

82



Universidad Tecnica Particular de Loja
 BIBLIOTECA GENERAL

Revisado el 10-VI-85

Valor \$ 200.00

Nº Clasificación 1985 F825 MA-50



573.1

 290

FISICA MODERNA
 P. G. MORA

370X7713



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACION

**INTRODUCCION A LA FISICA MODERNA Y SU
ENSEÑANZA EN LA EDUCACION MEDIA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE LICENCIADO
EN CIENCIAS DE LA EDUCACION, ESPECIALIDAD: FISICA**

DIRECTOR: Lic. JUAN MANUEL CADME CEVALLOS

POR: SEGUNDO VICTOR FRANCISCO FRANCO CARRANCO

BENIGNO SALVADOR FRANCO CARRANCO

**LOJA - ECUADOR
1.983**



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

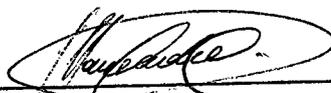
2017

LIC. JUAN MANUEL CADME CEVALLOS
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA: que la investigación realizada por los Señores: SEGUNDO VICTOR FRANCISCO FRANCO CARRANCO y BENIGNO SALVADOR FRANCO CARRANCO, en la presente tesis cumplieron con todos los aspectos técnicos, científicos y reglamentarios establecidos, conforme queda documentado en el Departamento de - Ciencias Experimentales. Por lo tanto,

AUTORIZA: la presentación de la misma para los fines legales pertinentes.

Loja,



Lic. Juan Manuel Cadme Cevallos

=====

DEDICATORIA

=====

En reconocimiento a la grandiosa
virtud de nuestros PADRES y como
homenaje a la educación, que en
noblece y dignifica la vida de
los estudiantes de nuestra Pa
tria.

=====

AGRADECIMIENTO

=====

A las Autoridades y Profesores
de la Universidad Técnica Par
ticular de Loja, máxima conduc
tora de la Cultura del País.
En particular, al Lic. Juan Ma
nuel Cadme Cavallos , Director
de tesis.

CONTENIDO

— INTRODUCCION

CAPITULO PRIMERO

1.0.- IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LA FISICA MODERNA EN LA EDUCACION MEDIA.

CAPITULO SEGUNDO

2.0.- LA RELATIVIDAD ESPECIAL DE ALBERT EINSTEIN.

2.1.- INTERPRETACION FISICA DE LOS EFECTOS INMEDIATOS DE LA RELA-

TIVIDAD ESPECIAL.

2.1.1 DE LA CINEMATICA CLASICA A LA CINEMATICA RELATIVISTA.

- a) DILATACION DEL TIEMPO,
- b) CONTRACCION DE LA LONGITUD,
- c) DEDUCCION DE LAS TRANSFORMACIONES DE LORENTZ - FIZGERALD.
- d) ECUACIONES RELATIVISTAS DE TRANSFORMACION DE VELOCIDADES Y SU RELACION CON LAS DE LA FISICA CLASICA.
- e) ECUACIONES RELATIVISTAS DE TRANSFORMACION DE LA ACELERACION Y SU RELACION CON LAS DE FISICA CLASICA.

2.1.2 DE LA DINAMICA CLASICA A LA DINAMICA RELATIVISTA.

- a) ECUACION DE LA MASA Y MOMENTO LINEAL DE ACUERDO A LA TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD.
- b) ECUACION DE LA FUERZA SEGUN LA TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD.
- c) ENERGIA CINETICA RELATIVISTA.
- d) ENERGIA DE LA MASA EN REPOSO.
- e) ENERGIA TOTAL Y ALGUNAS CONSECUENCIAS IMPORTANTES.
- f) EQUIVALENCIA ENTRE MASA Y ENERGIA.
- g) LA ENERGIA DE REPOSO CORRESPONDIENTE A LA UNIDAD ATOMICA DE MASA.
- h) EQUIVALENCIA DE LA ENERGIA Y LA MASA EN REPOSO DEL ELECTRON, NEUTRON Y PROTON.

CAPITULO TERCERO

3.0.- ESTRUCTURA ATOMICA.

- a) ELECTRONES ELECTROLITICOS.
- b) ELECTRONES NO ELECTROLITICOS.

3.1.- MODELOS ATOMICOS.

- a) MODELO ATOMICO DE THOMSON.
- b) MODELO DE RUTHERFORD.
- c) EL MODELO DE BOHR - POSTULADOS - ESTADOS DE ENERGIA.
- d) MASA RELATIVISTA DEL ELECTRON.

CAPITULO CUARTO

- 4.0.- EL NUCLEO ATOMICO.
- 4.1.- CONSTITUCION DEL NUCLEO.
- 4.2.- DESCUBRIMIENTO DEL NEUTRON.
- 4.3.- FUERZAS NUCLEARES.
- 4.4.- PROPIEDADES DEL NUCLEO. " DEFICIT DE MASA ".
- 4.5.- ENERGIA DE AMARRE NUCLEAR.

CAPITULO QUINTO

- 5.0.- RADIATIVIDAD NATURAL.
- 5.1.- LEY DE DESPLAZAMIENTO RADIATIVO.
- 5.2.- FAMILIAS RADIATIVAS.
- 5.3.- LEY DE DESINTEGRACION RADIATIVA.
- 5.4.- RADIATIVIDAD ARTIFICIAL.

CAPITULO SEXTO

- 6.0.- ELEMENTOS RADIATIVOS EN EL ECUADOR.
- 6.1.- PROBABILIDAD DE EXISTENCIA DE MINERALES RADIATIVOS EN EL ECUADOR.
- 6.2.- ANOMALIAS DE LA EXPLORACION RADIOMETRICA REALIZADA EN EL NORTE DEL PAIS.
- 6.3.- ANALISIS GEOQUIMICO DE MUESTRAS QUE CONTIENEN URANIO.
- 6.4.- APLICACIONES PACIFICAS DE LA ENERGIA ATOMICA O NUCLEAR.
- 6.5.- APLICACIONES DE LA ENERGIA NUCLEAR EN LA MEDICINA.
 - a) PROTECCION CONTRA LAS RADIACIONES.
 - b) PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LA INSPECCION O SUPERVISION DE LAS RADIACIONES.
 - c) CONTROL DE CALIDAD PARA CAMARAS DE CENTELLED.

CAPITULO SEPTIMO

— CONCLUSIONES

7.0.- CONTENIDO CIENTIFICO.

7.1.- EVALUACION DEL APRENDIZAJE.

7.2.- SUGERENCIA DE PLAN Y PROGRAMA DE FISICA MODERNA PARA BACHILLERATO EN HUMANIDADES.

7.3.- COLEGIOS TECNICOS PROFESIONALES DEL ECUADOR.

— BIBLIOGRAFIA

=====

I N T R O D U C C I O N

=====

Las Leyes de la Física Clásica que se estudia en Bachillerato, tienen discrepancias al estudiar el movimiento de partículas muy energéticas, tales como los electrones interiores de los átomos o las partículas halladas en los rayos cósmicos, o las producidas en los aceleradores de alta energía. En consecuencia, el propósito del estudio de la Teoría Especial de la Relatividad y sus efectos inmediatos, es desarrollar una Teoría General del movimiento válida para partículas tanto de baja como de alta energía, para una mejor conceptualización de los fenómenos naturales del mundo que nos rodea.

En el mundo macroscópico de las experiencias que se producen a diario, la velocidad de la luz siempre es mayor que la veloci

dad de los cuerpos en movimiento o de las ondas mecánicas, con respecto a cualquier observador; en este mundo macroscópico fué donde se formularon por primera vez las ideas sobre el espacio y el tiempo y, también, donde Newton desarrolló el sistema de la mecánica. En cambio en el mundo microscópico, es fácil encontrar partículas cuyas velocidades se aproximan a la de la luz; tal es el caso de un electrón que se le acelera con un alto potencial. De hecho, los experimentos que se realizan en grandes Laboratorios energéticos demuestran que la mecánica Newtoniana no predice las respuestas correctas cuando se aplica a tales partículas rápidas.

En el Ecuador hay posibilidades de presencia de minerales radiactivos y otros de interés nuclear, para lo cual la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica conjuntamente con la Dirección de Geología y Minas, iniciaron un programa de prospección radiométrica autoportada, cuyo objetivo fundamental es de detectar puntos o áreas de radiactividad anómala mediante una revisión radiométrica geológica, de manera especial en la faja subandina amazónica, donde hay la presencia de indicios interesantes para el País.

De acuerdo con los estudios científicos el Centro Nuclear que se instalará en el País en 1984, contará con Laboratorios asociados para la producción y fraccionamiento de los radioisótopos. Además dará tratamiento a las moléculas de interés biológico a emplearse tanto con fines médico, agrícola y otros trabajos de investigación como en la industria de la construcción y metalmecánica - en el sentido que éstas tendrán que ajustarse a las normas de garantía y control de calidades que requieren, como también una posible fuente de utilización nuclear; puesto que, el problema energético de nuestro País, depende de la actividad científica y tecnológica que se desarrolle. Además, el problema energético del País y el crecimiento económico, tiene su relación con el aspecto social en función con el tiempo.

Introducción a la Física Moderna y su enseñanza en la Educación Media, es una investigación para que los alumnos y maestros de Bachillerato en las Especializaciones Físico - Matemáticas y Químico - Biológicas, se pueda tener un concepto claro acerca de la Física Moderna y la importancia que requiere su conocimiento y aplicación, para el mejor aprovechamiento de las riquezas naturales de nuestro País, mediante un sistema de aprendizaje de Física con aplicación sistemática de Tecnología de la Educación.

Se presentan en forma relevante leyes, principios, afirmaciones y definiciones de Física Moderna, de manera especial acerca de la Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein, el átomo y su núcleo, fuerzas nucleares, energía de enlace, radiactividad natural, radiactividad artificial, anomalías de elementos radiactivos, aplicación y preparación técnica en la posibilidad de la utilización energética nuclear en nuestro País.

Se demuestra la diferencia de conceptos existentes entre la Física Clásica y Física Moderna, su aplicación al área científica y tecnológica futura, bajo el punto de vista de una " filosofía " de enseñanza de la Física en la Educación Media. Se hacen consideraciones para aclarar algunos conceptos acerca de la Estructura del Núcleo Atómico, la Energía de Enlace y la energía que se desprende de lo que se llama " Defecto de masa ", en base de principios relativistas de A. Einstein.

Se formula una conceptualización acerca de Física Moderna - para alumnos de Educación Media, tomando en cuenta los avances de la ciencia y la tecnología, así como las recomendaciones de enseñanza para la formación técnico - profesional de los alumnos, considerando sus intereses y las necesidades inmediatas de nuestra sociedad ecuatoriana.

=====

C A P I T U L O

=====

1

=====

IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LA
FISICA MODERNA EN LA EDUCACION MEDIA

=====

=====

1.0.- IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LA FISICA MODERNA EN LA EDUCACION

=====

MEDIA

=====

El adelanto técnico y científico del mundo actual requiere de una educación acorde con el desarrollo del País y, en este sentido, la enseñanza de la Física debe ir paralelamente con los intereses socio - económicos en función del tiempo; puesto que, la sociedad requiere que el sistema educacional asegure el adecuado auxilio de científicos y técnicos; una sociedad cada vez más orientada y controlada tecnológicamente, crece la necesidad de ofrecer a todos los individuos más y mejor educación en ciencia y tecnología. Debido a la tendencia de la tecnología a no tener límites y expandirse constantemente en nuevas áreas, es inevitable que en sociedades técnicamente avanzadas, la tecnología comience a penetrar en el propio proceso educacional.

Las leyes de la naturaleza del mundo que nos rodea, de manera especial las relacionadas a cinemática y dinámica de partículas, las pruebas experimentales directas no pueden tener la certeza de que la Mecánica Newtoniana pueda extrapolarse con seguridad desde la región de bajas velocidades. De hecho, los experimentos demuestran que la Mecánica Newtoniana no predice las respuestas correctas cuando se aplica a partículas rápidas, como las producidas en aceleradores de alta energía. En consecuencia, es necesidad prioritaria de tener conocimientos básicos de la Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein, los alumnos de Educación Media, para mejor comprensión de leyes y principios fundamentales de Física Moderna.

En nuestro País hay la posibilidad de presencia de minera -

les radiactivos y otros de interés nuclear. Con este propósito, es necesario capacitar a los alumnos desde las instituciones de Educación Media, de las más modernas técnicas de " prospección y explotación " de minerales radiactivos, de manera especial en la explotación del uranio ; en vista de que, los recursos mineros en el Ecuador se hallan prácticamente inexplorados y es necesario que los organismos de Gobierno, especialmente el Ministerio de Educación con sus Maestros de la importancia que requieren en acciones concretas en la enseñanza de la Ciencia Física, ya que, los minerales radiactivos, así como los otros minerales, pueden ser una de las alternativas más viables para encontrar nuevos ingresos al Estado y afianzar el proceso de desarrollo energético de nuestro País.

Sabemos que hay minerales radiactivos en la región Amazónica, de manera especial en las zonas de Napo - Galares, al norte ; la cordillera Cutucú, al centro y la cordillera de Condor, al Sur; además la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica informó que a partir de 1979, tomó a su cargo la tarea de evaluar las posibilidades que el Ecuador podría tener como productor de minerales radiactivos y otros de gran interés nuclear. En el año de 1982 , se firmó un proyecto de trabajo de exploración de uranio en nuestro País, con asistencia técnica del Programa de las Naciones Unidas con el objeto de capacitar personal ecuatoriano con las más modernas técnicas. A comienzos del año 1984 entrará en funcionamiento el Centro de Estudios e Investigaciones Nucleares cuyo costo asciende a más de 151 millones de sucres; el objetivo de este organismo es iniciar la búsqueda de minerales radiactivos de interés nuclear , desarrollar el empleo de energía atómica en la medicina y su aplicación en la agricultura; además, establecer un centro de estudios e investigaciones tendientes a la capacitación de personal y utilización de equipos en los institutos de Educación y organismos del Estado.

De acuerdo con los estudios científicos, el centro nuclear



que se instalará en el País, será de 3 Mw de potencia y contará con laboratorios asociados para la producción y fraccionamiento de los radioisótopos. Además, dará tratamiento a las moléculas de interés biológico a emplearse tanto con fines de la medicina, la agricultura y otros trabajos de investigación como la industria de la construcción y metalmecánica, en el sentido que estas tendrán que ajustarse a las normas de garantía y control de calidades que requieren; así mismo, ayudará a la localización de yacimientos de materias radiactivas dirigidas hacia una posible fuente de utilización energética nuclear.

El País requiere de técnicos y profesionales especializados en Medicina Nuclear, para un perfeccionamiento de los dispositivos de formación de imágenes de una mejor calidad para diagnosticar y manejar varios problemas clínicos. Además, es necesario que los especialistas en Medicina Nuclear, organicen y mantengan un " control de calidad " y " garantía de calidad " en el proceso de formación de imágenes.

El problema energético del mundo y de América Latina, en especial el de nuestro País, depende de la actividad científica y tecnológica que se desarrolle y seguirá desarrollando. El problema energético del mundo y el crecimiento económico, tiene su relación con el aspecto social en función con el tiempo.

Lo importante en la actualidad para la sociedad, es averiguar que cantidad de energía consume el País en función con el tiempo y el número de habitantes que consume energía y sus ventajas energéticas para una mejor forma de vida. Hay que considerar también que la energía tiene su relación con el tiempo, puesto que, a medida que la sociedad del mundo y de manera especial de América Latina va empezando a desarrollar social y económicamente, se requiere de más energía, para movilizar maquinarias agrícolas y auto

motrices, luz eléctrica para encendido de bombillos o para mover maquinaria técnica - industrial, etc. En consecuencia, la sociedad aumenta y la intensidad energética también aumenta en función con el tiempo; siendo necesario de evolución de métodos de enseñanza de la Ciencia Física, para resolver la problemática energética del País. Tal es el caso de la experiencia de países industrializados, donde se aprovecha toda fuente energética, tales como, la de petróleo, la bio-masa, la geotérmica, la hidro, la solar y la nuclear; mientras que, los países no industrializados como los nuestros o de América Latina, están entrando en una etapa acelerada de industrialización. Luego, para el análisis del problema energético se requiere de una intervención de las Ciencias Naturales, de manera especial de la enseñanza de Física Moderna en la Educación Media.

El problema energético de América Latina y de manera especial de nuestro País, radica sin embargo de haber en abundancia, de que no podemos aprovechar ni la décima parte de la energía, puesto que el combustible más fácil de obtenerlo, más cómodo es el petróleo, lo que hace pensar al hombre ecuatoriano y sobre todo a los que hacemos Educación de que se debe iniciar a investigar en base de nuestras riquezas naturales para empezar a producir la energía concentrada, tal es el caso de la energía nuclear, que está siendo aprovechada por los países industrializados. Siendo necesario, coordinar programas de Educación Media con los de enseñanza Superior para motivar y preparar técnicos y profesionales, mediante una educación científica y tecnológica, avanzando en dirección de una ciencia de la educación acorde a los intereses de la sociedad.

La sociedad, la tecnología, mediante la Ciencia Física debe tratar de aprovechar toda fuente energética, mediante una buena organización tecnológica y científica; por ejemplo 1 m^3 de aire que se mueve a 120 Km.h^{-1} tiene 100000 Joules de energía que no es aprovechada. Si en un motor de petróleo, el gas no se lo aprovecha-

ra al estar encerrado, que es el causante del movimiento de los pistones, el vehículo no se movería; en consecuencia, se requiera de una organización tecnológica en el campo educativo, para aprovechar toda fuente energética existente en la naturaleza, como también la energía industrial. Debe haber en nuestro País ciertos mecanismos, para aprovechar el petróleo, la energía solar, la energía hídrica, la energía bio-masa, la energía geotérmica. La energía solar es la más abundante, ya que, la energía radiante existente en la capa superior de la atmósfera de la tierra es un número impresionante, sumamente considerable, siendo de 170000 terawatts, o sea: $170000,0 \times 10^{12}$ Watts. El mundo consume hoy apenas 9 terawatts de energía - resultante de minas como la de petróleo, carbón, hidro, nuclear o de elementos radiactivos; sin embargo, de que la energía solar que llega a la tierra es increíble de 400 terawatts, lo que hace ver - que la energía que se desperdicia en la atmósfera es de 169600 terawatts. El hemisferio Occidental desde EE.UU., Canadá y hasta la Patagonia, dependen de la energía de petróleo; América Latina depende mucho más, con relación a EE.UU. y Canadá; sin embargo, la Patagonia con relación a América Latina, depende mucho menos del petróleo. Este fenómeno energético, sucede en los países que tienen petróleo como el nuestro.

El problema energético se hará más grave en el año 2000 donde la población se duplica; sin embargo en la actualidad, en América Latina, de manera especial en nuestro País el 50 % de la población no tiene energía, lo que determina un grave problema social; en consecuencia, requiere en forma prioritaria mejorar el consumo energético, para un mejor confort de vida del hombre ecuatoriano; para lo cual es necesario que la Educación Media se prepare científicamente para resolver el gran problema social, mediante una Ciencia Física Moderna acorde con las necesidades de nuestro País.

=====
CAPITULO
=====

2

=====
LA RELATIVIDAD ESPECIAL DE
ALBERT EINSTEIN
=====

=====

2.0.- LA RELATIVIDAD ESPECIAL DE ALBERT EINSTEIN

=====

La definición del término " Relatividad ", proporciona un concepto clásico subyacente en gran parte de la Física. Por relatividad queremos decir la apariencia que presenta la naturaleza a un observador y su relación con la apariencia que presenta la naturaleza a otro observador, que puede estar en movimiento con respecto al primero. Parece de simple sentido común que el estado de movimiento relativo de un observador no debería alterar las leyes de la naturaleza. Así que la estabilidad de la naturaleza del mundo que nos rodea, está sujeta al principio clásico de la relatividad:

- " Todas las leyes de la naturaleza deben ser las mismas para todos los observadores que se mueven los unos con respecto a los otros a velocidad constante " -

En consecuencia si el movimiento relativo no es constante, entonces es acelerado, teniendo que valernos del dominio de la " Relatividad General ". Todos los temas de Física que se da en Bachillerato como en la Universidad se desarrollan bajo leyes y principios de " Mecánica Clásica o Newtoniana " para describir los cuerpos que observamos a nuestro alrededor, en base a suposiciones como por ejemplo el momentum donde la masa " m " es un coeficiente característico de la partícula o del sistema; hemos considerado en la enseñanza de Física en Educación Media a la masa " m " como un coeficiente invariante de cada partícula o de sistema. Siempre que la magnitud de las velocidades que observamos no sea muy grande, esta suposición sobre la masa parece ser válida y compatible con nuestra experiencia. Sin embargo, cuando experimentamos con grandes velocidades esta suposición no permanece correcta; de hecho, se encuentra grandes discrepancias al estudiar el movimiento

de partículas muy energéticas, tales como los electrones interiores de los átomos o las partículas halladas en los rayos cósmicos, o producidas en los aceleradores de altas energías.

Para que las señales enviadas a través del vacío se desplacen de un punto a otro con la mayor rapidez posible, se usan haces de luz o alguna otra clase de radiaciones electromagnéticas. De este hecho experimental se deduce que la velocidad de la luz en el vacío " c " (3×10^8 m/s), es una velocidad límite que sirve de referencia apropiada para comparar otras velocidades, como las de las partículas o las de ondas mecánicas.

En el mundo macroscópico de las experiencias cotidianas, " c " siempre es mayor que la velocidad " v " de los objetos en movimiento o de las ondas mecánicas, con respecto a cualquier observador. En este medio macroscópico fué donde se formularon por primera vez las ideas sobre el espacio y tiempo, también, donde Newton desarrolló el sistema de la mecánica.

En el mundo microscópico es muy fácil encontrar partículas cuyas velocidades se aproximan a la luz. Por ejemplo un electrón acelerado mediante un potencial de 10 millones de voltios, valor fácil de obtener, alcanza una velocidad " v " de $0.9988c$.

Sin hacer pruebas experimentales directas, no se puede tener la certeza de que la mecánica Newtoniana pueda extrapolarse con seguridad desde la región de bajas velocidades ($v/c \ll 1$), hasta la región de altas velocidades ($v/c \rightarrow 1$). En consecuencia, la mecánica Newtoniana no predice las respuestas correctas cuando se aplica a partículas rápidas.

En 1905 Albert Einstein dió a conocer la " Teoría Especial de la Relatividad " para comprender mejor la naturaleza del electromagnetismo; sin embargo, con su teoría Einstein generalizó a la mecánica Newtoniana. Einstein examinó críticamente los procedimientos utilizados para la medición de intervalos de longitud y tiempo, determinando de esta manera, una imagen nueva de la naturaleza espacio tiempo. Además veremos que las suposiciones básicas de New -

ton y Einstein hace pensar que en realidad las suposiciones del segundo son más razonables que las del primero, de manera especial - cuando hablamos de Física Atómica o Física Nuclear, donde la mecánica Newtoniana fracasa al hablar de partículas de alta velocidad como la de los electrones.

=====

2.1.- INTERPRETACION FISICA DE LOS EFECTOS INMEDIATOS DE LA RELATIVIDAD

=====

ESPECIAL:

=====

Para presentar estos elementos consideremos antes unos eventos de la experiencia común según la Física Clásica.

