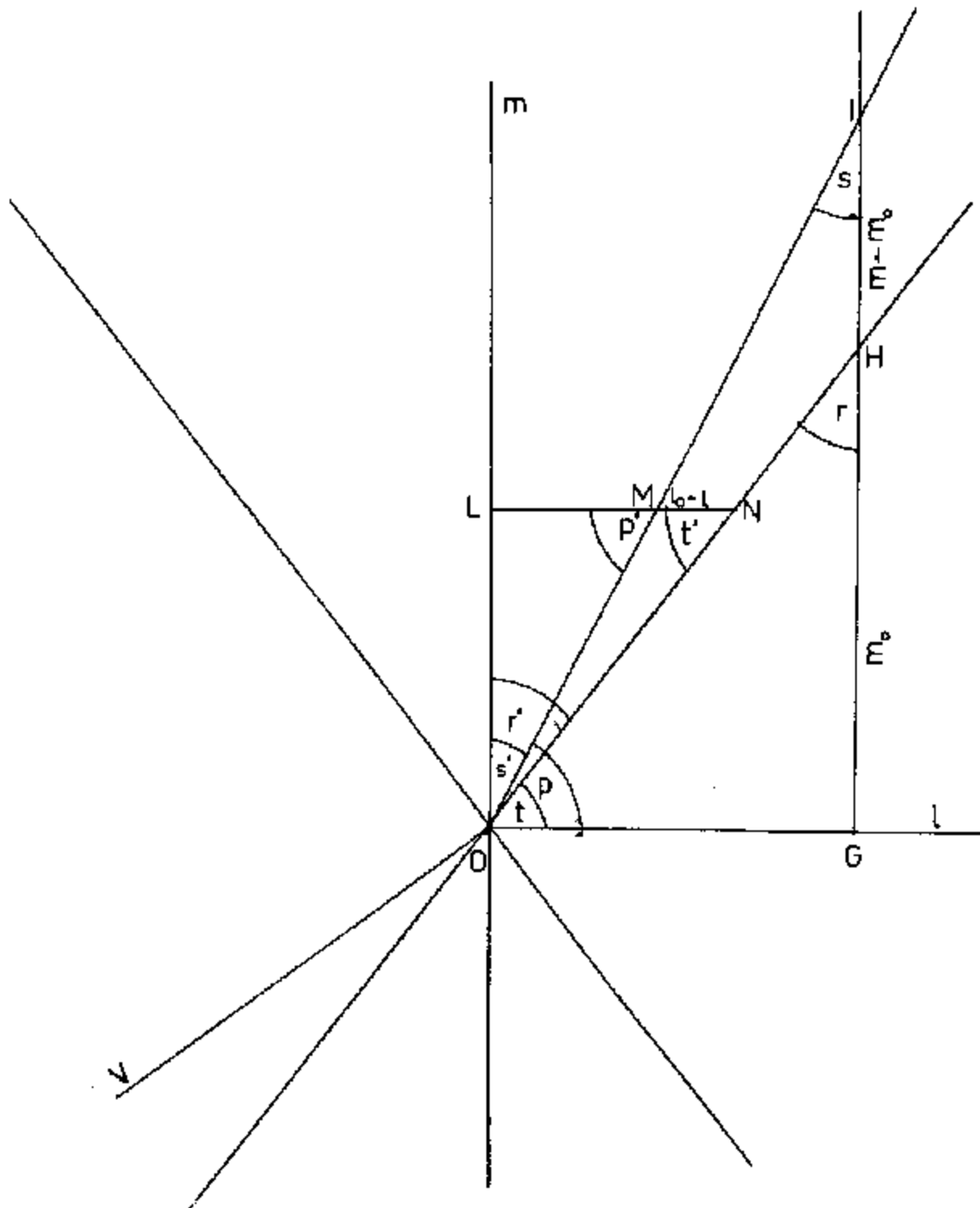


FIGURA 7.4

al cortar los ejes de la elipse del espacio, y la hipérbola de la masa en cualquier posición de la generatriz. Los triángulos son OGH OLM y OLN.

Es claro que los triángulos rectángulos OGI y OLM son semejantes porque sus ángulos internos son iguales.

$$\hat{s} = \hat{s}' \quad \text{por alternos internos}$$

$$\hat{p} = \hat{p}' \quad \text{por alternos internos}$$

Entonces se puede establecer una relación entre los lados de los triángulos, así:

$$\frac{\overline{LM}}{\overline{OG}} = \frac{\overline{LO}}{\overline{GI}}$$

Luego se puede concluir que:

$$\overline{LM} \cdot \overline{GI} = \overline{LO} \cdot \overline{OG} \quad 7-14$$

Los triángulos LNO y OGH también son semejantes porque sus ángulos internos son iguales

$$\hat{t} = \hat{t}' \quad \text{por alternos internos}$$



$$\hat{r} = \hat{r}' \quad \text{por alternos internos}$$

Por lo tanto se puede establecer una relación entre sus lados, así:

$$\frac{\overline{LN}}{\overline{OG}} = \frac{\overline{LO}}{\overline{HG}}$$

luego se puede concluir que:

$$\overline{LN} \cdot \overline{HG} = \overline{LO} \cdot \overline{OG} \quad 7-15$$

igualando las ecuaciones 7-14 y 7-15, se obtiene que:

$$\overline{LM} \cdot \overline{GI} = \overline{LN} \cdot \overline{HG}$$

o sea

$$\frac{\overline{LM}}{\overline{LN}} = \frac{\overline{HG}}{\overline{GI}}$$

dando a los segmentos su valor, se obtiene que:

$$\frac{l}{l_0} = \frac{m_0}{m} \quad 7-16$$

conociendo las relaciones de espacio - tiempo, por la ecuación 7-12, y la relación espacio - masa por



la ecuación 7-16, se puede obtener fácilmente la relación masa - tiempo, por transitividad

$$\frac{t}{t_0} = \frac{m}{m_0} \quad 7-17$$

y de este modo, se halla nuevamente la relación relativista especial con un proceso geométrico,

$$\frac{l_0}{l} = \frac{t}{t_0} = \frac{m}{m_0} \quad 7-18$$

De todo esto se puede extraer como un resultado, que la relación masa - tiempo y espacio en la relatividad especial, es idéntica a la relación en la relatividad especial ampliada.

## 8. CONSECUENCIAS FISICAS DE LA GEOMETRIZACION

Tal vez el resultado más importante arrojado hasta el momento es que las variaciones del espacio, tiempo y masa, se pueden geometrizar en un hipercono de coordenadas (  $l, v, t, m$  ) cuya ecuación es:

$$\frac{v^2}{c^2} + \frac{l^2}{l_0^2} = \frac{t^2}{t_0^2} + \frac{m^2}{m_0^2} \quad 8-1$$

Es importante determinar los ángulos del hipercono con respecto a los planos  $l \times m$  y  $v \times m$ . Como en casos anteriores para facilitar los cálculos se eliminará una de las coordenadas: por ejemplo la coordenada  $t$ .

Haciendo un corte transversal que pase por el plano  $l \times m$  se puede calcular fácilmente el ángulo  $\hat{\theta}$

como se puede apreciar en la figura (Véase figura 8-1).

Es de notar que la variación del espacio  $l$  función de la velocidad  $v$  es en realidad una variación determi