I.- Un tren se mueve a la velocidad de 50 Km/h. En el mismo tren hay un señor que se pasea a la velocidad de 3 Km/h , según la dirección y sentido del tren.

Evidentemente, para un observador que está parado en la estación del ferrocarril, el señor del tren lleva la velocidad correspondiente a la suma de la velocidad del tren más la velocidad de la persona: $V = V_t + V_p$; o sea: $V = 50 \text{ Km/h} + 3 \text{ Km/h} = 53 \text{ Km/h}$; mientras que para otro observador parado en el mismo tren, la velocidad de dicho pasajero es simplemente de 3 Km/h.

II.- Unos jovencitos, que están en un barco que se mueve a lo largo de un río con velocidad constante, lanza hacia arriba, en dirección perpendicular al barco una bola. Para ellos cuando la bola cae seguirá una línea recta, como indica la fig. 1 literal (b). En cambio, un observador parado en la orilla del río la verá caer según un arco de parábola, como indica el literal (a) de la misma figura.

Newton , mediante una experiencia similar con la gota de agua en el mástil de un navío, introdujo un nuevo criterio según el cual:"en el movimiento con relación a la tierra, las fuerzas no

sirven para mantener el movimiento, sino que su función se limita a modificar el vector velocidad del móvil".

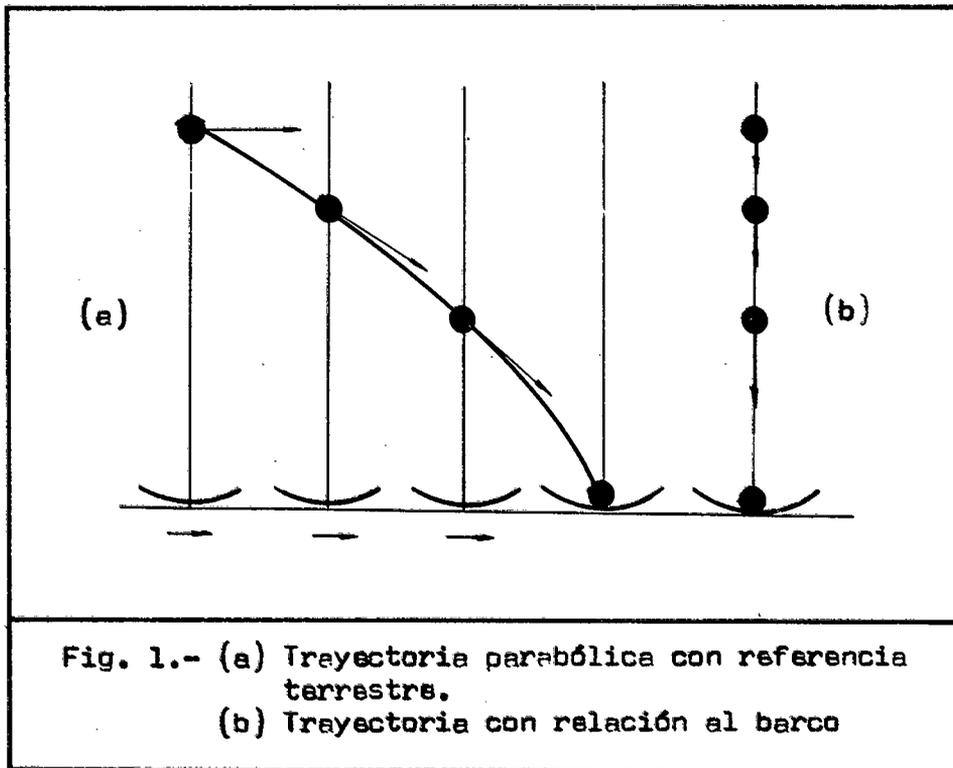


Fig. 1.- (a) Trayectoria parabólica con referencia terrestre.
(b) Trayectoria con relación al barco

De estos dos hechos, fácilmente controlables, si indicamos al tren y al barco como " Sistema móvil " y a la tierra como " Sistema fijo ", concluimos evidentemente lo siguiente:

Cuando se observa desde un " Sistema fijo " lo que sucede en un " Sistema móvil " que se mueve con velocidad constante respecto al primero, se obtienen resultados que no coinciden con los que se encuentran observando los mismos hechos desde el " Sistema móvil ".

Obviamente esta deducción tiene carácter general y se la puede utilizar en cualquier caso, como por ejemplo en la medición del tiempo, de las longitudes de una varilla, de la masa de un cuerpo, etc.

En estos casos de acuerdo con la deducción anterior podemos prever que los resultados obtenidos por el observador que se encuentra en el sistema fijo no coinciden con aquellos encontrados por el otro observador que está en el sistema móvil; es decir, los valores del tiempo, de la longitud de una varilla, de la masa del cuerpo, etc, que encuentra un observador que está en un sistema móvil son diferentes de los valores que obtiene un observador parado en un sistema fijo.

Por tanto, el estudio analítico de estos resultados nos da lo que se llama Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein.

De lo expuesto podemos decir que la Teoría Especial de la Relatividad, en primera instancia, establece la medición del tiempo, longitud, masa, etc, de un sistema móvil observados desde un sistema fijo; puesto que, si la observación se hace desde un sistema móvil, los resultados son iguales.

De lo manifestado anteriormente se puede puntualizar los siguientes aspectos:

- a) Relatividad es la apariencia que presenta la naturaleza a un observador y su relación con la apariencia que presenta la naturaleza a otro observador, que puede estar en movimiento con respecto al primero;
- b) Principio Clásico de la Relatividad: Todas las leyes de la naturaleza deben ser las mismas para todos los observadores que se mueven los unos con respecto a los otros a velocidad constante: $v = K = \text{const.}$;
- c) La Teoría Especial de la Relatividad se preocupa de la descripción de eventos observados des

- de sistemas inerciales de referencia;
- d) La Teoría General de la Relatividad considera a sistemas de referencia acelerados;
- e) Cuando se observa desde un " sistema fijo " eventos que suceden en un " sistema móvil " que se mueve con velocidad constante respecto al primero, se obtienen resultados que no coinciden con los que se encuentran observando los mismos hechos desde el " sistema móvil ".

=====

2.1.1.- DE LA CINEMATICA CLASICA A LA CINEMATICA RELATIVISTA

=====

a) DILATACION DEL TIEMPO

Según la Física Clásica el concepto de tiempo es absoluto, es decir la duración, por ejemplo de una hora, de un minuto, de un segundo, etc. es igual sea para un reloj que está fijo en una casa (sistema fijo), sea para un reloj que está en un jet u otro cuerpo móvil que se mueve a una velocidad cualesquiera (sistema-móvil).

Por la Teoría Especial de la Relatividad en cambio el tiempo no es absoluto.

Para poder entender este dato, que es fundamental en Física Relativista, consideremos el fenómeno de la reflexión de la luz que se desarrolla dentro del vagón de un tren que se mueve con velocidad constante " v ", observado en primer término por un señor que está en el mismo vagón.

Si indicamos con E (Fig. 2) un espejo pegado al techo de un vagón del tren y colocamos en A un bombillo prendido.

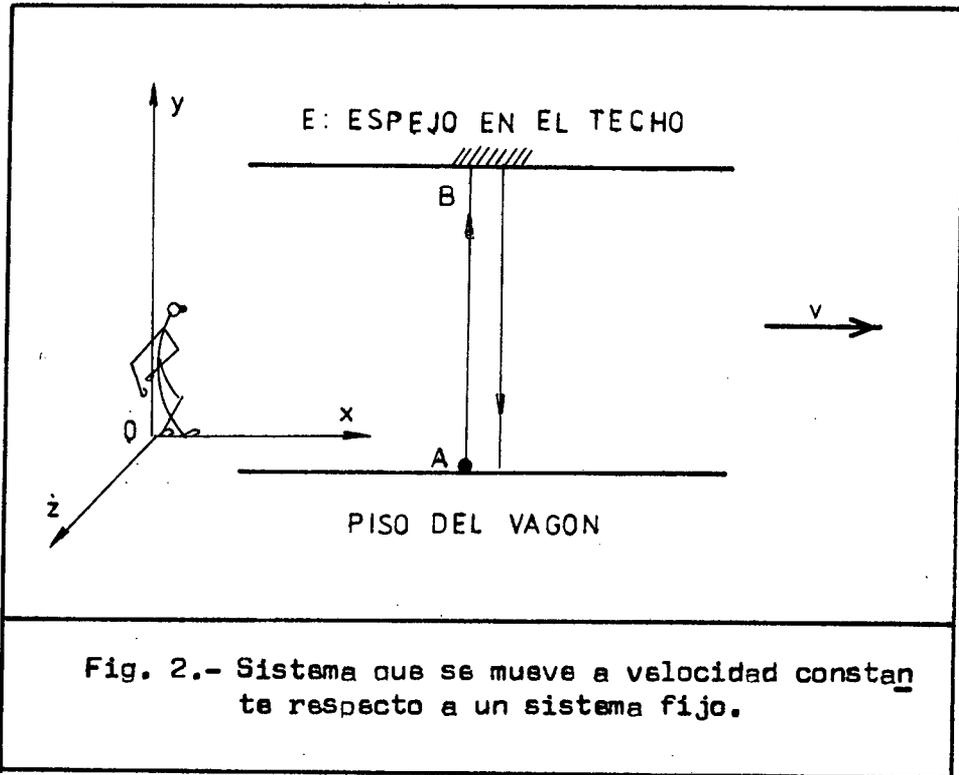


Fig. 2.- Sistema que se mueve a velocidad constante respecto a un sistema fijo.

Evidentemente, para el observador que está parado en el mismo vagón del tren (sistema móvil), el rayo luminoso que sale de A, incide sobre E en B, siguiendo la recta AB, se refleja y regresa a A siguiendo la recta BA.

Si el observador se acuerda que la velocidad de la luz es: $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, fácilmente podrá deducir que el tiempo empleado por el rayo luminoso en recorrer $AB + BA$, será:

$$\Delta t' = \frac{AB + BA}{c} = \frac{2 \cdot AB}{c},$$

que resulta de la fórmula general del Movimiento Rectilíneo Uniforme M.R.U., donde:

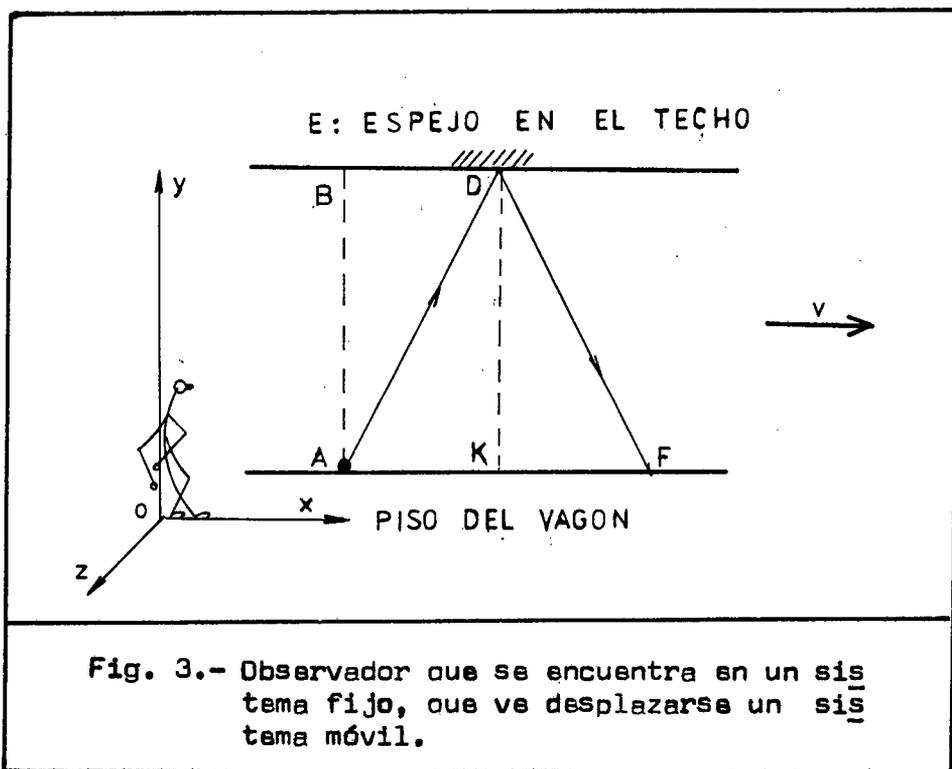
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = K = \text{constante. Luego:}$$

La fórmula del tiempo que tarda en el recorrido el rayo lu

minoso dos veces la distancia AB, nos queda:

$$\Delta t' = \frac{2 \cdot AB}{c} \quad (1)$$

Ahora vamos a ver cómo observa este mismo fenómeno un señor que está parado en la plataforma de la estación de ferrocarril por donde pasa el tren con velocidad constante "v".



Para este observador, evidentemente, dado que el tren se -
desplaza con una velocidad v constante hacia la derecha fig. 3, y
la " velocidad de la luz finita ", el rayo luminoso que sale de A
logrará el espejo E no en B sino en D , como indica la figura; es-
to sucede por que en el tiempo que el rayo luminoso emplea para -

llegar a B, el espejo por efecto de la velocidad del tren, se ha trasladado a D.

Análogamente, por la misma razón, después de la reflexión, el rayo luminoso encontrará el piso en F.

Por lo tanto, debemos decir, que para el observador parado en el sistema fijo (tierra), el fenómeno de la reflexión de la luz que se realiza en el vagón del tren (sistema móvil) se desarrolla a lo largo de las líneas oblicuas AD, DF.

Si el observador se acuerda que la velocidad de la luz, también para él es : $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, de acuerdo con la fórmula de la velocidad del Movimiento Rectilíneo Uniforme M.R.U. $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, empleada por el observador fijo en el sistema móvil (tren), encontrará que, según su sistema fijo (tierra), el rayo luminoso - habrá empleado el tiempo:

$$\Delta t = \frac{AD + DF}{c} = \frac{2AD}{c}$$

siendo $AD = DF$ y $\Delta x = 2AD$; luego:

$$\boxed{\Delta t = \frac{2AD}{c}} \quad (2)$$

Ahora bien, de la figura 3. se desprende que

$$AB = KD$$

por lo tanto, reemplazando este dato en (1) se deduce:

$$\boxed{\Delta t' = \frac{2KD}{c}} \quad (3)$$

Pero el triángulo ADK de la fig. 3 es rectángulo en K, siendo KD perpendicular en AF, por construcción; entonces por el Teorema de Pitágoras, del mismo triángulo, deducimos, como se sabe:

$$KD = \sqrt{AD^2 - AK^2} \quad (4)$$

Por lo tanto, reemplazando en (3) deducimos:

$$\Delta t' = \frac{2 \sqrt{AD^2 - AK^2}}{c} \quad (5)$$

Dividiendo la (5) por la (2) obtenemos:

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \frac{\frac{2}{c} \sqrt{AD^2 - AK^2}}{\frac{2}{c} AD} \quad (6)$$

que se puede simplificar eliminando el término $2/c$ común al numerador y denominador:

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \frac{\sqrt{AD^2 - AK^2}}{AD} \quad (7)$$

Podemos colocar el término AD del denominador dentro de la raíz del numerador, elevándolo al cuadrado:

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \sqrt{\frac{AD^2 - AK^2}{AD^2}} \quad (8)$$

y queda reducido a:

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \sqrt{1 - \frac{AK^2}{AD^2}} \quad (9)$$

De acuerdo con la fig.3, el término AK es el recorrido del tren en el tiempo t, con una velocidad constante "v"; o sea:

$$AK = vt$$

y por tanto:

$$AK^2 = (vt)^2 \quad (10)$$

Análogamente, el término AD es igual al recorrido hecho por el rayo luminoso en el mismo tiempo t; por consiguiente, siendo la velocidad de la luz igual a "c", tenemos aplicando la fórmula del Movimiento Rectilíneo Uniforme M.R.U.:

$$AD = ct$$

Luego:

$$AD^2 = (ct)^2 \quad (11)$$

Reemplazando (10) y (11) en (9), encontramos que:

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \sqrt{1 - \frac{(vt)^2}{(ct)^2}}$$

Simplificando t^2 , tenemos finalmente

$$\boxed{\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (12)$$

Observando bien esta fórmula, tenemos:

El tiempo $\Delta t'$ (delta t prima), como hemos visto la fórmula (1), indica el tiempo de reflexión del rayo luminoso según - el observador que se encuentra en el vagón del tren; el tiempo Δt en cambio, según la fórmula (2), indica el tiempo de reflexión del

mismo rayo luminoso observado por un señor que está parado en la plataforma de la estación de ferrocarril delante de la cual pasa el tren.

De acuerdo con el resultado de la (12), la razón entre estos tiempos no es igual a uno, por lo tanto estos dos tiempos no son iguales, es decir, el tiempo que mide el observador del tren (sistema móvil), es diferente al tiempo que mide el observador parado en la plataforma de la estación, (sistema fijo).

De la (12) se desprende inmediatamente que para el observador del vagón del tren ha transcurrido el tiempo $\Delta t'$; mientras - que para el otro ha pasado el tiempo:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (13)$$

Este resultado es de veras extraño según el sentido común y los alcances de la Física Clásica que tiene sus bases sólidas sobre los trabajos de Newton y Galileo.

Ahora veamos los alcances de la (13). Albert Einstein nos dice que la velocidad de la luz "c", es la máxima velocidad que puede tener un cuerpo; cualquier otra velocidad es menor que esa.

Si indicamos con "v" esa velocidad cualesquiera, según A. Einstein, tendremos siempre:

$$v < c$$

De acuerdo con esto, la razón v/c será siempre menor que uno y lo mismo, por consiguiente, será v^2/c^2 . Por tanto, $1 - v^2/c^2$ será siempre menor que uno y también $\sqrt{1 - v^2/c^2}$, será siempre me

nor que uno.

De lo expuesto se deduce lo siguiente:

$$\boxed{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > 1} \quad (14)$$

Por consiguiente, de acuerdo con, la (13) se tendrá siempre lo siguiente:

$$\Delta t > \Delta t' \quad (15)$$

es decir, el tiempo medido por el observador parado en el sistema fijo (tierra) es mayor que el tiempo medido por el observador parado en el sistema móvil (tren) que observa el mismo fenómeno.

A este resultado encontrado por la Teoría Especial de la Relatividad se le conoce como: " Dilatación de los Tiempos ", puesto que según esta Teoría, los tiempos se dilatan .

Para poder captar bien el alcance de este dato relativista, tenemos que el tiempo del observador fijo Δt depende del inverso del radical $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ y por ende de la velocidad del sistema.

En la tabla que se indica a continuación presentamos los - valores de:

$$\frac{v}{c} , \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{y} \quad \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Luego en la tabla tabulario No. 1 se tiene:

TABLA FORMULARIO No. 1							
v/c	0.100	0.300	0.600	0.800	0.980	0.950	0.990
$\sqrt{1 - v^2/c^2}$	0.995	0.954	0.800	0.600	0.436	0.312	0.141
$\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$	1.005	1.048	1.250	1.667	2.294	3.205	7.092

La última casilla nos da el valor correspondiente v/c de un electrón acelerado mediante un potencial de 10 millones de voltios, valor fácil de obtener. En consecuencia si v/c es de 0.990; luego, $v = 0.990c$, es decir, $v = 0.990 \times 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Aplicando estos valores a la fórmula (13), se encuentra que si el sistema móvil tiene una velocidad constante $v = c/10$, un minuto de dicho sistema móvil tendrá el valor de 1.005 minutos en un sistema fijo; una hora, 1.005 horas, etc.

En cambio si v es $0.99c$, un minuto del sistema móvil valdrá 7.092 minutos en el sistema fijo; un año, 7.092 años, etc.

En consecuencia, la cuantía de la dilatación de los tiempos depende de la velocidad del sistema.

Sin embargo, este efecto de la dilatación de los tiempos - en experiencias comunes no se puede observar ni tener en cuenta, - por que las velocidades que disponemos corrientemente son pequeñas en comparación con la velocidad de la luz. En cambio en los la

boratorios de altas energías donde se trabaja con partículas cuyas velocidades se aproximan a la velocidad de la luz, este efecto relativista se debe tener siempre presente en los cálculos.

De lo expuesto se desprende algunas conclusiones prioritarias que puede resumirse en las siguientes:

- a) Las transformaciones Galileanas deben rechazarse y considerarse como una aproximación inválida cuando $v/c \rightarrow 1$;
- b) Las Leyes Físicas son las mismas en todos los sistemas inerciales. No hay sistema inercial - preferido (suposición de Albert Einstein);
- c) La velocidad de la luz en el vacío tiene el mismo valor "c", que en todos los sistemas inerciales (suposición de Albert Einstein);
- d) Según la Teoría Especial de la Relatividad el espacio y el tiempo no son absolutos. El espacio y el tiempo se consideran dependientes del marco de referencia o, en otras palabras, son relativos;
- e) La velocidad de la luz "c" en el vacío es una velocidad límite que sirve de referencia apropiada para comparar otras velocidades, como las de las partículas o las de ondas mecánicas;
- f) En el mundo macroscópico de las experiencias cotidianas, "c" siempre es mayor que la velocidad "v" de los objetos en movimiento o de las ondas mecánicas, con respecto a cualquier observador;
- g) En el mundo microscópico es muy fácil encontrar partículas cuyas velocidades se aproximan a la

de la luz, que son producidas por aceleradores de alta energía. Un electrón acelerado mediante un potencial de 10 millones de voltios, alcanza una velocidad "v" de 0.9988c;

h) La razón de los tiempos $\Delta t'$ y Δt no es igual a " uno ", por lo tanto no son iguales; es decir, el tiempo que mide el observador desde el sistema fijo es mayor que el que mide el observador que se encuentra en el sistema móvil;

i) El tiempo Δt , medido desde un sistema fijo a un evento que se produce en un sistema móvil, depende del factor $\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ y de la velocidad "v":

b) CONTRACCION DE LA LONGITUD

Para hacer captar con una cierta facilidad la realidad de este segundo efecto de la Relatividad Especial, que depende esencialmente de la dilatación de los tiempos, emplearemos el mismo tren del tema anterior, (a este tren comúnmente se lo llama "tren de Einstein"), un observador parado en la estación de ferrocarril y otro parado en el tren.

Esta vez, el observador parado en la estación de ferrocarril está dándose cuenta de que el tren pasa por delante de la estación con velocidad constante "v" y sabe que la plataforma de la estación tiene una longitud "L". Empleando una fórmula que tiene fija en su memoria, aprendida en las aulas de Bachillerato, quiere medir el tiempo que emplea el tren en recorrer la longitud "L" y encuentra que dicho tiempo está identificado por la fórmula que se relaciona con el Movimiento Rectilíneo Uniforme M.R.U.; es decir, con la fórmula:

$$\Delta t = \frac{L}{v} \quad (1)$$

que resulta de la fórmula del M.R.U. $v = \Delta x / \Delta t$; y no tiene ninguna duda sobre la exactitud del cálculo.