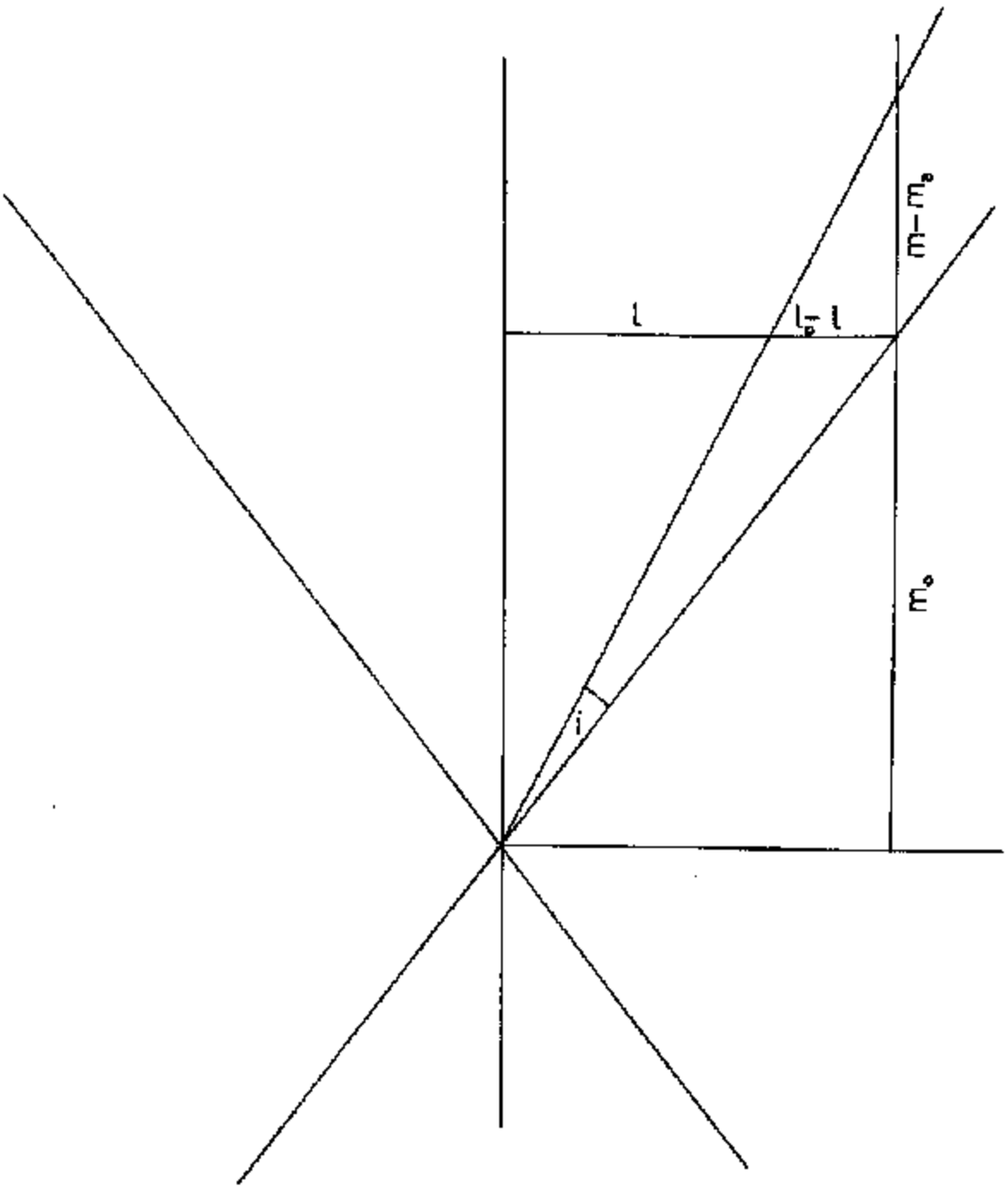


FIGURA 8.1

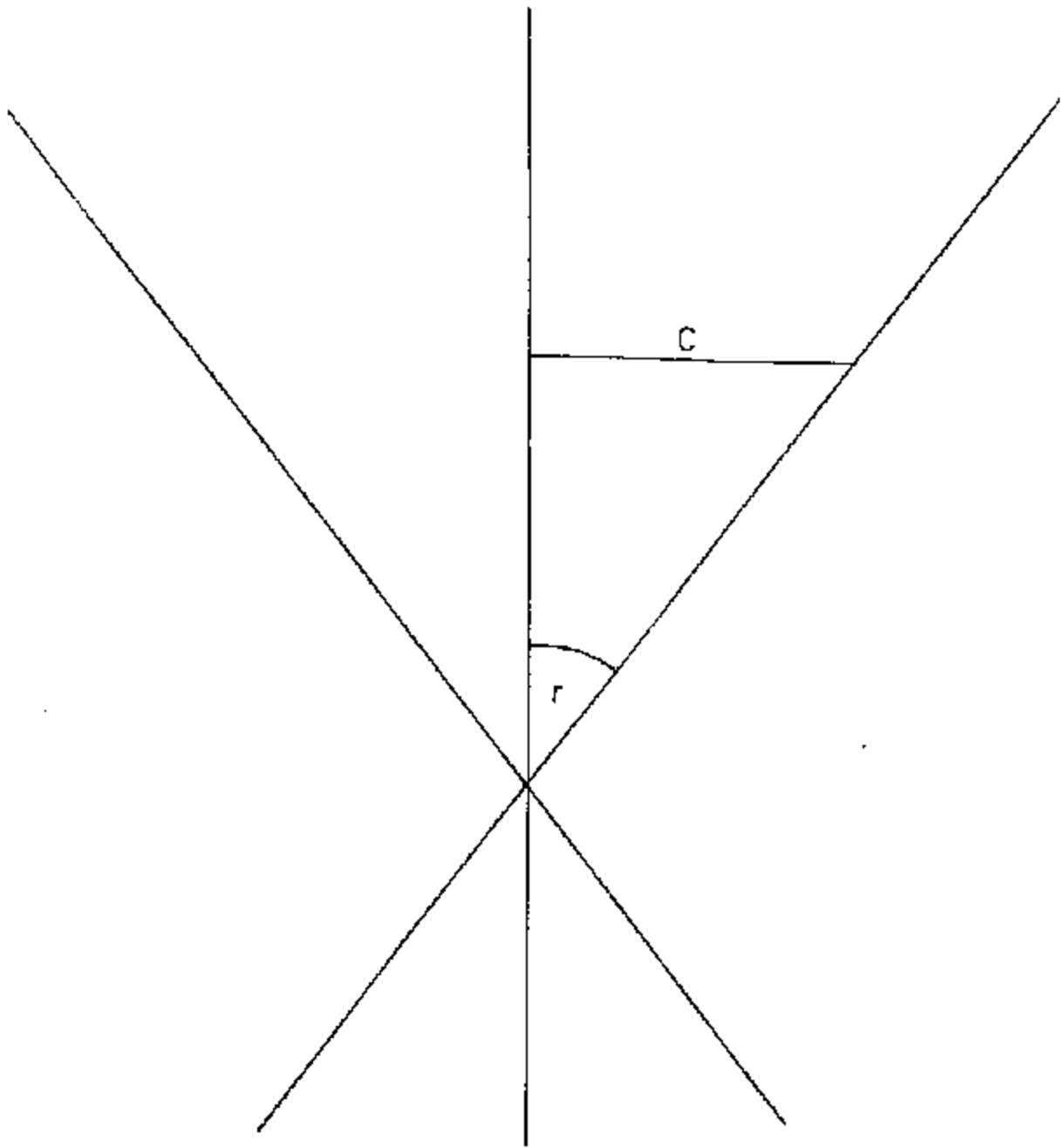


FIGURA 8.2

nada por la función coseno del ángulo  $i$

$$\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad 8-2$$

$$\frac{l}{l_0} = \cos i \quad 8-3$$

y la variación de la masa  $m$  en función de la velocidad  $v$  es la función secante del ángulo  $i$ .