También el observador que está parado en el tren, que tiene velocidad constante "v" pasando por delante de la estación de ferrocarril, hace la misma medición y, empleando el mismo procedimiento anterior, encuentra:

$$\Delta t' = \frac{L'}{v} \quad (2)$$

siendo L' la longitud de la plataforma de la estación de ferrocarril como él la ve.

Ahora bien, reemplacemos (1) y (2) en (13) y tenemos:

$$\frac{L}{v} = \frac{L'/v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} ;$$

de la cual simplificando, se obtiene:

$$L = \frac{L'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Despejando L' se tiene:

$$L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (3)$$

Como hemos visto anteriormente y hemos consignado en la



tablita, el valor de $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ es menor que uno siempre, por tanto de la fórmula (3), se desprende siempre que:

$$L' < L$$

lo que quiere decir: la medida L' de la longitud de la plataforma de la estación de ferrocarril que está en un sistema fijo, hecha desde un sistema móvil, es menor que la medida L de la misma plataforma hecha desde el sistema fijo.

Entonces, según la Relatividad Especial, no es lo mismo medir una longitud desde un sistema móvil, con velocidad constante, que desde un sistema fijo.

En esto consiste la "contracción de longitud" o la "contracción de Lorentz-Fitzgerald" que han sido los primeros en calcularla.

Para calcular la cuantía de esta contracción que, de acuerdo con la fórmula (3), depende de la velocidad del sistema.

Consideremos el valor de la velocidad de un electrón sometido a una alta energía de 10 millones de voltios, en la que alcanza a $0.9988c$ ($0.9988 \times 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$). Luego:

$$v = 0.9988c ; \sqrt{1 - v^2/c^2} = \sqrt{1 - (0.9988c/c)^2} = 0.0489 ; \text{ luego:}$$

$$L' = L \times 0.0489 \quad . \text{ En consecuencia:}$$

" Un kilómetro se reduce a 0.0489 Km a la velocidad de un electrón sometido a esta energía ".

El efecto de la contracción depende de la velocidad del sistema y, como hemos demostrado, este efecto se debe a la dilatación de los tiempos.

La realidad de este efecto se aprecia en los trabajos que -

se realizan en los Laboratorios de alta energía, donde se utilizan partículas que poseen velocidades muy cercanas a la velocidad de la luz.

Una situación típica en que los intervalos de longitud parecen contraídos y los relojes parecen marchar más rápido puede encontrarse en el haz de mesones " Pi " producidos por uno de los modernos aceleradores gigantes. En tales máquinas se aceleran los protones casi desde el reposo hasta energías extremas, haciéndolos incidir entonces sobre un blanco de metal. Uno de los productos de estas colisiones es un haz de mesones " Pi " muy rápidos.

" Estas son las partículas que producen las fuerzas nucleares que mantienen unidos los núcleos atómicos ".

En algunos casos, estos mesones o piones son frenados enviándolos a través de una gruesa pared de concreto o hierro, y entonces son detectados en otro blanco. Aquí los piones positivos decaerán ya que son radiactivos. Las partículas hijas son mesones y neutrinos.

Es necesario anotar que:

" La contracción de la longitud ocurre sólo para medidas paralelas a la dirección del movimiento relativo, mientras que no alteren sus dimensiones perpendiculares ".

La fig. 4 nos demuestra que la contracción de una longitud L sucede solo en dirección del movimiento; en consecuencia, las dimensiones en " y " y " z " permanecen constantes. Cuando la varilla forma un ángulo θ con relación al eje de desplazamiento la contracción será con relación a este eje; en este caso el desplazamiento de la varilla está en dirección al eje " x ", como indica la figura (fig. 4).

Analizando la figura que a continuación se indica se tiene

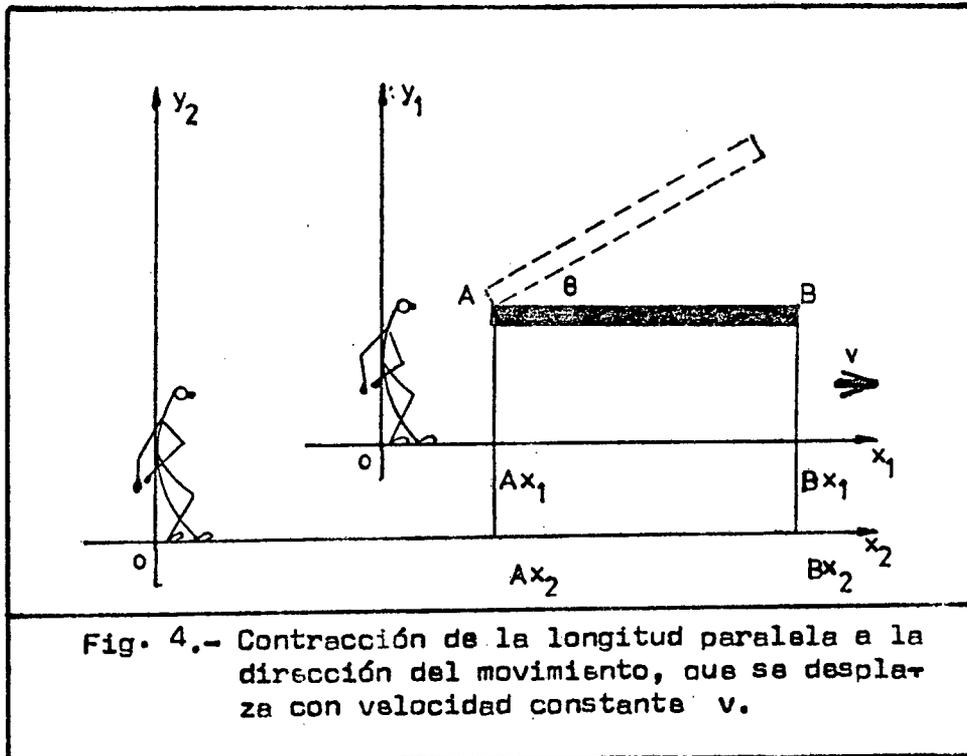


Fig. 4.- Contracción de la longitud paralela a la dirección del movimiento, que se desplaza con velocidad constante v .

Las longitudes según la fig. 4 son:

$$Bx_1 - Ax_1 = L'$$

$$Bx_2 - Ax_2 = L$$

Con relación a la fórmula (3), se deduce lo siguiente:

$$L' = L \cos\theta \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (4)$$

Del análisis realizado acerca del tiempo y longitud según la Teoría Especial Relativista, se tiene que no son " absolutos " como considera la Física Clásica; es decir: que para la Física Clásica el tiempo por ser absoluto será siempre Δt , mientras que -

para la Teoría Especial de la Relatividad es:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \text{ siendo } \Delta t > \Delta t'$$

De igual manera para la Física Clásica la longitud es absoluta, o sea: L ; y según la Teoría Especial de la Relatividad

$$L = \frac{L'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \text{ siendo } L > L'$$

De lo expuesto se puede sintetizar en la siguiente relación según la Física Clásica y la Teoría Especial de la Relatividad:

TABLA FORMULARIO No. 2		
VARIABLES	CINEMATICA CLASICA	CINEMATICA RELATIVISTA
TIEMPO	Δt	$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
LONGITUD	L	$L = \frac{L'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

Del análisis realizado se concluye lo siguiente:

- a) La longitud de un cuerpo que se mide es mayor - cuando este está en reposo con respecto al observador. Cuando el cuerpo se mueve a una velocidad constante "v" en relación con el observador, su longitud medida se contrae en la dirección de su movimiento por el factor $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ mientras que no se alteran sus dimensiones perpendiculares a la dirección del movimiento;
- b) Para una velocidad relativa pequeña especialmente si $v \rightarrow 0$, L se vuelve esencialmente igual a L' como en la Mecánica Clásica (Este es un ejemplo de correspondencia de Bohr);
- c) La longitud no es absoluta con el mismo valor - para todos los observadores;
- d) La longitud depende de la velocidad relativa entre el observador y el cuerpo móvil;
- e) Si el factor de Lorentz $\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ a de tener un valor real y no imaginario, "v" debe ser siempre menor que "c";
- f) La contracción de la longitud ocurre solo para medidas paralelas a la dirección del movimiento relativo.

Para encontrar las fórmulas nuevas de suma de velocidades y su aceleración según la Teoría Especial de la Relatividad y relacionar con las fórmulas de la Física Clásica, se debe tener presente el concepto analítico de velocidad y aceleración como también las fórmulas de transformación de Lorentz, que a continuación se indican.

c) DEDUCCION DE LAS TRANSFORMACIONES DE LORENTZ-FIZGERALD

Por primer postulado, si conocemos las coordenadas espacio-temporales (x , y , z , t) de un punto de un sistema fijo, podemos pasar a las coordenadas (x' , y' , z' , t') con respecto a un sistema móvil. Por las fórmulas de transformación de la Geometría Analítica, se tiene:

$$x' = a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z + a_{14}t$$

$$y' = a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z + a_{24}t$$

$$z' = a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z + a_{34}t$$

$$t' = a_{41}x + a_{42}y + a_{43}z + a_{44}t$$

que son ecuaciones homogéneas donde falta el término independiente

Si los ejes están dispuestos según la fig. 5 , de las fórmulas anteriores evidentemente queda:

$$x' = a_{11}x + a_{14}t$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = a_{41}x + a_{44}t$$

Tenemos que determinar los valores de los cuatro coeficientes, en base de conocimientos fundamentales aprendidos en Bachillerato.

Para esto pensemos que si $x' = 0$, el punto parecerá mover

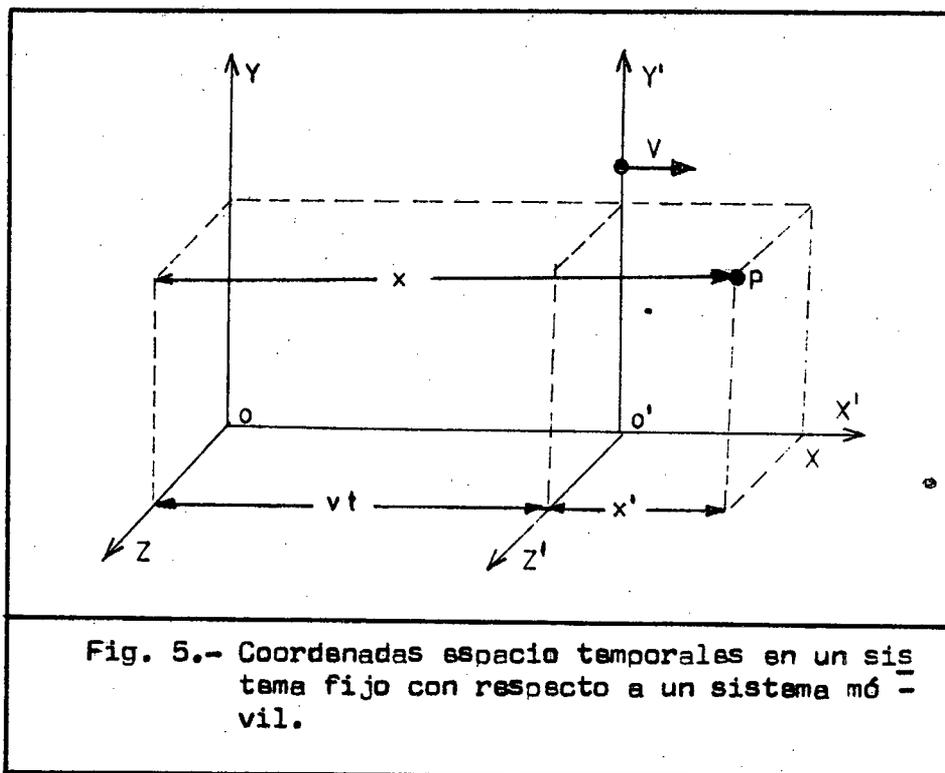


Fig. 5.- Coordenadas espacio temporales en un sistema fijo con respecto a un sistema móvil.

se según el eje positivo "x" con velocidad "v", por lo cual escribir $x' = 0$ es idéntico a $x = vt$; luego: $x - vt = 0$ y tendremos idénticamente:

$$\begin{aligned}
 x' &= x - vt ; \\
 x' &= a_{11} (x - vt) \Rightarrow \left[\begin{array}{l} x' = a_{11} (x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = a_{41}x + a_{44}t \end{array} \right. \quad (1)
 \end{aligned}$$

En consecuencia, una de las formas más sencillas de obtener las transformaciones de Lorentz y de fácil comprensión para los alumnos de Bachillerato sería la siguiente, pensemos que tenemos: - las fórmulas :

$$x' = a_{11} (x - vt) \quad (2)$$

y de un sistema móvil a un fijo:

$$x = a_{11} (x' + vt') \quad (3)$$

Pensemos que en el origen del sistema fijo (suponiendo que los orígenes coinciden), tenemos un bombillo.

El recorrido de la luz a lo largo de x será:

$$x = ct$$

y a lo largo de x' :

$$x' = ct'$$

reemplazando estos valores en la (1) y (2), tenemos:

$$ct' = a_{11} (ct - vt) = a_{11} t (c - v)$$

$$ct = a_{11} (ct' + vt') = a_{11} t' (c + v)$$

multiplicando miembro a miembro, se tiene:

$$c^2 t t' = a_{11}^2 t t' (c^2 - v^2) \Rightarrow c^2 = a_{11}^2 (c^2 - v^2)$$

$$a_{11}^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2} \Rightarrow a_{11}^2 = \frac{1}{1 - v^2/c^2}$$

$$a_{11} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Ahora, sustituyendo este valor en la primera ecuación de (1), podemos escribir:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

su simétrica

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Para obtener la relación del tiempo, sustituyendo x en x' de (1), tenemos:

$$x' = a_{11} (x - vt)$$

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \left[\frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - vt \right]$$

$$x' = \frac{x' + vt'}{1 - v^2/c^2} - \frac{vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\frac{vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{x' + vt'}{1 - v^2/c^2} - x'$$

$$\frac{vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{x' + vt' - x' + v^2/c^2 \cdot x'}{1 - v^2/c^2}$$

$$t = \frac{t' + v/c^2 \cdot x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Luego

$$t' = \frac{t - v^2/c^2 \cdot x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Del análisis realizado, nos queda como conclusión las si -

güientes ecuaciones:

TABLA FORMULARIO No. 3	
EcuACIONES DE TRANSFORMACION DE LORENTZ	
$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$	$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
$y' = y$	$y = y'$
$z' = z$	$z = z'$
$t' = \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$	$t = \frac{t' + (v/c^2)x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

d) EcuACIONES RELATIVISTAS DE TRANSFORMACION DE VELOCIDADES Y SU RELACION CON LAS DE LA FISICA CLASICA

SUMA DE VELOCIDADES:-

Según la Física Clásica, la suma de dos o más velocidades - se obtiene, simplemente, con una operación algebraica o vectorial de los datos, aprendida en las aulas de Bachillerato:

$$v = v_1 + v_2$$

Según la relatividad, dado que se tiene la velocidad de la luz como velocidad límite, este procedimiento no se puede aceptar.

Para encontrar la nueva fórmula de la suma de velocidades, tengamos presente el concepto analítico de velocidad y las fórmulas de transformación de Lorentz.

En " Física Clásica " la velocidad de una partícula es la derivada primera del espacio con respecto al tiempo, y tenemos en general:

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

La fórmula la podemos expresar así, siendo dx y dt dos diferenciales: - " La velocidad es la razón entre la derivada de espacio con respecto a la diferencial de tiempo " -

Aplicando este concepto de Física Clásica, encontramos las diferenciales de las coordenadas del punto dadas por las transformaciones de Lorentz, según la Teoría Especial de la Relatividad.

Sabemos por las transformaciones de Lorentz que:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

y

$$t = \frac{t' + (v/c^2)x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Aplicando diferenciales encontramos que:

$$dx = \frac{dx' + vdt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (2)$$

La derivada de t será, lo que a continuación se indica - en base a conocimientos de Matemática de Bachillerato:

$$dt = \frac{dt' + (v/c^2)dx'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

o también:

$$dt = \frac{[dt'/dt' + (v/c^2)dx'/dt'] dt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

de donde se tiene:

$$\boxed{dt = \frac{(1 + v/c^2 \cdot v_x) dt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}} \quad (3)$$

Aplicando los valores de (2) y (3) en la fórmula (1), correspondiente a la "fórmula general de Física Clásica", se tiene:

$$v_x = \frac{dx}{dt} ; \text{ o sea: } v_x = \frac{\frac{dx' + v dt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}}{\frac{(1 + v/c^2 \cdot v_x) dt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}}$$

Simplificando tenemos:

$$v_x = \frac{dx' + v dt'}{(1 + v/c^2 \cdot v_x) dt'}$$

Luego, de lo analizado se deduce:



$$v_x = \frac{v_{x'} + v}{1 + v/c^2 \cdot v_{x'}} \quad (4)$$

Esta fórmula expresa la suma de las velocidades según la Teoría Especial de la Relatividad, y también la velocidad de un punto en el sistema fijo, conociendo la del sistema móvil. La fórmula representa el " Teorema relativista de Einstein de la suma de las velocidades ".

Obsérvese que cuando "v" es muy pequeña comparada con "c" de la fórmula anterior, evidentemente, se obtiene la de la Física Clásica $v_x = v_{x'} + v$

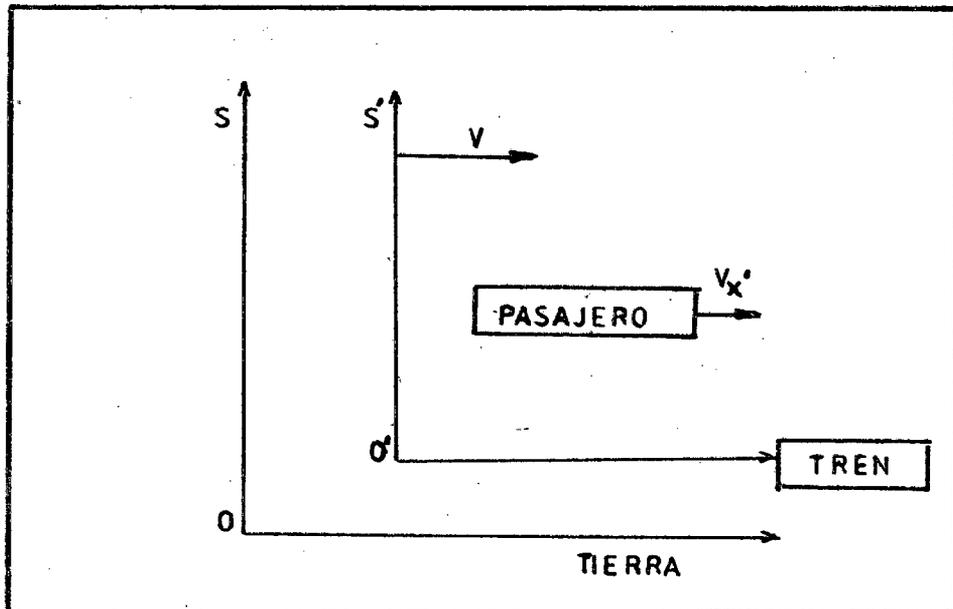


Fig. 6.- Esquema del sistema utilizado para deducir las ecuaciones para la adición relativista de velocidades.

Para obtener v_y , tenemos:

$$\boxed{v_y = \frac{dy}{dt}} \quad (5)$$

Por las transformaciones de Lorentz y sus derivadas se tiene:

$$dy = dy' \quad (6)$$

$$dt = \frac{(1 + v/c^2 \cdot v_{x'}) dt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (7)$$

Reemplazando en v_y se tiene:

$$v_y = \frac{dy'}{(1 + v/c^2 \cdot v_{x'}) dt'} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Luego:

$$\boxed{v_y = \frac{v_{y'} \sqrt{1 - v^2/c^2}}{(1 + v/c^2 \cdot v_{x'})}} \quad (8)$$

De forma similar, se tiene:

$$\boxed{v_z = \frac{v_{z'} \sqrt{1 - v^2/c^2}}{(1 + v/c^2 \cdot v_{x'})}} \quad (9)$$

Por consiguiente, conocidas las velocidades del sistema móvil, obtenemos las velocidades según el sistema fijo.

Según las relaciones, expresamos las simétricas:

$$v_{x'} = \frac{v_x - v}{1 - v/c^2 \cdot v_x} ;$$

$$v_{y'} = \frac{v_y \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - v/c^2 \cdot v_x} ;$$

$$v_{z'} = \frac{v_z \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - v/c^2 \cdot v_x} .$$

Ahora bien, si $v_{x'} = c$, o sea la velocidad de la luz - (por ejemplo el movimiento de un fotón), resulta:

$$v_x = \frac{c + v}{1 + v \cdot c/c^2} = \frac{c + v}{c + v/c} = \frac{c(c + v)}{c + v} = c$$

Luego $v_x = c$

Lo que nos permite concluir que la velocidad de la luz no se suma con ninguna velocidad. " La máxima velocidad que existe - es la de la luz " .

El teorema de la suma de velocidades de Einstein puede utilizarse para explicar los resultados observados de los experimentos ideados para comprobar distintas teorías acerca de velocidades, de manera especial de partículas aceleradas con alta energía.

El resultado básico de estos experimentos es que la luz es independiente de la velocidad de la fuente.

TABLA FORMULARIO No. 4			
VARIABLES	C. CLASICA	CINEMATICA RELATIVISTA	
VELOCIDAD	$v = \frac{dx}{dt}$		
SUMA DE VELOCIDAD	$v = v_1 + v_2$	$v_x = \frac{v_{x'} + v}{1 + (v/c^2)v_{x'}}$ $v_y = \frac{v_{y'} \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + (v/c^2)v_{x'}}$ $v_z = \frac{v_{z'} \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + (v/c^2)v_{x'}}$	$v_{x'} = \frac{v_x - v}{1 - (v/c^2)v_x}$ $v_{y'} = \frac{v_y \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - (v/c^2)v_x}$ $v_{z'} = \frac{v_z \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - (v/c^2)v_x}$

De lo expuesto se puede concluir lo siguiente:

- a) Sumando relativísticamente dos velocidades, menores que la velocidad de la luz, se obtiene una velocidad que siempre es menor que la velocidad de la luz; o sea: " la velocidad de la luz es mayor que la suma de dos velocidades cualesquiera.
- b) Cualquier velocidad (menor que c) relativísticamente sumada a c da una resultante c .
- c) Si v_x , y v son muy pequeñas comparadas con c , se reducen a la suma de velocidades de Física Clásica, o sea: $v = v_x + v$.
- d) La máxima velocidad que existe es la de la luz.

e) ECUACIONES RELATIVISTAS DE TRANSFORMACION DE LA ACELERACION Y SU RELACION CON LAS DE FISICA CLASICA

La aceleración de una partícula en cualquier momento dado, llamada aceleración instantánea, se define:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Pero esta fórmula en Física Clásica la podemos interpretar así, siendo " dv " y " dt " dos diferenciales: " la aceleración es la razón entre una diferencial de velocidad y una diferencial de tiempo ".

Aplicando este concepto, encontramos entonces, las diferen
ciales de las coordenadas del punto dadas por las transformacio -
nes de Lorentz, para encontrar la transformación de la aceleración
según la Teoría Especial de la Relatividad.

Vamos a determinar la aceleración en un sistema fijo, con
cida la aceleración en un sistema móvil.