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad 8-4$$

$$\frac{m}{m_0} = \sec i \quad 8-5$$

Entonces reemplazando las ecuaciones 8-3 y 8-4 en la ecuación 8-1 eliminando la variable  $t$  se tiene que:

$$\cos i + \frac{v^2}{c^2} = \sec i \quad 8-6$$

Cuya solución si  $v = c$  es:

$$i = 38,1727^\circ$$

Que corresponde a la máxima abertura del cono y en el caso que  $v = 0$ , entonces:

$$l = 0^\circ$$

Para determinar el otro ángulo del cono según el plano  $M \times V$  basta recordar los resultados obtenidos en el capítulo sexto, pues las asíntotas de la hipérbola son las que en fin de cuentas determinan el máximo corte en el plano  $M \times V$ , por lo tanto el ángulo en la figura (Véase figura 8-2), tiene un valor:

$$\hat{l} = 45^\circ$$

Hasta ahora se han obtenido dos ángulos bastante importantes pues ellos definen de una vez por todas la excentricidad de la elipse del espacio, o sea que el semieje mayor es sin dudas  $C$  y el semieje menor  $l_0$ , ya que el cono tiene más abertura según  $V$  que según  $l$  entonces la excentricidad correcta expuesta en el capítulo quinto es:

$$e = \frac{\sqrt{C^2 - l_0^2}}{C} \quad 8-7$$

De acuerdo con esto entonces no existen restricciones

cuando se tienen longitudes iniciales pequeñas, pero en cambio sí la longitud inicial  $l_0$  se empieza a tomar valores acercándose cada vez más a la escala de  $C$ , la excentricidad tiende a cero, en cuyo caso correspondería a una circunferencia. Si  $l_0$  llegará a sobrepasar la escala de  $C$  la elipse invertiría sus semiejes y se obtiene una inconsistencia expuesta ya en el capítulo quinto. Es así como la longitud inicial se encuentra sometida a ser elegida hasta cierto valor límite. Cuando se requieren longitudes iniciales mayores entonces el valor de  $C$  debe crecer junto a la longitud  $l_0$ , pero surge un interrogante ¿Entonces la velocidad de la luz debe ser superada por sí misma?

Para llegar a una respuesta primero se debe hacer un análisis detallado del comportamiento de la elipse espacial en el hipercono.

Si se toma una elipse en  $E_i$  (véase figura 8-3), en ella se pueden verificar todas las consecuencias sobre el espacio, tiempo y masa-energía según la relatividad especial, en donde  $l_0$  puede tomar valores en un intervalo  $0 < l_0 < C$  pero el valor máximo de  $l_0$  debe ser precisamente el radio universal que se calcula en el orden de quince mil millones de años luz