Si se tiene la razón:

$$\boxed{a_x = \frac{dv_x}{dt}} \quad (1)$$

Derivando el término dv_x , se tiene:

$$dv_x = d \left[\frac{v_{x'} + v}{1 + (v/c^2)v_{x'}} \right]; \text{ luego:}$$

$$dv_x = \frac{dv_{x'} \left[1 + (v/c^2)v_{x'} \right] - (v/c^2)dv_{x'}(v_{x'} + v)}{\left[1 + (v/c^2)v_{x'} \right]^2};$$

$$dv_x = \frac{dv_{x'} + (v/c^2)v_{x'}dv_{x'} - (v/c^2)v_{x'}dv_{x'} - (v^2/c^2)dv_{x'}}{\left[1 + (v/c^2)v_{x'} \right]^2}$$

Simplificando tenemos finalmente:

$$dv_{x'} = \frac{dv_{x'}(1 - v^2/c^2)}{\left[1 + (v/c^2)v_{x'}\right]^2} \quad (2)$$

La derivada del tiempo resulta de la transformación de Lorentz:

$$t = \frac{t' + (v/c^2)x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

De donde se tiene:

$$dt = \frac{dt' + (v/c^2)dx'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Dividiendo y a la vez multiplicando el numerador por el término dt' , se tiene:

$$dt = \frac{\left[1 + (v/c^2)v_{x'}\right] dt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (3)$$

Reemplazando (2) y (3) en (1), se tiene:

$$a_x = \frac{\frac{dv_{x'}(1 - v^2/c^2)}{(1 + v/c^2 v_{x'})^2}}{(1 + v/c^2 v_{x'}) dt'} \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Luego:

$$a_x = \frac{(1 - v^2/c^2)^{3/2} a_{x'}}{(1 + v/c^2 v_{x'})^3} \quad (4)$$

En la misma forma para $a_{x'}$, se tendrá:

$$a_{x'} = \frac{(1 - v^2/c^2)^{3/2} a_x}{(1 - v/c^2 v_x)^3}$$

Para a_y , tenemos:

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} \quad (1)$$

Conocidos los valores de v_y y dt , se tiene:

$$v_y = \frac{v_{y'} \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + v/c^2 v_{x'}} \quad y \quad dt = \frac{(1 + v/c^2 v_{x'}) dt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$dv_y = \frac{dv_{y'} \sqrt{1 - v^2/c^2} (1 + v/c^2 v_{x'}) - v/c^2 \cdot dv_{x'} v_{y'} \sqrt{1 - v^2/c^2}}{(1 + v/c^2 v_{x'})^2} ;$$

$$dv_y = \frac{\sqrt{1 - v^2/c^2} [dv_{y'} (1 + v/c^2 v_{x'}) - v/c^2 \cdot dv_{x'} v_{y'}]}{(1 + v/c^2 v_{x'})^2} ;$$

$$dv_y = \frac{\sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + v/c^2 v_{x'}} \left[dv_{y'} - \frac{v/c^2 \cdot dv_{x'} v_{y'}}{1 + v/c^2 v_{x'}} \right] ;$$

Como $a_y = \frac{dv_y}{dt}$, reemplazando se tiene:

$$a_y = \frac{\frac{\sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + v/c^2 v_{x'}} \left[dv_{y'} - \frac{v/c^2 \cdot dv_{x'} v_{y'}}{1 + v/c^2 v_{x'}} \right]}{(1 + v/c^2 v_{x'}) dt' \sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Luego:

$$a_y = \frac{(1 - v^2/c^2) \left[dv_{y'}/dt' - \frac{(v/c^2) dv_{x'} \cdot v_{y'}/dt'}{1 + (v/c^2)v_{x'}} \right]}{(1 + v/c^2 \cdot v_{x'})^2}$$

Según el eje z , la aceleración queda:

$$a_z = \frac{(1 - v^2/c^2) \left[dv_{z'}/dt' - \frac{(v/c^2) dv_{x'} \cdot v_{z'}/dt'}{1 + (v/c^2)v_{x'}} \right]}{(1 + v/c^2 \cdot v_{x'})^2}$$

Haciendo una relación de la aceleración según la Física Clásica, con las fórmulas de la aceleración de la Teoría Especial de la Relatividad, se tiene:

" Si v/c^2 se puede despreciar, las relaciones anteriores se reducen a las fórmulas de la Física Clásica ".

Del análisis realizado acerca de la aceleración mediante principios relativistas, y conocimientos básicos de Física Clásica aprendidos en las aulas de Bachillerato, se puede sintetizar las siguientes relaciones, mediante la tabla formulario No. 5:



TABLA FORMULARIO No. 5		
VARIABLES	C. CLASICA	CINEMATICA RELATIVISTA
ACELERACION	$a = \frac{dv_x}{dt}$	$a_x = \frac{(1 - v^2/c^2)^{3/2} a_{x'}}{(1 + v/c^2 v_{x'})^3}$ $a_y = \frac{(1 - \frac{v^2}{c^2}) \left[\frac{dv_{y'}}{dt'} - \frac{(v/c^2) dv_{x'} v_{y'} / dt'}{1 + v/c^2 v_{x'}} \right]}{(1 + v/c^2 v_{x'})^2}$ $a_z = \frac{(1 - \frac{v^2}{c^2}) \left[\frac{dv_{z'}}{dt'} - \frac{(v/c^2) dv_{x'} v_{z'} / dt'}{1 + v/c^2 v_{x'}} \right]}{(1 + v/c^2 v_{x'})^2}$

De lo expuesto se puede concluir lo siguiente:

- a) La aceleración de una partícula depende de cual sea el marco de referencia inicial en el que se mida dicha aceleración (a diferencia del resultado galileano donde $a_{x'} = a_x$).
- b) Los resultados relativistas delimitan la validez de los resultados clásicos a los casos en que v_x y v son muy pequeñas, comparadas con " c " ($a_{x'} \rightarrow a_x$, mientras que v_x/c y $v/c \rightarrow 0$).

=====

2.1.2.- DE LA DINAMICA CLASICA A LA DINAMICA RELATIVISTA

=====

En la Física Clásica el concepto de masa, masa de inercia , en ninguna manera implica una dependencia de la velocidad; la masa de un cuerpo es una constante y, según la fórmula de Newton que se indica $F = m.a$, expresa la razón constante entre fuerza y aceleración.

Así, el concepto de fuerza, que se puede expresar como la derivada de la cantidad de movimiento con respecto al tiempo:

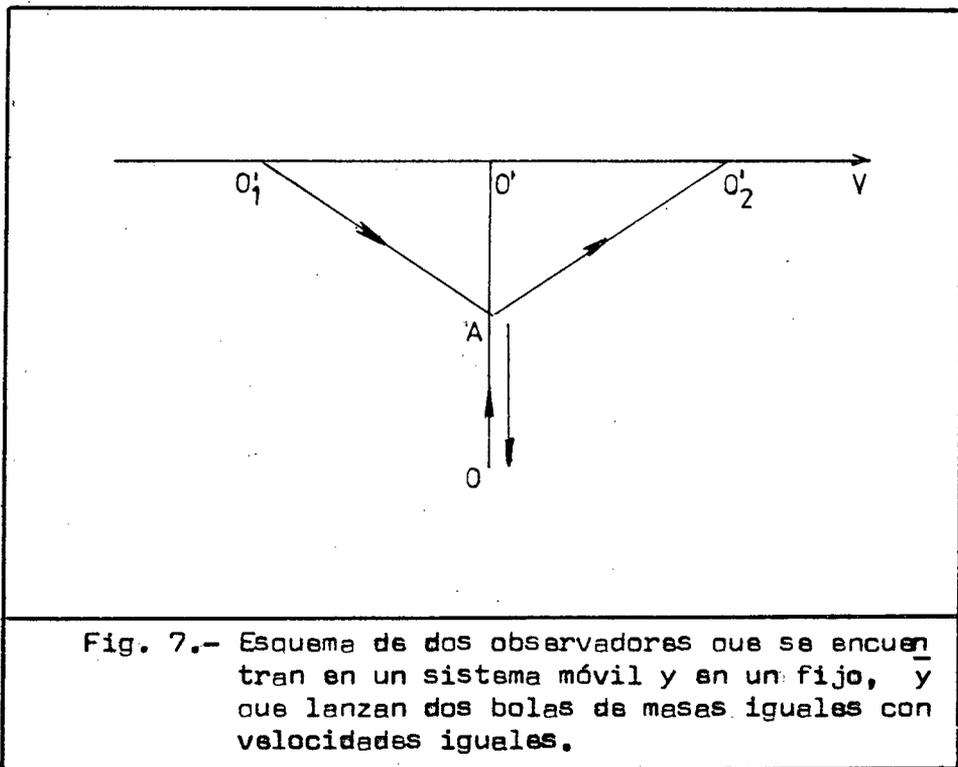
$F = d/dt(m.v)$, según una fórmula debida a Maupertuis, no implica una variación de la masa; también este caso la masa es una constante.

También según la Física Clásica, el concepto de energía está ligado a una velocidad (Energía Cinética), o a la posición de un cuerpo (Energía Potencial); en ningún caso, en la Física Clásica, se habla de equivalencia entre masa y energía.

" Para la Relatividad Especial, estos conceptos tienen otra formulación muy diferente, como vamos a ver a continuación.

a) ECUACION DE LA MASA Y MOMENTO LINEAL DE ACUERDO A LA TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

Para deducir esta ecuación pensemos que dos observadores uno en el sistema móvil y otro en el sistema fijo, lanzan dos bolas de masas iguales con velocidades iguales para que choquen entre si, como indica la fig. 7.



Para que este choque pueda realizarse, el observador en el sistema móvil debe lanzar su bola desde O'_1 de manera tal que choque en A con la bola lanzada por el otro observador desde O. Evidentemente se tendrá $OA = O'A$ y el recorrido de la bola, según el sistema móvil será:

$$O'_1A + AO'_2 \quad ; \text{ en cambio, el recorrido}$$

según el sistema fijo será:

$$OA + AD$$

Ahora bien, cuando el observador en el sistema fijo, se da cuenta que su bola regresa con la misma velocidad, opina también - que para el observador en el sistema móvil la bola regresará con la misma velocidad con que ha sido lanzada; en consecuencia, se odrá escribir:

$$m \cdot v = m_1 \cdot v_1 \quad (1)$$

Siendo $m \cdot v$ = cantidad de movimiento de la bola según el sistema fijo y $m_1 \cdot v_1$ = cantidad de movimiento, según el sistema móvil.

Pero, mientras que para el sistema fijo ha pasado el tiempo Δt , para el sistema móvil ha transcurrido el tiempo:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Por lo tanto, si para el sistema fijo la velocidad es:

$$v = \frac{OA}{\Delta t} ;$$

para el sistema móvil será:

$$v_1 = \frac{O'A}{\Delta t'} \sqrt{1 - v^2/c^2} ;$$

Luego:

$$v_1 = v \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1), tenemos:

$$m \cdot v = m_1 \cdot v \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad ;$$

O sea:

$$m = m_1 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad ;$$

De lo cual se tiene:

$$m_1 = \frac{m}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (3)$$

La fórmula (3) nos dice a las claras que el valor de la masa m_1 , de la bola en el sistema móvil, es mayor que la masa de la bola en el sistema fijo; entonces debemos decir que la masa de un cuerpo varía con la velocidad, o en otras palabras, la masa es una función de la velocidad.

En general la fórmula (3), en la Teoría Especial de la Relatividad se puede escribir:

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

Donde m_0 es la masa en quietud o en reposo.

En consecuencia, los postulados de Einstein permiten revelar conceptos de la Mecánica Clásica para la cantidad de movimiento. De acuerdo a la " Mecánica Clásica que se da en Bachillerato ", el momento lineal de un cuerpo con masa inicial " m " y velocidad " v " se define por la ecuación:

$$P = m \cdot v$$

Por lo tanto, a fin de que la conservación del impulso en colisiones sea una ley experimentalmente válida en todos los sistemas de referencia, la cantidad de movimiento no debe definirse como: $m \cdot v$, sino como:

$$P = \frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Puesto que según la ecuación (4) se tiene que:

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

En consecuencia, las componentes del impulso o cantidad de

movimiento se puede expresar en la siguiente forma:

$P_x = \frac{m_0 \cdot v_x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
$P_y = \frac{m_0 \cdot v_y}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
$P_z = \frac{m_0 \cdot v_z}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

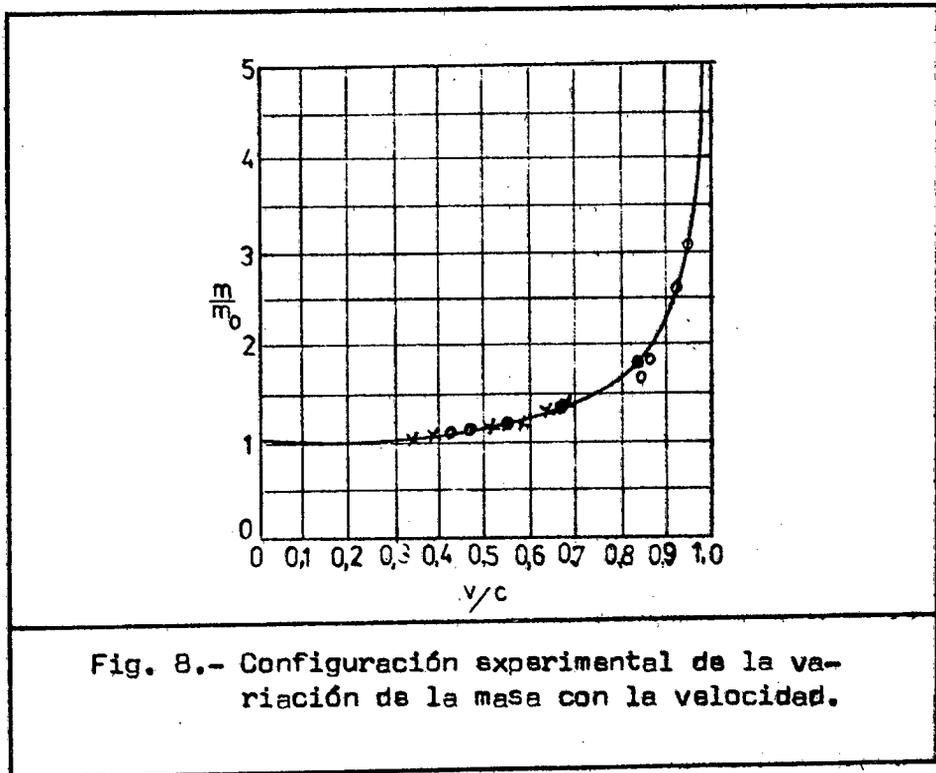
las cuales indicamos explícitamente para enfatizar que la magnitud "v" de la velocidad total aparece en el denominador de cada ecuación. Tenemos aún que verificar que esta expresión para el momento satisface los principios de relatividad.

La variación de la masa con la velocidad según la (4), está ilustrada en la fig: 8. Esta figura es fundamental ya que la constante de la transformación de Lorentz, está dada en términos de v/c. En ella puede verse que solamente a muy altas velocidades hay un aumento notable de la masa de la partícula. En el mundo microscópico es muy fácil encontrar partículas cuyas velocidades se aproximan a la de la luz. Un electrón acelerado mediante un potencial de 10 millones de voltios, valor fácil de obtener, alcanza una velocidad "v" de 0,9988c.

Por ejemplo, aun para $v = 0,5c$, $m/m_0 = 1,15$, o sea solamente hay un 15 % de aumento de la masa.

La línea del gráfico es una curva basada en la ecuación de la masa relativista (4), donde m_0 es una constante de cada partícula llamada " masa en reposo ", ya que m es el valor cuando la

velocidad $v = 0$, esto es, cuando la partícula está en reposo con respecto al observador.



La figura nos indica que la línea es una curva basada en la ecuación (4), es decir:

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

donde m_0 es una constante, llamada masa en reposo, y m masa de la partícula en reposo con respecto al observador $v = 0$.

En la figura, los datos experimentales de W. Kaufmann (1901) se indican con círculos abiertos; los de A. Bucherer (1909) con círculos negros, y los de C. Guye y C. Lavanchy (1915) con cruces.

Del análisis realizado acerca de la masa y cantidad de movi

miento, se puede sintetizar en la siguiente relación, según la Física Clásica y la Teoría Especial de la Relatividad.

TABLA FORMULARIO No. 6		
VARIABLES	DINAMICA CLASICA	DINAMICA RELATIVISTA
MASA	m	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
MOMENTO LINEAL	$P = m \cdot v$	$P = \frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
COMPONENTES DEL IMPULSO		$P_x = \frac{m_0 \cdot v_x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ $P_y = \frac{m_0 \cdot v_y}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ $P_z = \frac{m_0 \cdot v_z}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

Del análisis presentado, se puede obtener las siguientes conclusiones:

- a) La masa de un cuerpo no es, en general, una constante ni la misma para todos los observadores, sino que es una cantidad que depende del marco de referencia desde el cual es observado el cuerpo;
- b) La masa " m " es menor que o igual a " m₀ " cuando el cuerpo está en reposo en el marco de referencia desde el cual el cuerpo es observado;
- c) " La masa m de un sistema móvil es mayor que la masa del sistema fijo " y es inversamente proporcional al factor de Lorentz:

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

- d) Las propiedades del factor de Lorentz, hacen que la masa se vuelva muy grande y tienda finalmente a infinito, a medida que la velocidad relativa se aproxime a c, es decir: cuando $v \rightarrow c$, $v^2/c^2 \rightarrow 1$. O sea: La masa relativista "m" de un cuerpo que se desplaza a una velocidad "v", varía en función de "v";
- e) " La masa de un cuerpo no depende de su aceleración con respecto al sistema de referencia, aunque si depende de su velocidad ";
- f) " La masa en reposo " m₀ " se le llama "masa propia" por que es la masa del cuerpo que se

mide, igual que en el caso de la longitud propia y el tiempo propio - en el sistema inercial en el cual el cuerpo se encuentra en reposo.

g) De acuerdo con la fórmula de masa, la expresión relativista para el momento lineal es:

$$P = \frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

b) ECUACION DE LA FUERZA SEGUN LA TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD -

DAD

Aunque las leyes de la Mecánica Clásica no son lo suficientemente universales para incluir efectos relativistas, la fórmula de la segunda ley de Newton,

$$F = d/dt(m \cdot v)$$

(1)

Derivando con respecto a la masa, tenemos:

$$F = v \cdot dm/dv \cdot dv/dt + m \cdot dv/dt$$

Luego:

$$F = (v \cdot dm/dv + m) dv/dt$$

(2)

A la expresión: $v \cdot dm/dv + m$, se le denomina "Masa Longitudinal" y se la indica con m_1 , por lo tanto:

$$\boxed{m_1 = m + v \cdot dm/dv} \quad (3)$$

Si en la (3) reemplazamos con $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ y derivando,

obtenemos:

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + v \cdot d/dv \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right)$$

$$m_1 = m_0 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + v \cdot d/dv \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right) \right]$$

$$m_1 = m_0 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + v(-1/2)(-2v/c^2)(1 - v^2/c^2)^{-3/2} \right]$$

$$m_1 = m_0 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + \frac{v^2/c^2}{\sqrt{(1 - v^2/c^2)^3}} \right]$$

$$m_1 = m_0 \left[\frac{1 - v^2/c^2 + v^2/c^2}{\sqrt{(1 - v^2/c^2)^3}} \right]$$

Simplificando las ecuaciones anteriores, nos queda finalmente

te lo siguiente:

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{(1 - v^2/c^2)^3}} \quad (4)$$

La ecuación (4), expresa la masa longitudinal. Por lo tanto, reemplazando la (4) en la (2) se tendrá:

$$F = \frac{m_0}{\sqrt{(1 - v^2/c^2)^3}} \cdot dv/dt$$

O también:

$$F = \gamma^3 \cdot m_0 \cdot a$$

La ecuación anterior, se la puede expresar en la siguiente forma:

$$F = \frac{m}{1 - v^2/c^2} \cdot dv/dt$$

Ya que dv/dt es la aceleración, concluimos que para una partícula de alta energía la ecuación $F = m \cdot a$ no es respetada en el movimiento rectilíneo. Por otra parte, en el caso de movimiento circular uniforme, la velocidad permanece constante en magnitud pero no en dirección y la ecuación se transforma en la siguiente expresión:

$$F = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot dv/dt = m \cdot dv/dt$$

Pero dv/dt es entonces la aceleración normal o centrípeta cuya magnitud es v^2/R , donde R es el radio de la circunferencia quedando la fuerza centrípeta o centrífuga, expresada:

$$F = m \cdot v^2/R$$

" Así, la segunda ley de Newton cubre el caso del movimiento circular relativista ".

También se encuentra que los experimentos concuerdan con la ecuación anterior. Por ejemplo, cuando se investiga el movimiento de partículas cargadas de alta energía y en consecuencia, alta velocidad, se encuentra que la ecuación que describe correctamente el movimiento es:

$$q(E + v \cdot B) = d/dt \cdot \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

La expresión $q(E + v \cdot B)$ es la fuerza electromagnética - de Lorentz, en que E es el campo eléctrico, B el campo magnético y v la velocidad de la partícula, todas medidas en el mismo sistema de referencia, mientras que q y m_0 son constantes que describen las propiedades eléctricas (carga) e inerciales (masa en reposo) de la partícula respectivamente.

De todo lo expuesto acerca de la Fuerza, se puede sinteti -

zar en la siguiente relación, según la Física Clásica y la Teoría - Especial de la Relatividad.

TABLA FORMULARIO No. 7		
VARIABLES	DINAMICA CLASICA	DINAMICA RELATIVISTA
FUERZA (En el Movimiento Rectilíneo);	$F = m \cdot a$	$F = \frac{m_0}{\sqrt{(1 - v^2/c^2)^3}} \frac{dv}{dt}$ <p>O también:</p> $F = \gamma^3 \cdot m_0 \cdot a$
FUERZA (En el Movimiento Circular Uniforme);	$F = m \cdot v^2/R$	$F = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot v^2/R$ <p>O también:</p> $F = m \cdot v^2/R$

Del análisis realizado acerca de la Fuerza según la Teoría -

Especial de la Relatividad, se desprende algunas conclusiones concretas, que pueden resumirse en las siguientes:

- a) La fuerza en el sistema en que la partícula se encuentra instantáneamente en reposo es mayor que la fuerza correspondiente en cualquier otro sistema;
- b) La fuerza observada desde un marco de referencia no es $F = m \cdot a$, sino que es inversamente proporcional al cubo del factor de Lorentz:

$$\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-3/2} ;$$

- c) Para una partícula de alta energía la segunda Ley de Newton no es respetada en el movimiento rectilíneo, según la Teoría Especial de la Relatividad;
- d) La segunda Ley de Newton cubre el caso del movimiento circular relativista;
- e) En el caso del movimiento circular uniforme, la velocidad permanece constante en magnitud pero no en dirección y la ecuación se transforma en:

$$F = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot dv/dt$$

O también: $F = m \cdot v^2/R$

c) ENERGIA CINÉTICA RELATIVISTA

Cuando la velocidad de una partícula se aproxima a valores relativistas, la expresión para la energía cinética debe ser cambiada a una forma relativista.