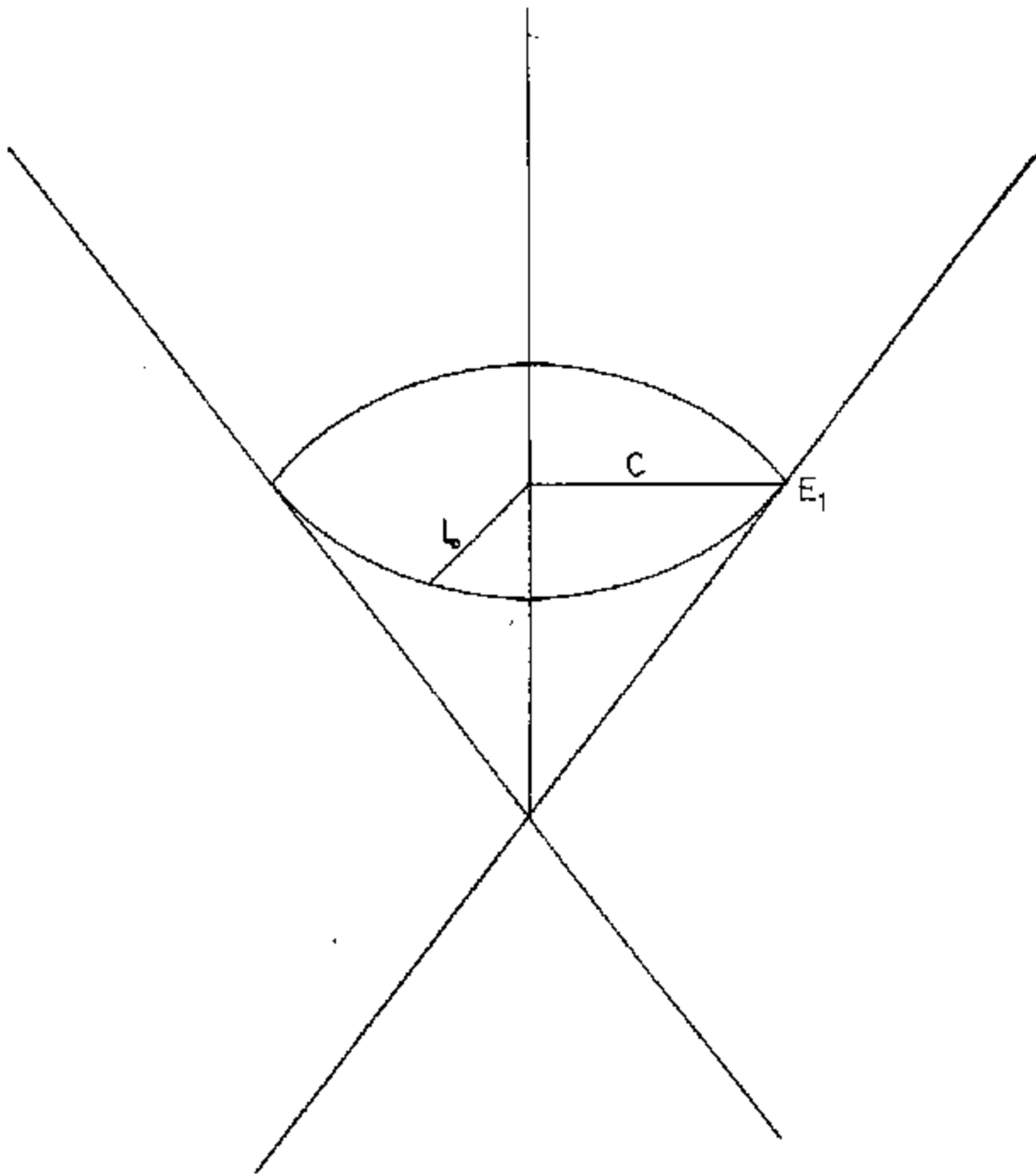


FIGURA 8.3

el cual crece con una velocidad próxima a la de la luz de acuerdo con la teoría de la expansión del universo. Esta teoría se basa para hacer tal afirmación, en el corrimiento hacia el rojo que presentan las galaxias: entre más alejadas se encuentran más corrimiento hacia el rojo presentan, ahora si se trata de empatar esta teoría con el comportamiento del espacio, en el hipercono, es evidente que si la velocidad de la luz permanece constante, entonces  $l_0$  crecería en una forma desproporcionada sobre pasando el ángulo permitido de  $38,17^\circ$  y se obtendrían soluciones inconsistentes, con la relatividad especial. Si en vez de esto la velocidad de la luz creciera proporcionalmente con  $l_0$ , entonces la elipse empezaría a subir por el cono, conservando siempre su excentricidad pero ¿Cómo interpretar este fenómeno desde el punto de vista físico? Para tal efecto se analizó un ejemplo expuesto por el francés Henri Poincaré para explicar la relatividad especial: "Supóngase, decía, que una noche, mientras estamos profundamente dormidos, todo absolutamente todo aumenta mil veces de tamaño en el universo: el sol, la tierra, las estrellas, nuestra casa, nuestra cama, nosotros mismos, las longitudes de onda de la luz, los átomos, los electrones ¿Podríamos, al despertar, decir que algo ha cambiado?" No respondía Poincaré, porque nada vendría a demostrarlo.

El ejemplo de Poincaré no viola el principio de la constancia de la velocidad de la luz, pues esta crece proporcionalmente a las unidades fundamentales.

El ejemplo de Poincaré podría dejar de ser una simple especulación y convertirse en una realidad. Haciendo un análisis al comportamiento de la elipse en el hipercono, se puede concluir que tanto el espacio como la velocidad de la luz deben crecer o decrecer proporcionalmente en el universo.

Una elipse representa un momento del universo en su evolución, si la elipse se desplaza en forma creciente, sin lugar a dudas el tiempo propio aumenta en forma proporcional y si la elipse se desplaza en forma decreciente, el tiempo propio también decrece.

La longitud máxima que se puede considerar es el mismo radio universal y éste está determinado como se puede ver en la ecuación 4-29 y por el tiempo propio  $t_0$  que es el tiempo de evolución del cosmos.

Si se consideran dos elipses en los cortes  $E_1$  y  $E_2$  (Véase figura 8-4), existen dos conclusiones para estos cortes, en la primera se puede afirmar que la elipse en

$E_2$  , es un estado del universo en un pasado y  $E_1$  es un momento presente; la segunda conclusión es que  $E_2$  la posición anterior de  $E_1$  puede ser ocupado por otro universo y ambos se encuentran limitados por la velocidad de la luz  $C_1$  y  $C_2$  respectivamente, esto es, que la velocidad de la luz no es la misma de un universo con respecto al otro, pero, si es constante para cada uno de ellos. Entonces si para la velocidad de la luz en el vacío es de 300.000 Km/seg. y para  $E_1$  también es la misma, qué es lo que varía de  $E_1$  a  $E_2$  ?. Lo que varía de  $E_1$  a  $E_2$  es la escala universal, un kilómetro en  $E_2$  es más pequeño que en  $E_1$  y por lo tanto para cada uno de los cortes la velocidad de la luz es constante, además cuando más tiempo de evolución tenga un corte en particular mayor va a ser su escala, si la escala continuamente cambia, esto implica que el universo se está expandiendo. Este fenómeno descubierto por los astrónomos Hubble y Milton Humason a mediados de la década de 1920-29, demostró que las galaxias presentaban siempre un corrimiento hacia el rojo y entre más lejos estuvieran, más corrimiento hacia el rojo presentaban. Este fenómeno fué plasmado en la célebre ecuación de Hubble;

$$V = H_0 \times X \quad 8-8$$

donde  $V$  , es la velocidad de la galaxia,  $X$  la distancia a que se encuentra y  $H_0$  la constante de Hubble que actualmente se calcula en el valor de 24 si  $V$  se mide en kilometros/segundo y  $X$  en millones de años luz.