La energía cinética K , de una partícula, según la Mecánica Newtoniana, se define como el trabajo realizado por una fuerza externa para aumentar la velocidad de la partícula desde cero hasta algún valor v .

Para encontrar esta ecuación, según la relatividad especial, empecemos con la expresión del trabajo según la " Física Clásica ".

Si indicamos con dw un elemento de trabajo, sabemos según la Física Clásica que:

$$\boxed{dw = F \cdot v \cdot dt} \quad (1)$$

Pero según la Teoría Especial de la Relatividad, se tiene:

$$F = m \cdot dv/dt + v \cdot dm/dt$$

Reemplazando en la (1), resulta:

$$dw = (m \cdot dv/dt + v \cdot dm/dt) v \cdot dt$$

Simplificando se tiene lo siguiente:

$$dw = m \cdot dv \cdot v + v \cdot v \cdot dm$$

Luego se tiene lo siguiente:

$$dw = \frac{1}{2} m d(v^2) + (v^2) dm \quad (2)$$

Para encontrar (v^2) y su diferencial, recordemos que:

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

Luego:

$$\frac{m^2}{m_0^2} = \frac{1}{1 - v^2/c^2}$$

De la cual se tiene:

$$1 - v^2/c^2 = \frac{m_0^2}{m^2}$$

Luego:

$$v^2 = \left(1 - \frac{m_0^2}{m^2}\right) c^2$$

Una vez encontrado (v^2) , procedemos a diferenciar para obtener $d(v^2)$, y se tiene:

$$d(v^2) = \frac{2m \cdot m_0^2}{m^4} \cdot dm c^2$$

Simplificando el término m de la ecuación anterior se tiene, lo siguiente:

$$d(v^2) = \frac{2m_0^2}{m^3} \cdot dmc^2 \quad (3)$$

Sustituyendo la (3) en la (2), deducimos que:

$$dw = \frac{1}{2} m \cdot 2 \frac{m_0^2}{m^3} dmc^2 + \left(1 - \frac{m_0^2}{m^2}\right) c^2 dm$$

Luego:

$$dw = \frac{m_0^2}{m^2} dmc^2 + \left(1 - \frac{m_0^2}{m^2}\right) c^2 dm$$

$$dw = dmc^2 \quad (4)$$

Pero trabajo es igual a energía cinética, por lo tanto, si indicamos con dk un elemento de energía, siendo $dw = dk$, luego la fórmula (4), se escribirá:

$$dk = dmc^2$$

Integrando se tiene:

$$\int dk = \int_{m_0}^m dmc^2$$

Luego:

$$\int dk = c^2 \int_{m_0}^m dm$$

Luego: $k = c^2(m - m_0)$

O también:

$$k = mc^2 - m_0c^2$$

(5)

La ecuación (5) significa que cualquier cambio en la energía potencial interna del sistema, debido a una redistribución interna, puede ser expresado como el cambio en la masa del sistema como resultado de un cambio en la energía cinética interna.

Debido al factor " c^2 ", los cambios de masa son apreciables si los cambios en energía son muy grandes.

" Por esta razón el cambio en la masa resultante de transformaciones de energía es apreciable solo para interacciones nucleares o en física de alta energía, y es prácticamente despreciable en reacciones químicas ".

De la ecuación (5) se desprende que:

$$mc^2 = k + m_0c^2$$

Ahora bien mc^2 es igual a la energía total, y se la in-

dica con la letra E , o sea:

$$E = mc^2$$

Además:

k = Energía cinética

$m_0 c^2$ = Energía de la masa en reposo

De esto se desprende que:

$$E = k + m_0 c^2$$

De esta formulación se deduce que un cuerpo en reposo, por el simple hecho de poseer una masa m_0 , tiene una energía: $m_0 c^2$, donde c es la velocidad de la luz.

" En esto se vislumbra el concepto de equivalencia entre masa y energía que aparece claramente en la ecuación ":

$$E = mc^2$$

De hecho, si en esta colocamos en lugar de " m ", su valor en Kgms obtenemos la " E " en Joules, y viceversa, si colocamos en lugar de " E ", su valor en joules, obtenemos la masa en Kgms.

" Esta ecuación es fundamental para los cálculos de la energ

gía que se desorende en una reacción nuclear, como veremos más adelante ".

Ahora, vamos a ver como de la (5) se deduce la fórmula Clásica. Sabemos que:

$$k = mc^2 - m_0c^2$$

O también: $k = c^2(m - m_0)$

Luego: $k = c^2(\gamma m_0 - m_0)$

Factorando $k = c^2m_0(\gamma - 1)$

Luego: $k = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1\right)$

En consecuencia: $k = m_0c^2\left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} - 1\right]$

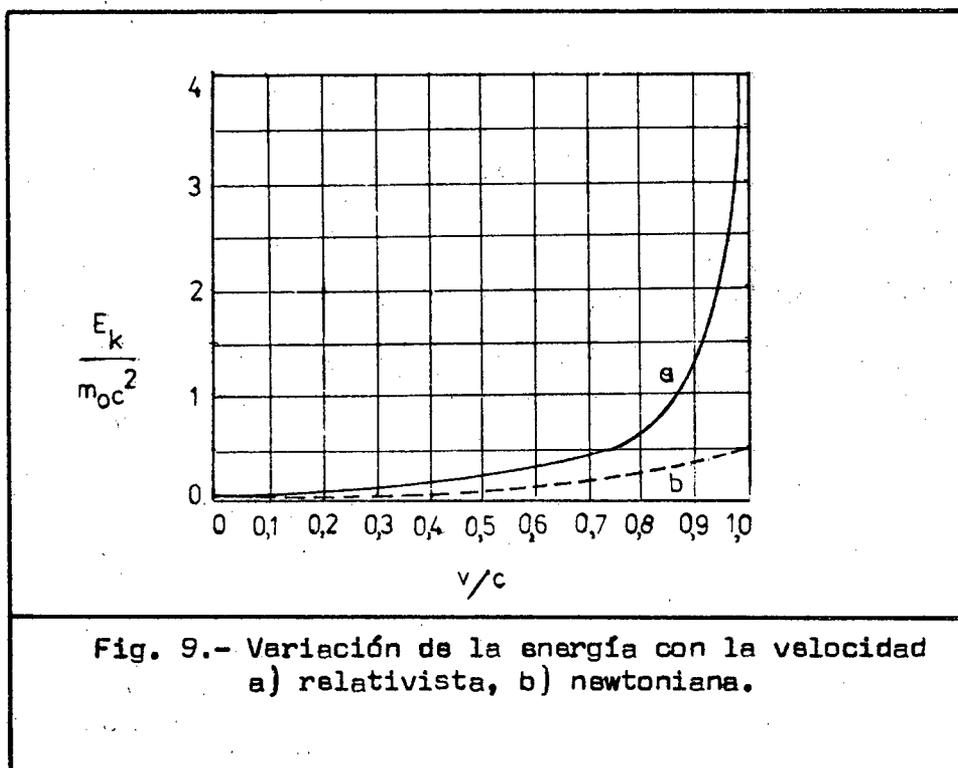
Por medio de la expresión binomial, se tiene:

$$k = \frac{1}{2}m_0v^2$$

La ecuación nos indica la fórmula de la energía cinética, - según la Física Clásica, donde el término "k" representa la energía cinética, " m₀ " la masa en reposo de la partícula y " v " - la velocidad de la partícula.

En la Fig. 9, se representa la variación de la energía cinética " k " dada por la ecuación $k = (m - m_0)c^2$, que ha sido indi

cada por la curva " a ", y la energía cinética Newtoniana, o sea: $E = \frac{1}{2}m_0 v^2$ por la curva " b ".



Esta figura nos demuestra claramente que, a igualdad de velocidades, la energía relativista es mayor que la newtoniana.

Debemos notar que las razones m/m_0 y $E_k/m_0 c^2$ son las mismas para todas las partículas que tienen la misma velocidad. Por tanto, dado a que la masa del protón es alrededor de 1850 veces la masa del electrón, los efectos relativistas en el movimiento de los protones son percibidos solamente en energías 1850 veces mayores.

Por esta razón el movimiento de protones y neutrones en los núcleos atómicos puede tratarse en muchos casos sin hacer consideraciones relativistas, mientras que el movimiento de los electrones requiere, en la mayoría de los casos experimentales, un tratamiento relativista.



d) ENERGÍA DE LA MASA EN REPOSO

La energía cinética de un cuerpo se la considera como una forma de "Energía Externa", en consecuencia, la energía de la masa en reposo " m_0 " puede considerarse como la energía "interna - del cuerpo". Esta energía interna consiste, en parte, del movimiento molecular, que cambia cuando el cuerpo absorbe o emite energía térmica, o bien, energía potencial intermolecular, que cambia cuando se producen las reacciones químicas (tales como disociación o recombinación). La interna también puede manifestarse como "Energía Potencial Atómica", que puede cambiar cuando un átomo absorbe radiación y se excita o emite radiación y se desexcita, o como "Energía Potencial Nuclear", que puede cambiar por reacciones nucleares. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la mayor contribución a la energía interna, es la energía total de masa en reposo proporcionada por las partículas "fundamentales" (electrones, protones y neutrones), a quienes se considera como la fuente primaria de energía interna.

Esta energía puede también cambiar como, por ejemplo, en los procesos de creación y aniquilamiento electrón - positrón. La masa en reposo de un cuerpo en general no es una constante; en vista de que, si no hay cambios en la energía interna de un cuerpo (o si se considera un sistema cerrado al que no se le transfiera energía) - entonces se puede considerar la masa en reposo del cuerpo (o del sistema) como constante. Como consecuencia, de la razón $m_0 = E_0/c^2$ donde "c" es una constante, " E_0 " constante, luego m_0 es también una constante según lo expuesto anteriormente.

El concepto de que la Energía Interna de una partícula es equivalente a la masa en reposo, permite en pensar en un conjunto de partículas. Por ejemplo, a veces se considera a un átomo como una partícula y se le asigna una masa en reposo, aunque se sabe que el átomo consta de muchas partículas con varias formas de energía interna. Además, se puede asignar una masa en reposo a cualquier

conjunto de partículas que se encuentran en movimiento relativo , en un sistema en el que el centro de la masa está en reposo (es decir, en el que el impulso resultante es cero). La masa en reposo del sistema como un todo incluye las contribuciones de la energía interna del sistema e la inercia.

En consecuencia, partiendo de la fórmula general de la Energía:

$$k = mc^2 - m_0c^2 \quad (1)$$

Donde k es la energía cinética, mc^2 energía total E y m_0c^2 energía en reposo.

Despejando m_0c^2 de la (1), tenemos:

$$m_0c^2 = mc^2 - k \quad (2)$$

De la formula (2) se puede definir que: " La energía de la masa en reposo es la diferencia de la energía total menos la energía cinética ", es decir:

$$E_0 = mc^2 - k$$

En consecuencia:

$$E_0 = m_0c^2 \quad (3)$$

Donde E_0 es la energía en reposo y m_0 la masa en reposo.

e) ENERGIA TOTAL Y ALGUNAS CONSECUENCIAS IMPORTANTES

Partiendo de la ecuación (5) de la energía cinética relativista, se tiene:

$$k = mc^2 - m_0c^2 \quad (1)$$

Despejando mc^2 , encontramos:

$$mc^2 = k + m_0c^2 \quad (2)$$

Como: $mc^2 = E =$ Energía Total y $m_0c^2 = E_0 =$ Energía de la masa en reposo, reemplazando en la (2), se tendrá:

$$\boxed{E = k + E_0} \quad (3)$$

La ecuación (3), se la puede escribir también en la siguiente forma:

$$E = (mc^2 - m_0c^2) + m_0c^2$$

Luego:

$$\boxed{E = m.c^2} \quad (4)$$

Considerando las colisiones o interacciones entre cuerpos ,

se ha visto que, independientemente de la naturaleza de la colisión la energía total se conserva y la conservación de la energía total es equivalente a la conservación de la masa relativista. En Física Clásica teníamos dos principios de conservación separados: (1) la conservación de la masa (clásica) como en las reacciones químicas, y (2) la conservación de la energía. En relatividad, ambos principios se unen en un solo, que es la conservación de masa - energía.

Hay que considerar que esta definición de Energía Total en relatividad no incluye la energía potencial.

En consecuencia, " La Energía Total es la suma de la energía de la masa en reposo más la energía cinética ".

La equivalencia entre la masa y la energía expresada por la ecuación $E = m \cdot c^2$ es una de las consecuencias más importantes de la Teoría Especial de la Relatividad.

Del análisis realizado acerca de energía cinética, energía en reposo y energía total, se puede sintetizar la siguiente relación, según la Física Clásica y la Teoría Especial Relativista:

TABLA FORMULARIO No. 8		
VARIABLES	DINAMICA CLASICA	DINAMICA RELATIVISTA
ENERGIA CINETICA	$k = \frac{1}{2}mv^2$ dónde: $m = m_0$	$k = (m - m_0)c^2$
ENERGIA EN REPOSO		$E_0 = m_0 \cdot c^2$
ENERGIA TOTAL	$E = k + U$	$E = k + E_0$; o: $E = m \cdot c^2$

Como consecuencias inmediatas del análisis realizado acerca de la energía relativista, energía en reposo y energía total, se puede anotar las siguientes:

- a) Cualquier cambio en la energía potencial interna del sistema, debido a una redistribución interna, puede ser expresado como el cambio en la masa del sistema como resultado de un cambio en la energía cinética interna;
- b) El cambio en la masa resultante de transformaciones de energía es apreciable sólo para interacciones nucleares o en Física de alta energía;
- c) La energía total de una partícula incluye la energía cinética y la energía en reposo, pero no la energía potencial, y está definida así:

$$E = E_0 + K \quad ;$$

- d) Un cuerpo en reposo, por el simple hecho de poseer una masa " m_0 ", posee una energía (la energía interna de una partícula es equivalente a la masa en reposo):

$$E_0 = m_0 c^2 \quad ;$$

- e) Si se considera a la energía cinética de un cuerpo como una forma de energía externa, entonces la energía de la masa en reposo puede consi

derarse como la energía interna del cuerpo;

f) La energía interna es una manifestación como energía potencial atómica, que puede cambiar - cuando un átomo absorbe radiación y se excita o emite radiación y se desexcita, como energía - potencial nuclear, que puede cambiar por reac- ciones nucleares;

g) La energía total es equivalente a la conserva- ción de la masa relativista; que se la represen- ta mediante la ecuación:

$$E = m_0 c^2 + (m - m_0) c^2$$

$$E = m_0 c^2 + mc^2 - m_0 c^2$$

$E = m \cdot c^2$;
-------------------	---

h) La ecuación $E = m \cdot c^2$ es fundamental para - los cálculos de la energía que se desprende de una reacción nuclear.

f) EQUIVALENCIA ENTRE MASA Y ENERGIA

La equivalencia entre masa y energía es la consecuencia más importante de la Teoría Especial de la Relatividad, que sirve de base fundamental en muchos cálculos de " Física Nuclear ".

Según la Física Clásica el concepto de energía implica la

capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo; y según dicha Física se conoce una energía potencial, identificada por la expresión:

$$E_p = (mg)h$$

Además una energía cinética:

$$k = \frac{1}{2}m_0 v^2$$

Como se puede deducir fácilmente estas energías tienen como fuentes una diferencia de nivel y una velocidad respectivamente.

La Teoría Especial de la Relatividad nos demuestra que hay otra energía: " La Energía Total " que tiene como fuente la misma masa del cuerpo; siendo la expresión analítica de esta energía, la siguiente:

$$E = m_0 c^2$$

Para entender la importancia práctica de la $E = m_0 c^2$, calculamos la energía que desarrolla un Kg - masa de sustancia que se transforma en energía:

$$E = m_0 c^2$$

$$E = 1 \text{ Kg - masa } (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2$$

$$E = 9 \times 10^{16} \text{ Joules}$$

Además, sabemos que 1 Joule = 0.24 calorías. Luego:

$$E = 9 \times 0.24 \times 10^{16} \text{ cal/Kg}$$

$$E = 2.16 \times 10^{13} \text{ Kcal/kg}$$

Este ejemplo nos dice claramente que operando en forma oportuna, (por medio de reacciones nucleares), de un Kg - masa de una sustancia cualquiera podemos sacar como 21600000000000 Kcal/Kg

" Esta cantidad de calor es muy grande " !!. Comúnmente del carbón se sacan apenas 7500 Kcal/Kg y del tritolo (dinamita), se saca 730 Kcal/Kg. Esto significa que para obtener la cantidad de calor que se saca de un Kg - masa de una sustancia cualquiera - se transforme en energía, según la relatividad se necesitarían:

$$\frac{2.16 \times 10^{13}}{7.500 \times 10^3} = 2880000000 \text{ Kg de carbón.}$$

$$\frac{2.16 \times 10^{13}}{7.30 \times 10^2} = 29500000000 \text{ Kg de tritolo.}$$

Este resultado fantástico es una realidad como se ha comprobado, desgraciadamente, con las bombas lanzadas en 1945 sobre Hiroshima y Nagasaki, ciudades Japonesas, y como se comprueba hoy día con las centrales nucleares para la producción industrial en base de energía eléctrica.

En consecuencia, este ejemplo nos demuestra que por medio de la ecuación $E = m.c^2$, es posible transformar masa en energía

Ahora, veamos otro ejemplo para ver cómo por medio de la ecuación $E = m.c^2$, se puede transformar " la energía en masa ".

Sabemos que la tierra recibe del sol la cantidad de energía radiante: $W = 1.34 \times 10^3 \text{ Watts/m}^2$, por segundo. Calcular la masa que cada año pierde el sol.

Para calcular esta masa, antes debemos calcular la cantidad de energía radiante que el sol emite en su alrededor a la distancia

Sol - Tierra y calcular también la superficie de la esfera que rodea al Sol a esta distancia.

Siendo la distancia Sol - Tierra igual a 1.49×10^{11} m, la superficie de una esfera que tiene este radio, será:

$$A = 4\pi R^2$$

$$A = 4\pi (1.49 \times 10^{11})^2 \text{ m}^2$$

Dado que, por m^2 el sol irradia 1.34×10^3 Watts de energía evidentemente, la energía total irradiada, será:

$$E = 1.34 \times 10^3 \times 4\pi (1.49 \times 10^{11})^2$$

$$E = 3.92 \times 10^{26} \text{ Watts/s}$$

Por la ecuación $E = m \cdot c^2$ la masa correspondiente a esta energía, será:

$$m = E/c^2 = \frac{3.92 \times 10^{26} \text{ Watts/s}}{(3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1})^2} = 4.36 \times 10^9 \text{ Kg/s}$$

Como el año tiene 3.14×10^7 segundos, lógicamente, el Sol pierde por año la masa:

$$m' = 4.36 \times 10^9 \text{ Kg/s} \times 3.14 \times 10^7 \text{ s} = 13.69 \times 10^{16} \text{ Kg}$$

Sabemos que la masa total del Sol es de 2.0×10^{30} Kg; luego si dividimos el dato anterior entre este dato, encontramos que parte de la masa del Sol se consume cada año:

$$\frac{13.69 \times 10^{16}}{2.0 \times 10^{30}} = 6.8 \times 10^{-14}$$

Es decir, cada año el Sol pierde:

$$\frac{68}{10000000000000000} \text{ de su masa}$$

Cuántos años deben pasar para que se consuma toda la masa - del Sol ?....

$$\frac{2.0 \times 10^{30}}{13.69 \times 10^{16}} = 1.46 \times 10^{13} \text{ años.}$$

De estos dos ejemplos se deduce fácilmente que de veras la ecuación $E = m.c^2$ de A. Einstein es muy importante, de manera especial en el campo de la energía nuclear que tiene mucha aplicabilidad tecnológica e industrial; como también para mejor comprensión de la Ciencia Física, de manera especial en la enseñanza de Educación Media y Superior.

g) LA ENERGIA DE REPOSO CORRESPONDIENTE A LA UNIDAD ATOMICA DE MASA

" El Electrón Volt " (eV), en Física Moderna se la considera a la unidad conveniente de energía definida como la energía cinética ganada por un cuerpo que contiene una carga electrónica a medida que es acelerado a través de una diferencia de potencial de 1 V. Ya que la carga absoluta del electrón es $q = 1.6 \times 10^{-19}$ Coulombs (C), tenemos:

El trabajo eléctrico:

$$W = qV$$

Reemplazando en la fórmula de trabajo eléctrico los valores

de $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C. y $V = 1V$, se tiene:

$$W = q.V$$

$$W = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1V)$$

$$W = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joules} = 1\text{eV}$$

donde el potencial acelerador es 1V. Los múltiplos convenientes del electrón - volt, son:

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ BeV} = 10^9 \text{ eV}$$

" La unidad atómica de masa (uam) se define como un doceavo de la masa del átomo de carbono neutro $C-12$ (el isótopo más común del carbono), y es equivalente a:

$$1 \text{ uam} = 1.660 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

Luego la energía de reposo, correspondiente a 1 uam, es:

$$E_o = m_o c^2$$

$$E_o = (1.660 \times 10^{-27} \text{ Kg})(3.00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1})^2$$

$$E_o = 14.9 \times 10^{11} \text{ Joules}$$

Luego haciendo una regla de tres, se tiene:

$$\begin{array}{rcl} 1.60 \times 10^{-19} \text{ J} & & 1 \text{ eV} \\ 14.94 \times 10^{-11} \text{ J} & & x \end{array}$$

$$x = \frac{14.94 \times 10^{-11} \text{ J} \times 1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 9.31 \times 10^8 \text{ eV}$$

$$E_0 = 14.9 \times 10^{-11} \text{ J} = 931 \text{ MeV}$$

h) EQUIVALENCIA DE LA ENERGIA Y LA MASA EN REPOSO DEL ELECTRON , -
NEUTRON Y PROTON

La masa en reposo del electrón es $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ Kg}$, y su energía de reposo es:

$$E = m_e c^2$$

$$E = (9.11 \times 10^{-31} \text{ Kg}) (3.00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1})^2$$

$$E = 81.99 \times 10^{-15} \text{ Joules}$$

$$E = \frac{81.99 \times 10^{-15} \text{ Joules} \times 1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ Joules}}$$

$$E = 51.1 \times 10^4 \text{ eV}$$

Luego:

$$E = 0.511 \text{ MeV}$$

Ya que hay una equivalencia entre la masa y la energía, a menudo resulta conveniente expresar la unidad atómica de masa y su energía equivalente a MeV, en forma intercambiable.

La unidad atómica de masa (uam) del electrón resulta de la razón:

$$1 \text{ uam} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ Kg} (= 931 \text{ MeV})$$

Entonces para el electrón, será:

1 uam	931 MeV
m_e	0.511 MeV

$$m_e = \frac{1 \text{ uam} \times 0.511 \text{ MeV}}{931 \text{ MeV}}$$

$$m_e = 0.00055 \text{ uam}$$

La masa en reposo del neutrón es: $m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ Kg}$, y su energía de reposo, será:

$$E = m_n c^2$$

Luego:

$$E = (1.675 \times 10^{-27} \text{ Kg})(3.00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1})^2$$

$$E = 15.075 \times 10^{-11} \text{ Joules}$$

$$E = \frac{15.075 \times 10^{-11} \text{ J} \times 1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$E = 939,6 \text{ MeV}$$

En consecuencia, la unidad atómica de masa (uam) del neutrón resulta de la razón

1 uam	931 MeV
m_n	939,6 MeV

$$m_n = \frac{1 \text{ uam} \times 939,6 \text{ MeV}}{931,0 \text{ MeV}}$$

$$m_n = 1.00867 \text{ uam}$$

La masa en reposo del protón es: $m_p = 1.672 \times 10^{-27} \text{ Kg}$; en consecuencia, su energía en reposo será:

$$E = m_p c^2$$

$$E = (1.672 \times 10^{-27} \text{ kg})(3.00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1})^2$$

$$E = 15.048 \times 10^{-11} \text{ Joules}$$

$$E = \frac{15.048 \times 10^{-11} \text{ J} \times 1 \text{ ev}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$E = 938.3 \text{ Mev}$$

Luego, la unidad atómica de masa (uam) del protón resulta de la razón:

$$1 \text{ uam} \quad 931 \text{ Mev}$$

$$m_p \quad 938.3 \text{ Mev}$$

$$m_p = \frac{1 \text{ uam} \times 938.3 \text{ Mev}}{931 \text{ Mev}}$$

$$m_p = 1.00783 \text{ uam}$$

De lo expuesto anteriormente, se puede resumir en lo siguiente

te, como se indica en la tabla formulario No. 9

TABLA FORMULARIO No. 9			
VARIABLES	MASA DE REPOSO (uam)	MASA DE REPOSO (Kg)	ENERGIA DE REPOSO (Mev)
Unidad atómica de masa	1	1.660×10^{-27}	931
Electrón	0.00055	9.109×10^{-31}	0.511
Neutrón	1.00867	1.675×10^{-27}	939.6
Protón	1.00729	1.673×10^{-27}	938.3

Como consecuencias inmediatas del análisis realizado acerca de la energía en reposo y la unidad atómica de masa del electrón, - neutrón y protón, se puede anotar las siguientes:

a) La equivalencia entre la masa y la energía es una de las consecuencias más importantes de la - teoría especial de la relatividad;

b) El electrón volt (eV) es una unidad conveniente de energía definida como la energía cinética ganada por un cuerpo que contiene una carga electrónica a medida que es acelerado a través de una diferencia de potencial de 1 V.

$$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J} \quad ;$$

c) La unidad atómica de masa (uam) se define como un doceavo de la masa del átomo de carbono neutro C-12 (el isótopo más común del carbono), y es

$$1 \text{ uam} = 1.660 \times 10^{-27} \text{ Kg.} \quad ;$$

d) La energía de reposo, correspondiente a 1 uam , es de:

$$E_0 = 14.9 \times 10^{-11} \text{ J} = 931 \text{ MeV.}$$

Como ejemplo de aplicación a lo expuesto, se puede anotar: -
La velocidad de un electrón en un campo eléctrico uniforme -
cambia de $v_1 = 0.98c$ a $v_2 = 0.99c$.

- Calcule el cambio en la masa.
- Calcule el trabajo hecho sobre el electrón para cambiar su velocidad.
- Calcule el potencial acelerador en volts.

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0.98^2}} = 5.0m_0 \quad \text{y}$$

$$m_2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0.99^2}} = 7.1m_0$$

donde $m_0 = 9.11 \times 10^{-31} \text{ Kg.}$ es la masa en reposo del electrón. El

cambio de masa será:

$$\Delta m = m_2 - m_1 = (7.1 - 5.0) m_0 = 19.1 \times 10^{-31} \text{ Kg.}$$

b) Puesto que el trabajo será el cambio de energía cinética

$$\Delta k = k_2 - k_1 = (\Delta m) c^2 = 2.1 m_0 c^2$$

$$\Delta k = 2.1 \times 0.511 = 1.07 \text{ Mev}$$

$$c) K = q.V \quad y \quad V = \frac{K}{q} = \frac{1.07 \times 1.6 \times 10^{-13}}{1.5 \times 10^{-19}}$$

$$V = 1.07 \times 10^6 \text{ Volt.}$$

CAPITULO

3

ESTRUCTURA ATOMICA

=====

3.- ESTRUCTURA ATOMICA

=====

El nombre y concepto de átomo es muy antiguo; de él han hablado los filósofos griegos, Demócrito y otros, pero en una manera muy elemental. Desde la antigüedad se sospechaba que la materia, a pesar de su apariencia continua, poseía una estructura definida a nivel microscópico, más allá del alcance de nuestros sentidos. Esta sospecha no tomó cuerpo hasta hace aproximadamente siglo y medio. Desde entonces se ha demostrado plenamente la existencia de las partículas finales de la materia en sus formas comunes: los átomos y las moléculas. El átomo está constituido por elementos o partículas más pequeñas que se llaman " partículas atómicas " .

Hoy en día no hay estudiante de los últimos años de bachillerato que no haya oído los nombres de protones, neutrones, electrones para indicar los constituyentes del átomo. Vamos a justificar la existencia de estas partículas y sus características, de manera especial de electrones electrolíticos y electrones no electrolíticos.

a) ELECTRONES ELECTROLITICOS

La existencia de las cargas eléctricas negativas y positivas se desprende, como se sabe, de las experiencias de electrostática, por ejemplo de la experiencia para formular la ley de Coulomb, y de la ley de M. Faraday para el efecto químico de la corriente.

Esta ley analíticamente se expresa así:

$$M = \frac{1}{N_e} \frac{A}{z} q \quad (1)$$

Donde:

M = cantidad de sustancia que se deposita en los electrodos.

N = número de Avogadro (6.02×10^{23} átomos/mol)

e = carga del electrón.

A = peso atómico de la sustancia.

z = valencia de la misma.

q = cantidad de electricidad en coulombios.

Si ponemos:

q = 96490 coulombios

A = 1

z = 1

Sabemos por experiencia que sobre los electrodos se deposita la unidad de masa; por lo tanto, se deduce:

$N_e = 96490$ coulombios

Luego, siendo:

N = 6.02×10^{23} átomos/mol, se tendrá:

$$e = \frac{96490 \text{ coulombios}}{6.02 \times 10^{23} \text{ átomos/mol}} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ Coumb.}$$

En consecuencia la carga de el electrón, será:

$$\bar{e} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ coulombios}$$

Además, sabemos que la carga del electrón es igual a la del protón, con signo contrario.

b) ELECTRONES NO ELECTROLITICOS

Existen otros métodos para producir electrones en los laboratorios, tales como:

1) La ionización del aire por medio de los rayos ultravioletas, los rayos X, o una simple llama de vela, dirigidos en una experiencia sencilla, contra el aire limitado por las armaduras de un condensador, como indica la figura: 10.

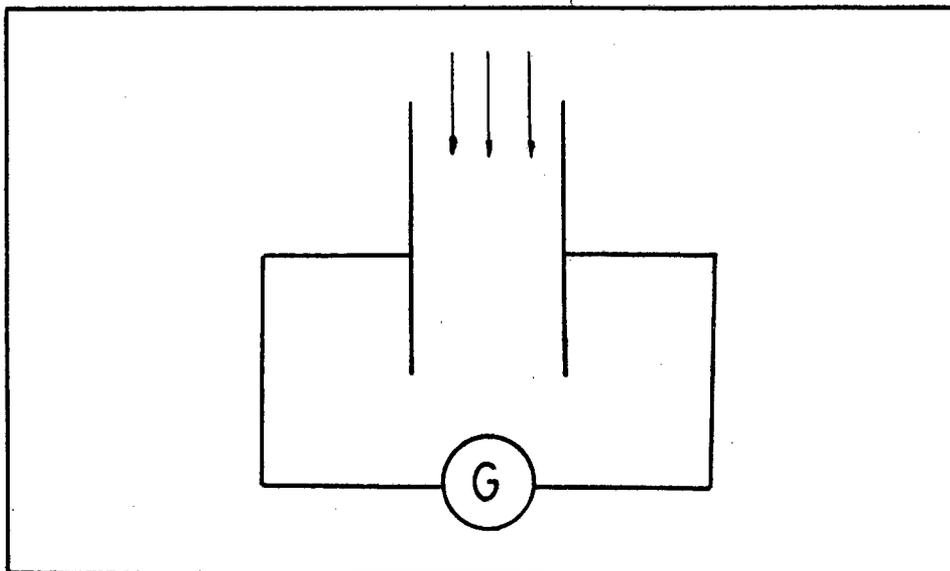


Fig: 10.- Ionización del aire por medio de rayos ultravioletas, rayos X, etc.

El aire, como se sabe, no es conductor, pero se puede hacer actuar sobre él rayos ultravioleta, rayos X, etc. El aire se ioniza y el galvanómetro " G " acusa paso de corriente.

2) La descarga entre tubos al vacío. La experiencia de Laboratorios nos hace ver como se producen los rayos catódicos constituidos por electrones.

3) La emisión electrónica por medio de un filamento caliente en un tubo al vacío, etc.

Estos electrones o rayos electrónicos tienen la misma carga de los electrones electrolíticos.

=====

3.1.- MODELOS ATOMICOS

=====

Sin embargo de que los científicos del siglo XIX aceptaron la idea de que los elementos están formados por átomos, los conocimientos que había sobre ellos eran muy escasos. El descubrimiento del electrón como constituyente de los átomos proporcionó el primer indicio sobre la estructura atómica. Los electrones tienen carga negativa, mientras que los átomos son electricamente neutros en consecuencia, cada átomo debe tener la suficiente cantidad de carga positiva para equilibrar la negativa de sus electrones. Por otra parte, los electrones son miles de veces más ligeros que los átomos. Esto sugirió que los constituyentes cargados positivamente son los que dan lugar a casi toda la masa de los átomos.

Las cargas eléctricas negativas y positivas que hemos visto salen del átomo; y siendo el átomo electricamente neutro, dichas cargas deben tener alguna distribución, siendo las más funda

mentales consideraciones, las siguientes:

a) MODELO ATOMICO DE THOMSON

En el año de 1898 el Sir. J.J. Thomson había descubierto el electrón y entonces propuso un modelo físico del átomo conocido como " pudín de ciruela ". El átomo como él lo describía, era un pudín de ciruela " positivo " en el cual estaban incrustadas " pa sas de electrones negativos ", distribuidos de tal forma que hi cieran neutral el conjunto.

El modelo atómico de Thomson " pudín de ciruela ", a pe sar de su importancia, pasaron 13 años antes de que se realizara una prueba experimental acerca de este modelo. Estos ensayos, como veremos, condujeron al abandono de este modelo atómico sustitu yéndolo por un concepto de estructura atómica, incomprendible a la luz de los conocimientos de Física Clásica.

b) MODELO DE RUTHERFORD

En el año de 1911 el profesor Ernest Rutherford (1871 - 1937), quien había sido discípulo de Thomson, y de sus estudiantes, Hans Geiger y Ernest Marsden, efectuaron varios experimentos sobre la dispersión de partículas α por una delgada hoja de oro . Como resultado de estos valiosos experimentos, se descartó la i dea del modelo " pudín de ciruela " a favor del modelo aceptado ah ora generalmente. En este modelo, se dice que el átomo consiste de un núcleo muy pequeño, es decir, de dimensiones del orden 10^{-14} m , en el cual se concentran toda la carga positiva y la mayor parte de la masa, y de una nube de electrones car gados negativamente que rodea el núcleo. Ya que las dimensiones del átomo son del orden de 10^{-10} m, en consecuencia, la mayor parte del átomo es

tá vacío; y para átomos neutrales, la carga de los electrones alrededor del núcleo es igual a la carga positiva del núcleo.

Para el estudio detallado del átomo Rutherford propuso que una delgada hoja de oro ($z = 79$) fuese bombardeada con partículas α de alta velocidad procedentes de una fuente de Po - 214 . El estudio muy detallado de los ángulos de dispersión o deflexión de las partículas α que pasaran a través de la hoja, debería dar detalles de los átomos blancos que actuaban como dispersores. " Una partícula α es simplemente un núcleo de helio y consiste de dos protones y dos neutrones ". Por ese tiempo se conocía ya la existencia del neutrón, pero Rutherford y Thomas Royds habían determinado previamente (en 1909) que la carga de la partícula α era $2e$ " Las partículas α , son partículas de alta velocidad cargadas positivamente emitidas por elementos radiactivos ", como por ejemplo el radio. Las partículas α , la mayoría de los cuales pasaron a través de la lámina sin desviación apreciable, fueron detectadas por la luz producida cuando chocaron con una pantalla fluorescente. De vez en cuando, sin embargo, una partícula se desviaba con un gran ángulo y más o menos 1 partícula de cada 20.000 se desviaba en más de 90° . Esto era muy inesperado, ya que las partículas α son demasiado pesadas y muy rápidas para ser desviadas apreciablemente por un átomo compuesto de electrones y un fluido difuso cargado positivamente.

Rutherford efectuó un estudio teórico del ángulo de dispersión de los modelos propuestos por él y por Thomson, y luego se llevó a cabo una experimentación y comparación con los resultados obtenidos. La Fig: 11 compara los modelos de Rutherford y Thomson además, muestra el campo eléctrico esperado, asociado con cada uno de ellos. Una partícula α que penetre un átomo como el modelo de Thomson fig: 11(a) y fig: 11(b) solo experimentará pequeñas deflexiones, ya que el campo eléctrico dentro de tal átomo sería

débil, especialmente cuando se compara con el modelo de Rutherford. En el modelo de Rutherford, el campo eléctrico para la misma distancia al núcleo es mucho más fuerte, porque toda la carga positiva del átomo, $+Ze$, está concentrada en el pequeño volumen del núcleo, y por lo tanto el ángulo θ de dispersión será mucho mayor con relación al modelo de Thomson.

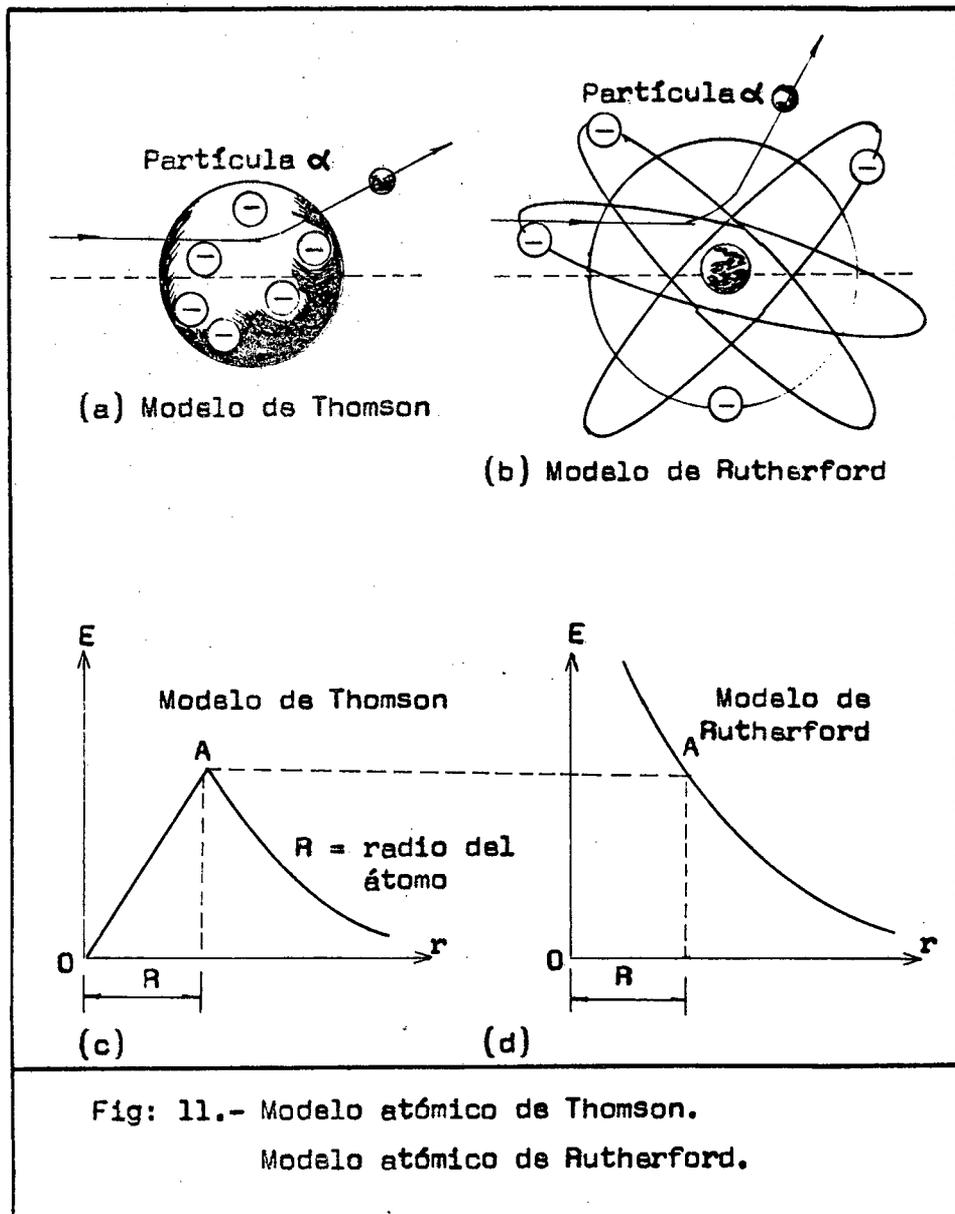
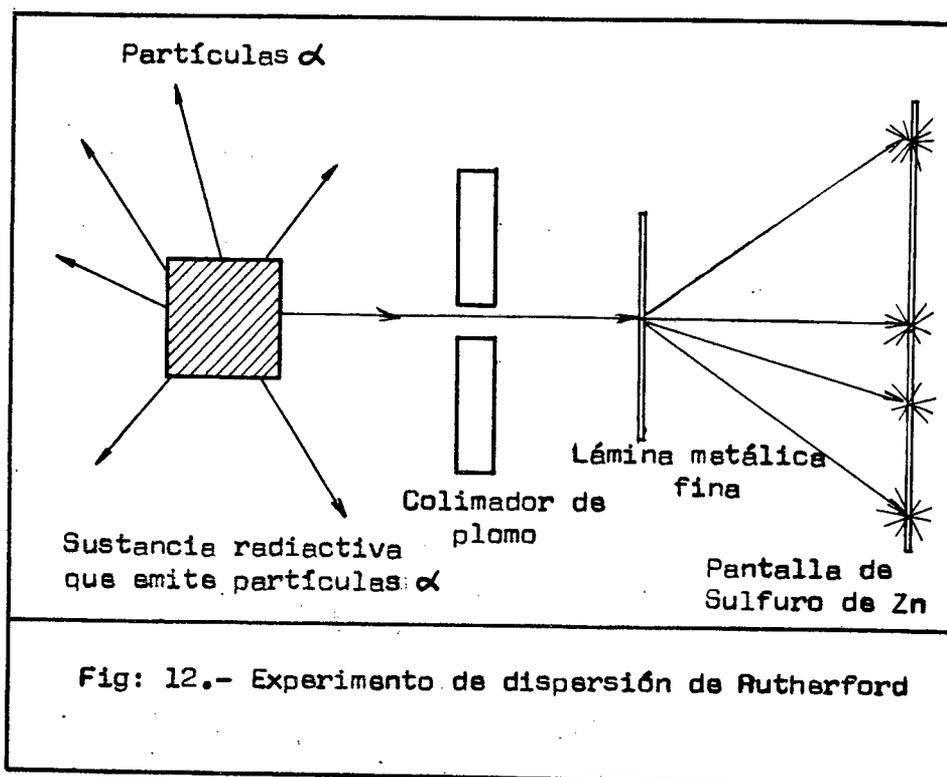


Fig: 11.- Modelo atómico de Thomson.
Modelo atómico de Rutherford.

Geiger fué quien había realizado muchas veces el experimento de enviar un haz de partículas α a través de una delgada hoja de metal anotando la dispersión de partículas. Además, Rutherford y Geiger sugirieron a Marsden que estudiara las dispersiones para ángulos mayores, aun hasta 90° ; sin embargo, observó que las partículas α eran dispersadas para atrás.

La fig: 12 muestra el experimento de dispersión de partículas α . El polonio 214 es una fuente monoenergética de partículas α de 7.68 MeV. La delgada hoja de oro ($t = 6 \times 10^{-7} \text{m}$) permite que la mayor parte de las partículas pasen a través de ella sin experimentar ninguna desviación. Sin embargo, algunas son dispersadas a través de varios ángulos θ para producir centelleos que pueden ser observados y contados por medio de un microscópio amplificador.



Detrás de la lámina metálica fina, colocaron una pantalla móvil de sulfuro de cinc que produciría luminiscencia cuando una partícula α chocara con ella. El experimento consistía en contar el número de partículas por unidad de tiempo que son desviadas con ángulos de dispersión entre θ y $\theta + \Delta\theta$ y luego comparar con los modelos de Rutherford y Thomson. El ángulo promedio de deflexión para los modelos era de 1° , pero la gran diferencia radicaba que para Thomson, solo una partícula α de cada 10^{3500} producía una deflexión de $\theta > 90^\circ$. Geiger y Marsden observaron que muchas partículas α salieron sin desviación; otras sufrieron dispersión de ángulos muy grandes. Además, otras partículas se dispersaron en dirección opuesta, sin embargo de ser partículas pesadas que se desplazan a grandes velocidades; de lo que hace pensar de la existencia de una fuerza muy considerable como para producir desviaciones acentuadas. Para explicar estos resultados, Rutherford se vio obligado a describir al átomo como compuesto de un pequeño " núcleo " en que se concentra la carga positiva y la mayor parte de la masa; quedando los electrones a cierta distancia exterior, presentándose algunos espacios vacíos que permitían pasar a las partículas sin desviación.

En el modelo de átomo diseñado según el trabajo de Rutherford, se pensaba que los electrones daban vueltas en órbitas alrededor del núcleo, al igual que los planetas dan vueltas alrededor del Sol. La mayor parte del volumen de un átomo está lleno de electrones que dan vueltas, los cuales son demasiado ligeros para desviar una partícula α incidente. Los electrones se mantienen en órbitas alrededor del núcleo por la fuerza eléctrica de atracción ejercida sobre ellos por el núcleo, lo mismo que los planetas se mantienen en órbita alrededor del sol por la fuerza gravitatoria atractiva ejercida sobre ellos por el sol.

El átomo más simple, el hidrógeno, solo tiene un electrón -

en órbita alrededor del núcleo. Resulta atractivo tratar este caso como tratamos el caso de un satélite en órbita alrededor de la Tierra. Supongamos, que el electrón da vueltas alrededor del núcleo en una órbita circular de radio r . La fuerza ejercida sobre el electrón es la fuerza eléctrica.