Si las galaxias presentan un corrimiento hacia el rojo es porque el universo se está expandiendo y por lo tanto las elipses en el hipercono se muevan en forma creciente. Si el aumento en la escala se lleva a cabo en forma uniforme para todo el universo, entonces las galaxias no presentarían corrimiento al rojo como sucede realmente, en consecuencia este aumento en escala debe efectuarse en forma irregular pero debido a qué sucede esto?. Estudiando la evolución de una elipse llevándola a el pasado, se pueda concluir que la elipse entre más se remonte al pasado, su masa en reposo  $m_0$  , su espacio  $l_0$  , su tiempo propio  $t_0$  empiezan a disminuir considerablemente hasta llegar a tomar valores nulos que coinciden exactamente con el vértice del hipercono. En ese punto el tiempo y el espacio y la masa en reposo carecen de todo sentido, únicamente existiría energía a una densidad infinita. Bajo estas condiciones el hipercono representa en fin de cuentas una singularidad, de la cual emerge energía que luego se materializa. La teoría del Big-Bang supone que el universo se encontraba

en una singularidad que por algún motivo aún desconoci<sup>122</sup>  
do hizo explosión exparciendo toda la materia y aún hoy  
en día la velocidad de receción de las galaxias y la  
radiación de microondas de fondo son el remanente de  
esta gran explosión.

En 1974, Stephen Hawking, investigando las propiedades  
de los pequenísimos agujeros negros desde el punto de  
vista de la teoría cuántica, demostró que el agujero ne  
gro emitía partículas elementales al espacio. Los agu  
jeros negros producen singularidades y hoy en día no es  
claro que las singularidades puedan existir independien  
tamente del agujero negro, lo que parece claro es que  
la emisión de partículas elementales no se daba propi  
amente al agujero negro sino a su singularidad. Esta  
emisión de partículas elementales se lleva a cabo en for  
ma homogénea durante la mayor parte del tiempo que equi  
vale a un tiempo mayor que la edad del universo y es ex  
plosivo cuando la singularidad entrega la mayor parte  
de su masa. Si el universo proviene de una singularidad  
lo más probable es que esta singularidad aún esté entre  
gando al espacio partículas elementales homogéneamente,  
ya que la masa de esta singularidad es muchísimo mayor  
a la singularidad de un simple agujero negro, puesto  
que calculando la masa existente en el universo observa

ble hoy en día se calcula aproximadamente en  $10^{53}$  kilogramos. Así si el universo proviene de una singularidad ésta debe estar aún activa y el universo debe estar aumentando la masa continuamente.

Al ir aproximándose a una singularidad, el espacio se va contrayendo cada vez más y si se aleja, el espacio toma de nuevo su espacio inicial visto desde un observador alejado lo suficiente de la singularidad. Si el universo es una singularidad enorme, entonces todas las galaxias están saliendo de esta singularidad pero no por sí mismas sino arrastradas por un incontrollable ensanchamiento del espacio, y este fenómeno hace que la escala en el universo este creciendo. Si se toma una galaxia en cuestión, se observará que todas las demás galaxias se alejan de ella y entre más lejos se encuentren a más velocidades se alejarán. Este efecto se tiene, ya que la galaxia que está más alejada de la singularidad, va encontrándose con una escala de espacio más grande que para una galaxia más interna, por lo tanto el movimiento relativo de las galaxias da como resultado, que para cada una de ellas, la otra es la que se aleja, la velocidad de la luz se conserva constante y como velocidad límite pues la luz se ajusta al crecimiento, de tal forma que la luz recorrerá siempre un mismo

número de partes de la escala por la unidad de tiempo.

Como con la distancia, la velocidad de alejamiento aumenta, llegará el momento en que la velocidad de la luz es superada para ciertas galaxias del universo y por lo tanto desaparecerán de la vista para cierta región del universo, esto trae como consecuencia que el universo se vea más despoblado con el tiempo.

Analizando este fenómeno desde el punto de vista del hipercono, una elipse en especial, empezará a subir por el hipercono creciendo de esta forma su escala mientras muchas otras vendrán tras de sí en escalas menores.

Para cuantificar el cambio de la velocidad de la luz de una elipse  $E_1$  a  $E_2$  en la figura (véase figura 8-4) se puede hallar gracias a la conservación de la excentricidades de las elipses, así pues se tiene que:

$$e_{E_1} = \frac{\sqrt{c_1^2 - l_0^2}}{c_1} \quad 8-9$$

$$e_{E_2} = \frac{\sqrt{c_2^2 - l_0^2}}{c_2} \quad 8-10$$

Iguando 8-9 y 8-10, se obtiene que:

$$c_1 = \frac{l_0 c}{l_0} \quad 8-11$$



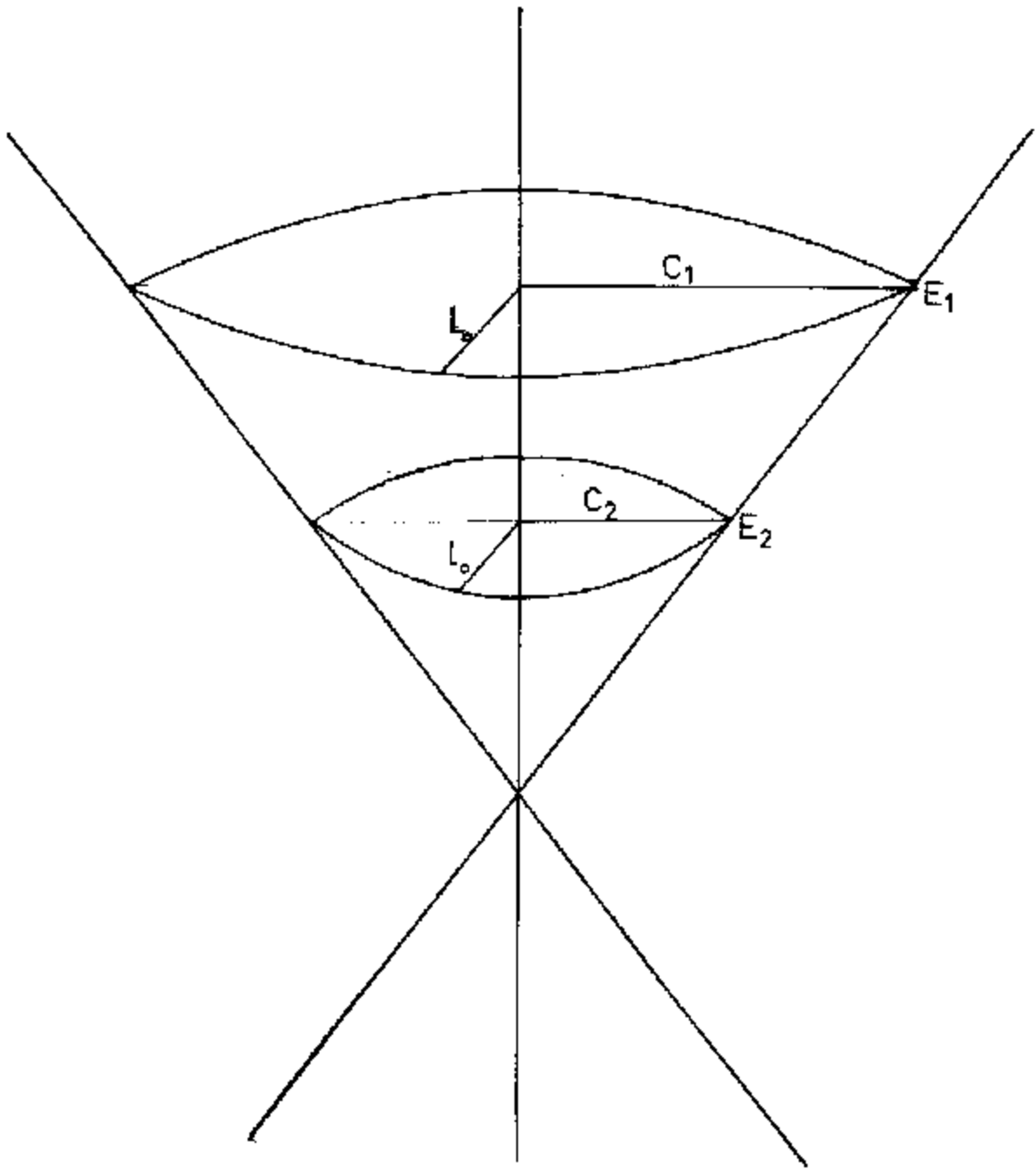


FIGURA B.4

Que indica el diámetro del crecimiento de la escala,  
cuando más alejadas se encuentran las galaxias siendo  
 $l_0$  y  $L_0$  las distancias límites para cada universo.

## BIBLIOGRAFIA

1. GARNER, Martín Izquierda y Derecha en el Cosmos, Editorial Salvat 1986 pagina 198  
HENBEST NIGEL, El universo en Explosión, Editorial debate, 1980 pagina 41
2. GANOW GEORGE. Biografía de la Física, Editorial Alianza, 1983 pagina 340
3. KERWIN LARKIN, Introducción a la Física Atómica, Editorial Norma, 1968 pagina 165
4. ASIMOV ISAAC, El universo. Editorial Alianza, 1973 pagina 350
5. KAUFMANN WILLIAN J. relatividad y Cosmología , Editorial Harla 1977, pagina 144
6. PATTERSON WALTER C. La energía Nuclear, Editorial Orbis 1986 pagina 30
7. BEISER ARTHUR . Conceptos de Física Moderna, Editorial Mc Graw Hill , 1977 pagina 10  
GARDNER MARTIN . La explosión de la relatividad, Editorial Salvat, 1986, pagina 33  
Revista el Correo de la Unesco. EINSTEIN , 1980  
KOURGANOFF VLADIMIR, Introducción a la teoría de la Relatividad . editorial Labor, 1973 pagina 13  
EINSTEIN ALBERT. Sobre la teoría de la Relatividad Especial y General, editorial Alianza, 1984 pagina 34  
EINSTEIN ALBERT, y Otros, La teoría de la Relatividad, Editorial Alianza, 1983 pagina 71  
RUSSELL BERTRAND, ABC de la relatividad, editorial Orbis 1984, pagina 50  
EINSTEIN ALBERT, El significado de la relatividad, editorial Planeta, 1986 pagina 30

GAMOW GEORGE, Biografía de la Física. Editorial Alianza  
1983, página 203

EINSTEIN ALBERT, Sobre la teoría de la relatividad,  
Editorial Sorpe, 1983 página 153

COUDERE PAUL . La relatividad, Editorial Universitario  
de Buenos Aires. 1972, página 32

WHITE HARVEY, Física moderna. Editorial Montaner y Simon  
S.A. 1972 página 409

EINSTEIN ALBERT, La evolución de la Física. Editorial  
Salvat. 1986. página 93

SEARS ZEMANSKY, Física , editorial Aguilar. 1980 página  
79

FRISCH OTTO ROBERT, La Nueva Física. Editorial Salvat.  
1975 página 63

EINSTEIN ALBERT, De mis Últimos años. Editorial Aguilar  
1969 página 49

KERWIN LARKIN, Introducción a la física Atómica. Editorial  
Norma 1968 página 71