Aplicando la Ley de Coulomb, la fuerza electrostática, conocimiento básico de bachillerato será directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia; expresando por medio de fórmula, se tiene:

$$F_e = \frac{1}{4\pi E_0} \frac{q_e \cdot q_n}{r^2} \quad (1)$$

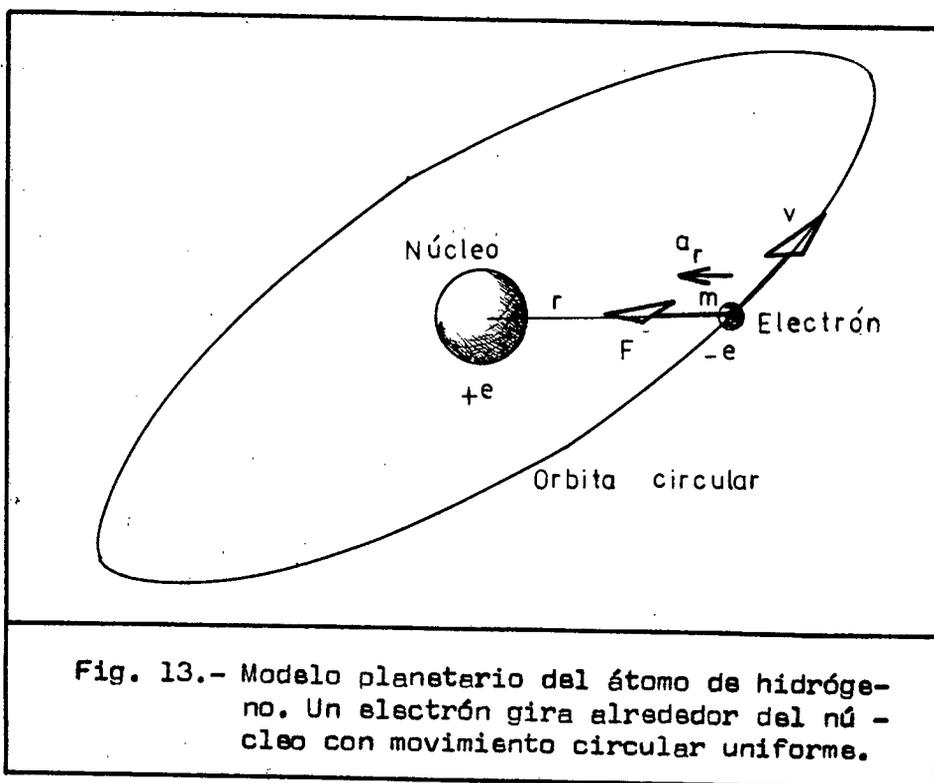
en donde q_e y q_n son las cargas del electrón y del núcleo, respectivamente. La carga del electrón $-e$ y el núcleo tiene la carga opuesta $+e$, por lo tanto reemplazando en (1), se tiene:

$$F_e = \frac{1}{4\pi E_0} \frac{e^2}{r^2} \quad (2)$$

donde F_e es la fuerza electrostática, e la carga eléctrica del electrón y el núcleo, r la distancia núcleo - electrón (radio de la distancia) y $1/4\pi E_0$ constante. El signo menos indica que ésta es una fuerza atractiva dirigida hacia el núcleo, tal como se ve en la fig; 13.

La figura: 13, indica el modelo planetario del átomo de hi

drógeno, donde un electrón de masa " m " gira alrededor del núcleo con movimiento circular uniforme.



Un electrón que se mueve a velocidad constante v en una órbita circular, tiene la aceleración centrípeta:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

dirigida hacia el núcleo. Por la segunda ley de Newton, la fuerza sobre el electrón es igual a la masa multiplicada por su aceleración; por lo tanto, se tiene la siguiente expresión, en función de la masa y la aceleración:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad (3)$$

De la ecuación (3), la energía cinética del electrón se puede obtener de:

$$k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} \quad (4)$$

suponiendo un punto de vista clásico. La energía total del electrón es la suma de su energía cinética y su energía potencial:

$$E = k + V \quad (5)$$

La energía potencial del sistema es:

$$V = qe \cdot v \quad \text{Luego:}$$

$$V = - e \cdot v$$

en donde v es el potencial eléctrico a una distancia r del núcleo; luego este potencial es:

$$v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qn}{r} = \frac{1}{4\epsilon_0} \cdot \frac{e}{r}$$

por lo que la energía potencial del sistema se puede expresar:

$$V = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} \quad (6)$$

El signo menos indica que el sistema es de atracción y no de repulsión, ya que el electrón es atraído por el núcleo positivo

Luego la energía total del electrón, se puede expresar, reemplazando en la (5), en la siguiente forma:

$$E = K + V = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r}$$

O sea:

$$E = - \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} \quad (7)$$

El signo menos indica de nuevo que la energía de un electrón en órbita alrededor del núcleo es menor que la energía que tendría, si estuviese en reposo e infinitamente lejos del núcleo. Así, $-E$ es la energía que necesita para separar completamente el electrón del núcleo, o sea para ionizar el átomo, es decir:

" La energía de enlace de un electrón se define como la mínima energía requerida para remover al electrón completamente del átomo o, en otras palabras, para ionizar el átomo. Con trabajos experimentales se ha encontrado que la energía de enlace del átomo

mo de hidrógeno es de 13.6 eV. Cuando este valor se sustituye por E en la ecuación (7), se puede encontrar el radio r:

$$E = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_1} \quad \text{Despejando } r_1, \text{ se tiene:}$$

$$r_1 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{E}$$

$$r_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ New.m}^2 (1.6 \times 10^{-19} \text{ Coub})^2}{\text{Coub}^2 \quad 13.6 \text{ eV}}$$

$$r_1 = \frac{9 \times 10^9 \text{ New.m}^2 (1.6 \times 10^{-19})^2}{13.6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joules}}$$

Simplificando, tenemos:

$$r_1 = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.53 \text{ \AA}$$

Este valor de r_1 se llama "radio de Bohr" y concuerda con los valores obtenidos con otras técnicas experimentales.

La velocidad lineal v está relacionada a la frecuencia de revolución del electrón en su órbita por:

$$v = W \cdot r = 2\pi fr$$

(8)

Reemplazando este valor en la ecuación (4), se tiene:

$$m(2\pi fr)^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

de la cual obtenemos:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mr^3}} \quad (9)$$

para el número de revoluciones por segundo efectuadas por un electrón en una órbita. Usando el valor de r ya encontrado y los valores conocidos de e y m para el electrón obtenidos ya anteriormente, se tiene que la frecuencia es: $f = 7 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$. Valor que también concuerda con los obtenidos por otros métodos.

$$f = \frac{1}{6,28} \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \text{ New.m}^2 / \text{Coub}^2 \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ Coub})^2}{9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg} (0.53 \times 10^{-10} \text{ m})^3}}$$

$$f = \frac{1}{6.28} \sqrt{17,107 \times 10^{32}}$$

$$f = 0.658 \times 10^{16} \quad \text{Luego:}$$

$$f = 7 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

Sin embargo, a pesar de estos logros iniciales, los fisi -



cos encontraron que este modelo planetario tenía que ser abandonado; ya que, de acuerdo con la electrodinámica clásica,

- 1.- Una carga acelerada debe radiar energía electromagnética continuamente y
- 2.- La frecuencia de la radiación emitida debe ser igual a la frecuencia de revolución.

Por lo tanto, de acuerdo con este modelo, la energía total del átomo debería disminuir (hacerse más negativa), mientras que la frecuencia de rotación debe aumentar continuamente. Un cálculo elemental muestra que solo se requieren 10^{-6} seg para que el átomo sufra un colapso. Según el modelo analizado, el espectro óptico del hidrógeno así como el espectro de otros elementos es " contínua ", y todos los átomos deben desplomarse en corto tiempo ; sin embargo, ambas conclusiones contradicen a la evidencia experimental; aún más los átomos se han mostrado renuentes a desaparecer y los espectros ópticos de los gases muestran solo frecuencias discretas (" líneas ") y no una distribución continua de frecuencia lo que determinó a que el modelo planetario pronto sea abandonado.

De lo expuesto se puede concluir, lo siguiente:

- a) Para Thomson, el átomo lo describía como " pu-
dín de ciruela positivo en el cual estaban in
crustadas pasas de electrones negativos " ;
- b) Para Ernest Rutherford, el átomo consiste de
un núcleo muy pequeño (dimensiones del orden:
 10^{-14} m), en el cual se concentra toda la car-
ga positiva y la mayor parte de la masa, y de
una nube de electrones cargados negativamente,
que rodea el núcleo;

- c) Según Rutherford, considera que las dimensiones del átomo son del orden 10^{-10} m, y que la mayor parte del espacio dentro del átomo está vacío;
- d) Rutherford agrega que para los átomos neutrales, la carga de los electrones alrededor del núcleo es igual a la carga positiva del núcleo;
- e) En el modelo de Rutherford, el campo eléctrico para la misma distancia al núcleo es mucho más fuerte, por que toda la carga positiva del átomo, $+Ze$, está concentrada en el pequeño volumen del núcleo, en consecuencia, el ángulo θ de dispersión será mucho mayor que para el modelo de Thomson;
- f) Del parámetro de impacto y ángulo de dispersión se puede concluir lo siguiente:
1. La partícula α y el núcleo son cargas puntuales.
 2. La dispersión es debida a las fuerzas electrostáticas repulsivas de Coulomb entre la partícula α y la carga positiva (Ze) del núcleo.
 3. El núcleo de oro (masa ≈ 197 uam) es lo suficientemente masivo comparado con la partícula α (masa ≈ 4 uam) como para que pueda ignorarse su retroceso.
 4. Las partículas α no penetran la región nuclear y las intensas fuerzas nucleares de interacción no están implicadas.
 5. Una partícula α es simplemente un núcleo de helio y consiste en 2 protones y 2 neutrones.
 6. Las partículas α , son partículas de alta -

velocidad emitidas por elementos radiactivos.

g) El modelo planetario considera:

1. El modelo planetario dinámico considera que el núcleo está esencialmente en reposo, con los electrones girando alrededor en órbitas circulares y elípticas.
2. La fuerza motora F es provista por la atracción electrostática entre el protón y el electrón. Esta fuerza central está dada por la ecuación:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

donde r es el radio de la trayectoria circular del electrón.

3. La energía cinética del electrón se puede obtener, suponiendo desde un punto de vista clásico,

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

4. La energía potencial del sistema está dada por la ecuación: V , donde el signo menos determina la "atracción del protón - electrón"; esta ecuación se la expresa así:

$$V = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

5. La energía total del sistema se la expresa, en la siguiente forma:

$$E = k + V = - \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

donde el signo menos relaciona a que se trata de un " sistema cerrado ".

- h) La energía de enlace de un electrón se define - como la mínima energía requerida para remover al electrón completamente del átomo, es decir, para ionizar el átomo;
- i) La energía de enlace del átomo de hidrógeno es 13.6 eV;
- j) La frecuencia del electrón en su órbita es de:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m r^3}}$$

Niels Bohr por el año de 1911 después que recibió su doctorado en Copenhague, viajó a Inglaterra para estudiar bajo la dirección de Thomson y Ernest Rutherford. Bohr a partir de la descripción que hacía Rutherford, consideraba al átomo consistente en un núcleo pesado alrededor del cual, y a cierta distancia, girarían los electrones. Entonces Bohr propuso un notable conjunto de postulados como base para un nuevo modelo del átomo.

El modelo de Bohr, aunque haya sido reemplazado por los más importantes modelos cuánticos de Heisenberg, Schrödinger, Dirac y otros, sigue teniendo su importancia satisfactoria para introducir el concepto de estados estacionarios. El modelo de Bohr dio la primera explicación satisfactoria de la estructura atómica, que fue mejorada después de diez años por Sommerfeld, y Wilson. Pero debido a la dificultad que encontraron para hacerlo compatible con los nuevos descubrimientos experimentales en espectroscopía, fue reemplazado entre 1924-1926 por el modelo mecánico-cuántico.

Para corregir las fallas del modelo planetario del átomo, Bohr basó su modelo del átomo de hidrógeno en los siguientes postulados:

PRIMER POSTULADO:-

El electrón gira alrededor del protón en el átomo de hidrógeno con movimiento circular uniforme, debido a la fuerza de Coulomb y de acuerdo con las leyes de Newton.

SEGUNDO POSTULADO:-

Las únicas órbitas permitidas son aquellas en que el momento angular del electrón orbitante es un múltiplo entero $h/2\pi = \hbar$. Los momentos angulares de las únicas órbitas permitidas están de-

dos por la siguiente expresión:

$$L = mvr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

donde h es la constante de Planck: 6.63×10^{-34} J-seg.

La condición de Bohr se entiende hoy mejor en función de la naturaleza ondulatoria del electrón, aunque esto se descubrió 10 años después del trabajo original de Bohr. Recuérdese que una onda estacionaria sobre una cuerda fija por los dos extremos, sólo puede tener ciertas longitudes de onda que vienen determinadas por la condición de que debe haber un número de semi-longitudes de onda sobre la cuerda como indica la fig. 14. Supongamos, de modo semejante que en el átomo sólo existen ondas electrónicas estacionarias

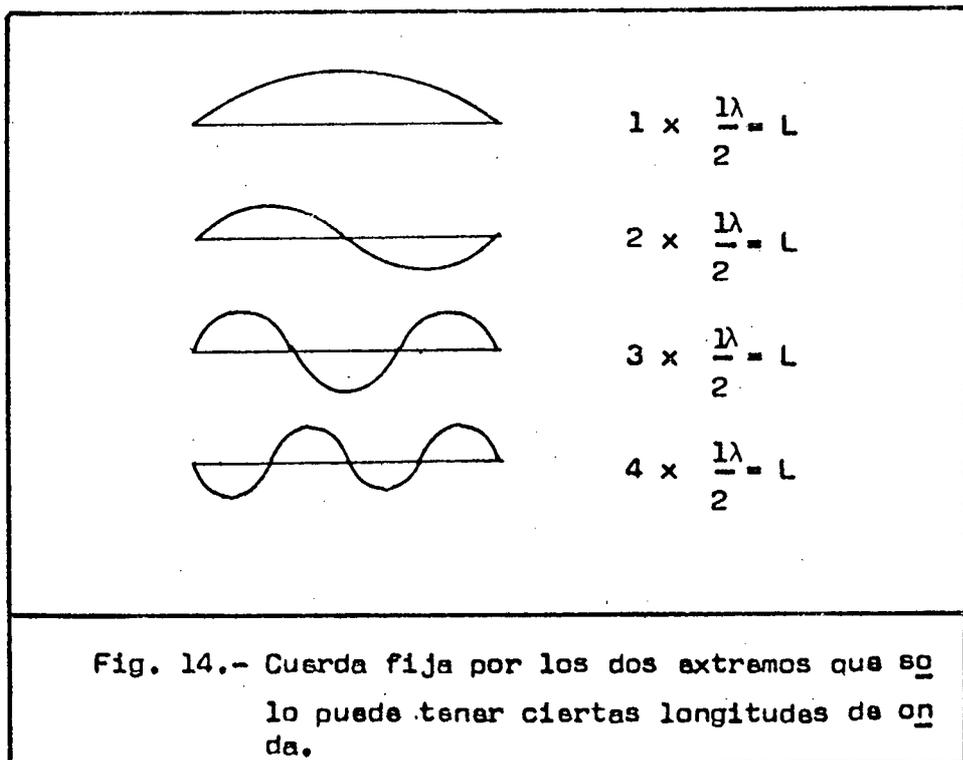
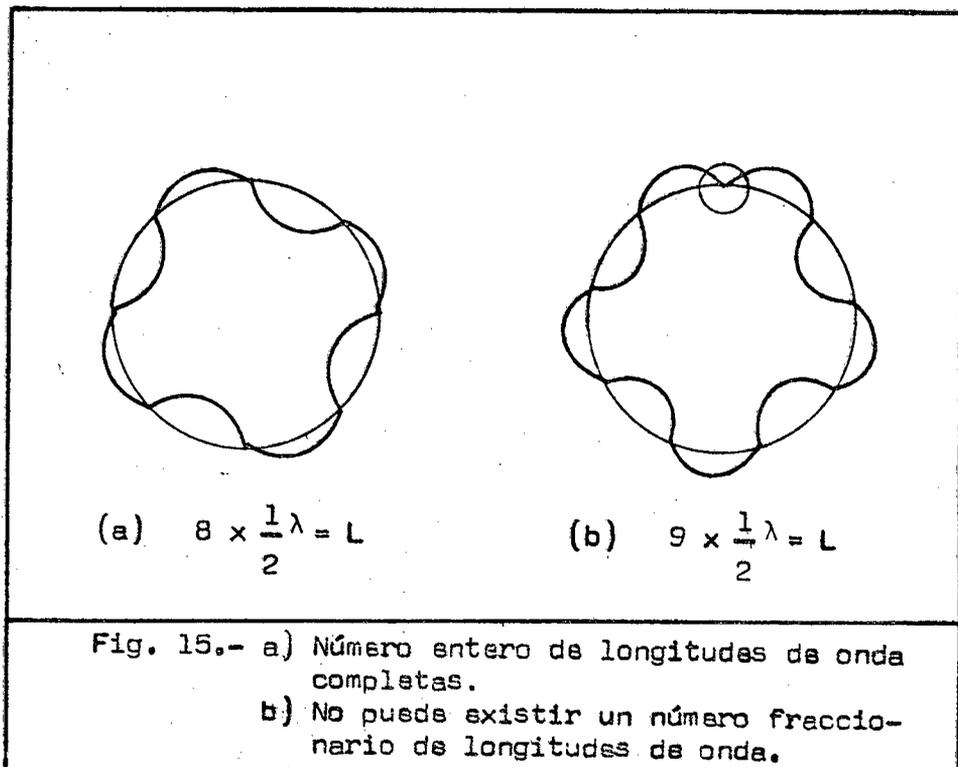


Fig. 14.- Cuerda fija por los dos extremos que sólo puede tener ciertas longitudes de onda.

La figura 15(a), muestra que solamente un número entero de longitudes de onda completas puede existir sobre una cuerda circular, por que, una onda con un número impar de semi-longitudes de onda no se une como indica la figura 15(b).



Si un número no entero de longitudes de onda como indica la fig. 15(b), tiene lugar sobre el anillo, se producirá una interferencia negativa a medida que las ondas se desplacen en torno a él, y las vibraciones desaparecerán rápidamente. Teniendo en cuenta que el comportamiento ondulatorio del electrón en el átomo de hidrógeno es análogo a las vibraciones de un anillo de alambre se pueden afirmar que " un electrón puede girar indefinidamente alrededor de un núcleo sin irradiar energía, con tal que su órbita contenga un número entero de longitudes de onda de De Broglie, según el comportamiento ondulatorio del electrón ".

Luego, la condición para una onda estacionaria sobre un crculo de radio r es:

$$n\lambda = 2\pi r \quad (1)$$

en la que " n " es un número entero ($n = 1, 2, 3, \dots$) y $2\pi r$, es la longitud de la circunferencia. Esta condición, para la longitud de onda, de una onda electrónica por el momento angular, será la siguiente expresión:

$$L = mV = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

Reemplazando " λ " de la ecuación (1) en (2), se tendrá:

$$L = mV = \frac{hn}{2\pi r} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

que es una ecuación no clásica que relaciona la velocidad del eltrón y el radio de la órbita. Elevando al cuadrado los dos miembros de esta ecuación tenemos:

$$m^2 V^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 r^2}$$

De esta ecuación se tiene la condición de Bohr, expresada así:

$$mV^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 r_m^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Reemplazando el valor mV^2 por $k \frac{e^2}{r}$, del análisis en base de la ley de Coulomb y de Newton, se tiene:

$$k \frac{e^2}{r} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 r_m^2}$$

Despejando r , tenemos:

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k m e^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

Según Bohr, las únicas órbitas de un electrón permitidas, son las obtenidas por la ecuación (5), con valores enteros de "n". Por ejemplo con los valores conocidos de h , m , e y k , obtenemos el radio r_1 :

$$r_1 = \frac{(1^2)(6.63 \times 10^{-34} \text{ J-s})^2}{4\pi^2 (9.0 \times 10^9 \text{ New.m}^2/\text{Coulb}^2)(9.11 \times 10^{-31} \text{ Kg})(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}$$

$$r_1 = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$$

Luego finalmente, tenemos:

$$r_1 = 0.53 \text{ \AA}$$

Esta magnitud se le llama "radio de Bohr"; resultado que concuerda con el radio del átomo obtenido previamente en el modelo planetario; es decir, es compatible con lo que se sabía en 1913 acerca del tamaño del átomo de hidrógeno.

De la ecuación (5), se tiene:

$$r_n = n^2 \cdot r_1 \tag{6}$$

que muestra que los radios de las órbitas de los estados estacionarios también están cuantizados por r_1 , $4r_1$, $9r_1$ y así sucesivamente. Estos radios son proporcionales al cuadrado del número entero n llamado número cuántico principal.

Ahora, si reemplazamos la ecuación (5) del radio r en la ecuación de la energía total E , se tendrá:

$$E = -\frac{1}{2} k \frac{e^2}{r} \quad \text{y} \quad r = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 k m e^2}$$

Reemplazando, tenemos:

$$E = -\frac{2 \pi^2 k^2 m e^4}{n^2 h^2} \tag{7}$$

Donde el signo negativo indica que se trata de un sistema cerrado. Así, una segunda consecuencia es que la "energía está cuantizada". Los únicos valores permitidos de la energía son aquellos dados por la ecuación (7) donde n toma los valores $n = 1, 2, 3, \dots$

Luego la energía más baja está dada:

$$E_1 = \frac{-2\pi^2 (9 \times 10^9 \text{ New.m}^2/\text{Coub}^2) (9.11 \times 10^{-31} \text{ Kg}) (1.6 \times 10^{-19} \text{ Coub})^2}{(1^2) (6.63 \times 10^{-34} \text{ J-s})^2}$$

$$E_1 = -2.17 \times 10^{-18} \text{ J.}$$

Al tratar de Física atómica es conveniente medir las energías en electrón - voltios. Luego, se tendrá:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ eV} & 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \\ E & -2.17 \times 10^{-18} \text{ J} \end{array}$$

$$E = \frac{1 \text{ eV} (-2.17 \times 10^{-18} \text{ J.})}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$E = -13.6 \text{ eV}$$

De aquí se tiene que la n -ésima energía es:

$$E = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2} \text{ para } n = 1, 2, \dots \quad (8)$$

TERCER POSTULADO:-

Cuando un electrón está en una órbita permitida, el átomo no radia energía. (La teoría electromagnética clásica predice - que cualquier carga acelerada radiará energía electromagnética).

CUARTO POSTULADO:-

Si el electrón salta desde una órbita inicial " E_i " a una órbita final " E_f " ($E_i > E_f$), se emite un fotón de frecuencia, según la ecuación:

$$h\nu = E_i - E_f$$

Luego:

$$\nu = \frac{E_i - E_f}{h}$$

En la figura: 16, si un electrón salta de la órbita $n = 5$ a la órbita $n = 4$, un fotón de frecuencia $\nu = (E_5 - E_4)/h$ es emitido. (Esto explica las frecuencias discretas obtenidas en el espectro de emisión).

Por otro lado, si un fotón de energía $h\nu = E_5 - E_4$ incide sobre el átomo, puede ser absorbido, y un electrón saltará desde " C " en la órbita $n = 4$ hasta " D " en la órbita $n = 5$. Este es el mecanismo responsable por el espectro de " absorción ". La figura: 16, demuestra que cuando un electrón está en una órbi-

ta permitida " no radiará energía electromagnética ", sin embargo, de tener una aceleración centrípeta.