FRIEDRICHS K.O. De pitágoras a Einstein , Editorial  
Norma 1967 página 71

EINSTEIN ALBERT, la relatividad Editorial Dina 1970 Página  
11

RESNICK R HOLLIDAY, La relatividad Especial Editorial  
Mc Graw Hill 1980, página 25

PSSC Física Editorial Reverte S.A. 1969 página 602

8. GAMOW GEROGE. Biografía de la Física, Editorial Alianza 1983, pagina 242
- HEIDMAN JEAN . Más allá de nuestra vía lactea. Editorial Ate. 1979 pagina 110
- FRIEDRICH K.O. De Pitágoras a Einstein . Editorial Norma 1967 pagina 86
- ATKINS PETER W. La creación . Editorial Salvat. 1986 pagina 73
- KERWIN LARKIN , Introducción a la Física Atómica. Editorial Norma 1968 pagina 68
- KALFMANN WILLIAN J. Relatividad y Cosmología Editorial Harla 1977 pagina 138
- DAVIES PAUL. La frontera del Infinito. Editorial Salvat 1986 pagina 63
9. RIDNIK V.I. Que es la mecánica Cuántica? Editrial MIR 1977 pagina 287
- TREFIL JAMES S. De los atomos a los Quarks. Editorial Salvat 1986. pagina 47
- BEISER A. Física Moderna Editorial Mc Graw Hill 1977 paginas 64 y 435
- GRIBBIN JOHN , En busca del gato de Schrodinger . Editorial salvat. 1986 pagina 106
- WICHOWSKI SIEGFRIED. Historia del átomo Editorial Labor. 1969 pagina 96
- DE BOGLIE LOUIS. La física nueva y las cuantas. Editorial Losada S.A. 1952 pagina 217
- TAYLOR JOHN G. La Nueva Física Editorial Alianza 1984 pagina 134
- GAMOW GEROGE , Biografía de la Física Editorial Alianza 1983 pagina 330
- WHITE H.E. Física Moderna Editorial Montaner y Simon. 1972 pagina 761.

- LLEGET MARIUS. El enigma de los agujeros negros, y las fontanas blancas, Editorial Libro expres 1980. paginas 17.48.151
- SAGAN CARL . Cosmos. Editorial Planeta. 1982 pagina 238
- HERMANN JOACHIM . La Astronomia editorial Circulo de Lectores 1980. pagina 385
- ROMAN COLIN A. Secretos del cosmos . editorial Salvat. 1970. pagina 133. 159
- DAVIES PAUL Otros mundos. Editorial Salvat. Paginas 83.159.181
- REES MARTIN J. Estrellas Cómulos y Galaxias . Editorial Salvat 1974 pagina 136
- ISAZA D FERNANDO . Colapso Gravitacional editorial banco Popular 1986. pagina 15
- ALFVEN HANNES. Origen y evolución del universo . Editorial Salvat 1975. pagina 117.
- ASIMOV ISAAC. El colapso del universo , Editorial Diana 1982 pagina 157.181
- LABERENE PAUL. El origen de los mundos editorial Leviatan 1979 pagina 183
- HACK MARGHERITA . El universo. editorial labor 1978 pag 251
- LOVELL BERNARD , Conocimiento actual del universo . editorial. labor 1986 pagina 75
- BONDI HERMAN . El Cosmos . Editorial Eudeba 1977 pag 11
- KAUFMANN WILLIAN . Relatividad y Cosmología Editorial Morla 1977 pagina \* 45.55.113.123.135
- HEMBEST NIGEL . El universo en explosión, editorial debate 1980 pagina 30/144. 176
- Círculo de lectores. El Universo 1986. pagina 48.

- HENBEST NIGEL . El universo en explosión. Editorial Debate pagina 38. año 1980.
- FRISCH OTTO ROBERT. La nueva Física. Editorial Salvat 1975 pagina 111
- ASIMOV ISAAC. El universo. Editorial Alianza. 1973 pag 346
- ASIMOV ISAAC. El colapso del Universo editorial dina 1982 pagina 200
- KERWIN LARKIN . Introducción a la Física Atómica. Editorial Norma 1968 Pagina 233
10. GRIBBIN JOHN . Génesis . Editorial Salvat. 1986 pagina 13,33, 64
- BOSLOUGH JOHN. El universo de Stephen Hawking. Editorial Salvat 1986. pagina 59.
- WEINBERG , STEVEN . Los tres primeros minutos del universo. editorial Alianza 1983. pagina 21.47.115
- DAVIES PAUL, El ,universo accidental . Editorial Salvat Pagina 105
- DAVIES PAUL, El universo desbocado, editorial Salvat, paginas 23 y 133
- DAVIES PAUL . Dios y la nueva Física. Editorial Salvat. Pagina 66,211,237
- TREFIL JAMES S. El momento de la creación Editorial Salvat 1986. pagINAS 3,39,133,207,277
- DAVIES PAUL . Superfuerza. Editorial salvat 1986 Pag 71..195
- DAVIES PAUL. La frontera del infinito Editorial Salvat. 1986 paginas 81.103.121.169
- ASIMOV ISAAC. Introducción a la ciencia Toma I editorial Orbis pagina 29
- LA RECHERCHE. Astrofísico. Editorial Orbis paginas 95.191.