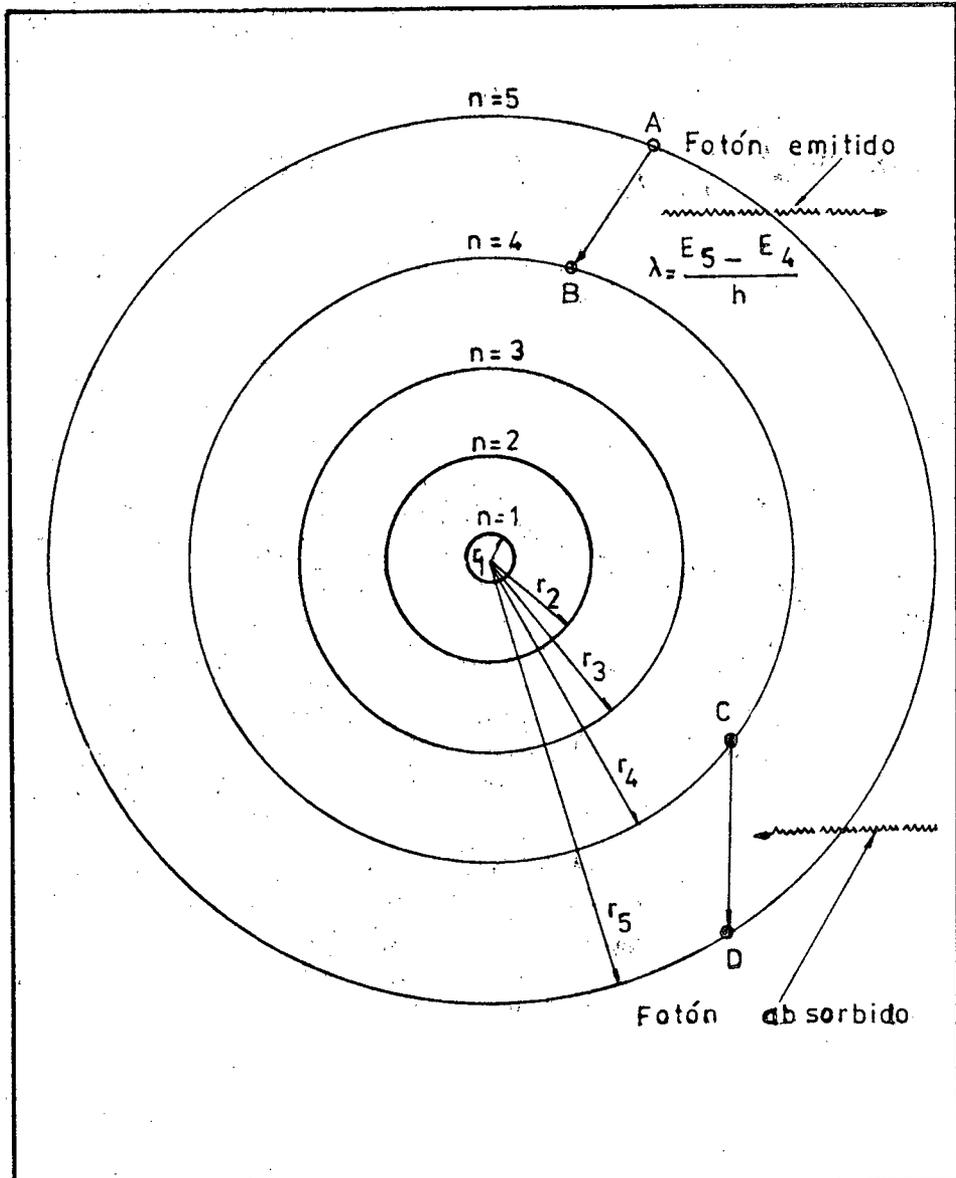


Fig. 16.- Cuando un electrón está en una de las órbitas permitidas no radiará energía electromagnética a pesar de su aceleración centrípeta, en contradicción con la electrodinámica clásica.

Por ejemplo, si el átomo hace una transición del estado: $n = 3$ al estado $n = 1$, el cambio de energía es:

$$E_1 - E_3 = - \frac{13.6 \text{ eV}}{3^2} - \left(- \frac{13.6 \text{ eV}}{1^2} \right)$$

$$E_1 - E_3 = 12.1 \text{ eV}$$

Luego la frecuencia del fotón es:

$$\lambda = \frac{E_1 - E_3}{h} = \frac{12.1 \text{ eV}}{4.14 \times 10^{-15} \text{ eV-s}}$$

$\lambda = 2.92 \times 10^{15} \text{ Hz}$ que es la radiación ultravioleta.

Del modelo de Bohr, se puede concluir los siguientes postulados:

- a) El electrón gira alrededor del protón en el átomo de hidrógeno con movimiento circular uniforme, debido a la fuerza de Coulomb y de acuerdo, con las leyes de Newton.
- b) Las únicas órbitas permitidas son aquellas en que el momento angular del electrón orbitante es un múltiplo entero de $\frac{h}{2\pi} = \hbar$. Los momentos angulares de las únicas órbitas permitidas están dadas por:

$$L = mVr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar, \quad n = 1, 2,$$

donde h es la constante de Planck, o también $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

- c) Cuando un electrón está en una órbita permitida, el átomo no radia energía. (La teoría electromagnética clásica predice que cualquier carga acelerada radiará energía electromagnética).
- d) Si el electrón salta desde una órbita inicial de energía E_i a una órbita final de E_f , se emite un fotón de frecuencia:

$$\lambda h = E_i - E_f$$

- e) El radio de Bohr, está dado por la ecuación:

$$r_1 = \frac{4 \pi \epsilon_0 \hbar^2}{m c^2} = 0.53 \text{ A}^\circ$$

- f) Los radios de las órbitas de los estados estacionarios están cuantizados y están dados por r_1 , $4r_1$, $9r_1$ y así sucesivamente. Estos radios son proporcionales al cuadrado del número entero n llamado " número cuántico principal ", y se le expresa:

$$r_n = n^2 r_1$$

g) La energía cuantizada está dada por la expresión:

$$E = E_n = - \frac{m_e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \left(\frac{1}{n^2} \right)$$

El signo menos nos indica de que se trata de un sistema cerrado.

d) MASA RELATIVISTA DEL ELECTRON

La variación de la masa de los cuerpos es un efecto de la " Teoría Especial de la Relatividad " de Albert. Einstein.

Luego, la masa del electrón varía con la velocidad y si consideramos " m_0 " la masa en reposo y " m " la masa afectada por la velocidad; por principios relativistas sabemos que entre dos masas existe la relación:

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

Para averiguar experimentalmente como varía la masa de los electrones con la velocidad, se aprovechan los efectos de los cuerpos eléctricos y magnéticos sobre los mismos. De hecho sabemos que si un electrón se mueve con una velocidad " v " en un campo eléc

trico " E " , según el eje x, sufre una fuerza F_y , conocida en bachillerato:

$$F_y = m \cdot a_y = e \cdot E$$

De la cual despejando a_y , se tiene:

$$a_y = \frac{e \cdot E}{m}$$

Por lo tanto, su desplazamiento a lo largo del eje y según la fórmula de caída por acción del campo eléctrico, se tiene:

$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{eE}{m} \right) \left(\frac{L}{v} \right)^2 \quad (2)$$

donde "L" es la longitud del campo E, v la velocidad del electrón en el campo E y por consiguiente L/v un tiempo.

Sabemos también que si un electrón se mueve en un campo magnético de longitud " L " con velocidad " v " a lo largo del eje x, si el campo tiene la dirección positiva del eje y, el electrón sufre una fuerza según el eje z.

$$F_z = m \cdot a_z = He \cdot v$$

Despejando a_z , se tiene la ecuación:

$$a_z = \frac{eHv}{m}$$



Análogamente a lo anterior, el desplazamiento del electrón a lo largo de z , será:

$$z = \frac{1}{2} \left(\frac{eHv}{m} \right) \left(\frac{L}{v} \right)^2$$

Luego:

$$z = \frac{1}{2} \left(\frac{eH}{m} \right) \left(\frac{L^2}{v} \right) \quad (3)$$

Dividiendo la (3) para la (2) miembro a miembro, se tiene:

$$\frac{z}{y} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{eH}{m} \right) \frac{L^2}{v}}{\frac{1}{2} \left(\frac{eE}{m} \right) \frac{L^2}{v^2}}$$

Luego:

$$\frac{z}{y} = \frac{H L^2}{E l^2} v = A v \quad (4)$$

siendo H, L, E, l , constantes

Eliminando entre la (3) y la (2) la velocidad v , y elevando al cuadrado el numerador, se tendrá: z^2/y como expresión de lo ya indicado anteriormente, es decir:

$$\frac{z^2}{y} = \frac{\frac{1}{4} \left(\frac{eH}{m} \right)^2 \frac{L^4}{v^2}}{\frac{1}{2} \left(\frac{eE}{m} \right) \frac{L^2}{v^2}}$$

O sea:

$$\frac{z^2}{y} = \frac{1}{2} \frac{H^2 L^4}{E l^2} \left(\frac{e}{m} \right)$$

Luego:

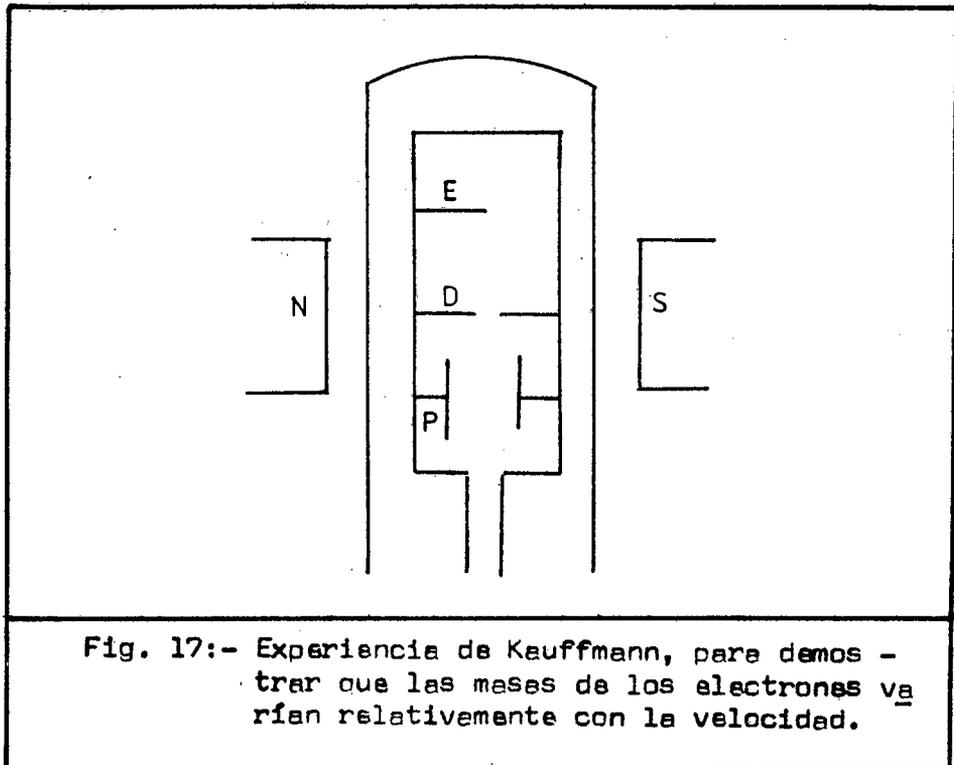
$$\boxed{\frac{z^2}{y} = B \cdot \frac{e}{m}} \quad (5)$$

donde B es constante y, $\frac{z}{y} = A \cdot v$

En consecuencia, se expresa claramente que los electrones, al salir de un campo eléctrico y un campo magnético, si tienen la misma velocidad se dispondrán a lo largo de una recta en función de la ecuación: $z/y = A \cdot v$; y si tienen velocidades diferentes marcarán rectas diferentes.

La expresión (5) evidentemente es la ecuación de una parábola, de donde se desprende que los electrones de masas iguales y velocidad diferente, se dispondrán a lo largo de un arco de parábola comprendido entre dos rectas.

La experiencia para averiguar estos datos ha sido realizada por Kauffmann, con un aparato esquematizado en la Fig. 17:



Donde " E " es la lámina fotográfica, " D " el colimador de electrones, " P " campo eléctrico de 6700 volt, " R " fuente de electrones con velocidades diferentes y "NS" campo magnético.

Con esta experiencia Kauffmann, en E no encontró un arco de curva parabólica, sino un arco de " curva ", que demostró ser - respectivamente por la ecuación:

$$\frac{z^2}{y} = B \cdot \frac{e}{m_0} \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (6)$$

Entonces debemos decir que las masas de los electrones va rían relativísticamente con la velocidad; en consecuencia, " el aumento de masa previsto por la relatividad es una realidad ".

Se tiene otro método para averiguar la variación de la masa de los electrones con la velocidad, fundamentado sobre la teoría del choque elástico.

Para que haya una noción sobre el resultado de este método, exponemos esquemáticamente los datos precisos del choque elástico entre partículas.

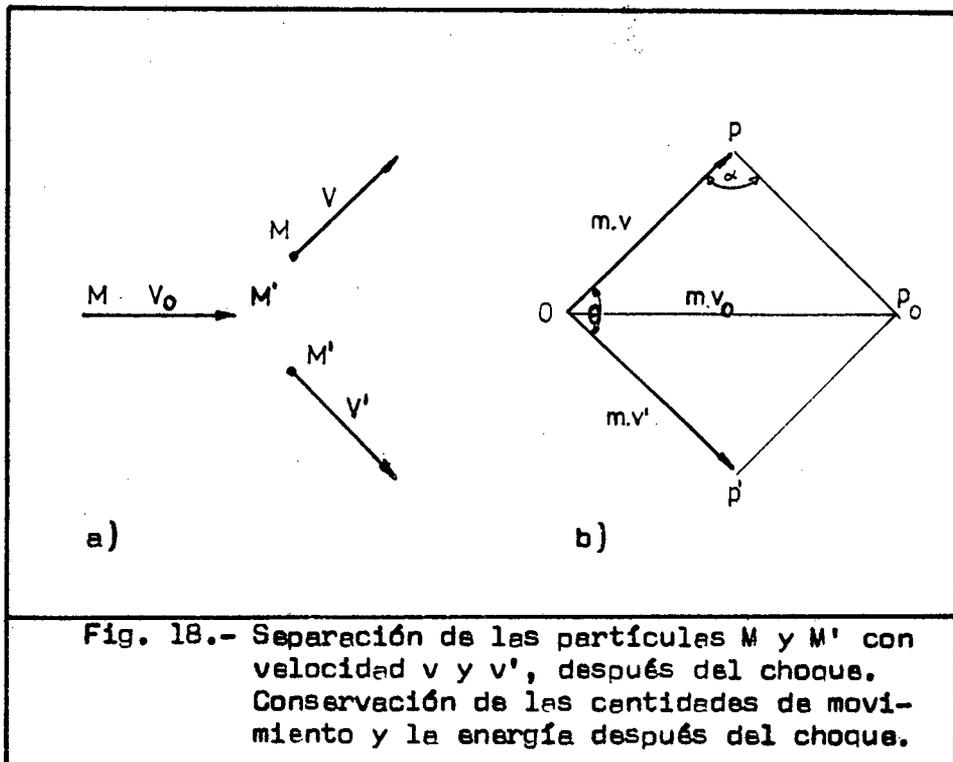


Fig. 18.- Separación de las partículas M y M' con velocidad v y v' , después del choque. Conservación de las cantidades de movimiento y la energía después del choque.

Si una partícula de masa M se mueve con velocidad v_0 y choca contra la partícula M' en quietud, después del choque se separarán, según la misma figura; 18(a), la primera con velocidad

v y la otra con velocidad v', como indica la figura: 18.

En la fig. 18(b), nos hace apreciar mejor el hecho. Siendo el choque elástico, se conservan las cantidades de movimiento y la energía; luego se tiene:

$$P_0 = P + P' \quad ; \quad W_0 = W + W'$$

Donde:

P_0 = cantidad de movimiento de la partícula de masa M en tes del choque.

P = cantidad de movimiento de la partícula de masa M - después del choque.

P' = cantidad de movimiento de la partícula de masa M' - después del choque.

W_0 = energía de la partícula de masa M antes del choque

W = energía de la partícula de masa M después del choque.

W' = energía de la partícula de masa M' después del choque.

(La partícula de masa M' antes del choque, siendo en quietud inicial, no tiene ni cantidad de movimiento ni energía).

Aplicando el Teorema de Carnot, que se ve en bachillerato - en el triángulo OPP_0 , deducimos:

$$P_0^2 = P^2 + P'^2 - 2PP' \cos \alpha \quad (7)$$

Además, sabemos que:

$$P_0 = Mv_0 \qquad W_0 = \frac{P_0^2}{2M}$$

$$P = Mv \qquad W = \frac{P^2}{2M}$$

$$P' = M'v' \qquad W' = \frac{P'^2}{2M'}$$

Del análisis se deduce, que:

$$\boxed{M - M' = 2 \sqrt{MM'W/W'} \cdot \cos\theta} \qquad (8)$$

Observando bien el ángulo θ en la (8), se trata del ángulo que forman las partículas después del choque, por la ecuación (8) este ángulo, evidentemente, depende de la resta que está en el primer miembro ($M - M'$), de manera tal que si

$$M = M' \qquad \text{se tendrá} \qquad \theta = 90^\circ$$

$$M > M' \qquad \text{" " " " } \qquad \theta < 90^\circ$$

$$M < M' \qquad \text{" " " " } \qquad \theta > 90^\circ$$

Esto quiere decir: si podemos determinar el ángulo que forman las dos partículas después del choque, podemos deducir cuál de las dos partículas es mayor, o menor, o si son iguales. La am-

plitud del ángulo después del choque, revela el valor de las masas que chocan.

Este resultado es muy importante en Física Nuclear, donde la entidad y la presencia de las partículas elementales se revelan y se identifican por medio de las estelas que las mismas dejan en la " cámara de Wilson ".

|

=====
CAPITULO
=====

|

4

|

=====
EL NUCLEO ATOMICO
=====

|

=====

4.0.- EL NUCLEO ATOMICO

=====

Ernest. Rutherford por el año de 1911 habían mostrado que el átomo estaba formado por un núcleo muy pequeño ($\sim 10^{-14}$ m. de diámetro) y de electrones girantes alrededor del núcleo. Las órbitas de los electrones se encontraban a gran distancia del núcleo puesto que, la mayor parte de la masa se encontraba en el núcleo, ya que, el átomo en su mayor parte del espacio es vacío. Además - hay que anotar que el modelo de Rutherford era un modelo dinámico, debido a que la atracción electrostática del núcleo positivo y de electrones negativos habría causado un colapso en un modelo estático.

Aunque el modelo de Rutherford se basaba en la mecánica clásica y el posterior modelo de Bohr en los primeros conceptos cuánticos, fué la teoría cuántica de Schrödinger y Heisenberg la que describió correctamente la estructura atómica. Luego, la mecánica cuántica es el modelo que debe usarse para describir lo que ocurre en el núcleo; todo esto hace el problema más complejo en su estudio teniendo los Físicos que adoptar dos modelos del núcleo, es decir: " el modelo de la gota líquida y el modelo de capas ".

La Física Atómica estudia principalmente los electrones localizados en las capas y subcapas alrededor del núcleo. Las energías involucradas en la liberación o aceptación de electrones por el átomo o en las transiciones de electrones desde un estado estacionario a otro son del orden de varios electrón - volts. La energía necesaria para remover un electrón del átomo en el estado base de hidrógeno se necesitan 13.6 eV.

Debido a que sólo están implicados los electrones de las

capas, esta clase de química se pueda llamar apropiadamente química atómica.

=====
4.1.- CONSTITUCION DEL NUCLEO
=====

La estructura nuclear más simple es el deuterón, que tiene un núcleo compuesto de un protón y un neutrón unidos por una fuerza nuclear atractiva de gran intensidad; puesto que, para separar los constituyentes del núcleo de un deuterón, se requieren 2,24 - MeV de energía. " En una reacción nuclear tal como la fisión del uranio - 235, en Kriptón - 89 y bario - 144, se libera una tremenda cantidad de energía, del orden de:

$200 \text{ MeV, por átomo de uranio} = 2 \times 10^8 \text{ eV}$

" Las partículas que forman el núcleo, los protones y los neutrones, son conocidas como nucleones cuando son parte del núcleo ". El nuclido que es una especie de núcleo se representa esquemáticamente, así:



Donde:

Z, el número atómico, indica el número de protones.

N, el número neutrónico, indica el número de neutrones.

Además:

$A = N + Z$, el número másico, indica el número total de protones más neutrones.

Por ejemplo, el núcleo de cloro ${}_{17}^{35}\text{Cl}_{18}$ tiene $Z = 17$ protones, $N = 18$ neutrones y $A = 17 + 18 = 35$ nucleones. Generalmente se omite el número N , como algo redundante, y el núcleo se escribe: ${}_{17}^{35}\text{Cl}$.

En Física Nuclear estos conceptos se analizan con todo detenimiento, además se presenta un diagrama muy importante de todos los nuclidos que da cuenta muy bien de la estabilidad y radiactividad de los mismos.

Si en el interior del núcleo tenemos solo protones y neutrones, para explicar la emisión de partículas: α , β^- , β^+ , se tiene lo siguiente:

- a) Las partículas α o heliones se encuentran dentro del núcleo, no como partículas elementales del mismo, sino como resultado de la "energía de enlace" que se produce dentro del núcleo entre nucleones más cercanos. Este concepto se desarrolla teóricamente y ampliamente en Física Nuclear.
- b) Los electrones β^- , β^+ no pueden encontrarse preexistentes en el núcleo y hay muchos argumentos de orden teórico que justifican plenamente esta proposición y que se presentan muy detalladamente en Física Nuclear.

Uno de los argumentos es: La longitud de onda de De Broglie para electrones que tienen energías del orden de aquellas que tienen los rayos β , resulta muy grande con respecto a las dimension

nes nucleares; por lo tanto, sería imposible la formación de ondas estacionarias de De Broglie correspondiente a dichos electrones.

Según una teoría debida a E. Fermi, que considera protón y neutrón como dos " estados " de una misma partícula llamada " nucleón " o los electrones β^- , β^+ , más un neutrino que se forman en la emisión radiactiva, cuando un nucleón pasa de un estado a otro.

Este proceso esquemáticamente se puede presentar así:

neutrón \rightarrow protón + β^- + neutrino

protón \rightarrow neutrón + β^+ + neutrino

Pero el neutrino está en el estado de hipótesis formulada para no desbaratar el principio de la conservación de energía.

Según esta hipótesis el neutrino no ha de tener carga eléctrica, su masa puede que sea $1/2000$ la masa del electrón (prácticamente nula); bajo estas condiciones no hay medios suficientes para identificarlos.

De lo expuesto acerca del núcleo y su constitución, se puede deducir las siguientes conclusiones:

- a) Ernest Rutherford, considera que el átomo está formado de un núcleo muy pequeño ($\sim 10^{-14}$ m de diámetro) y de electrones girantes alrededor del núcleo.
- b) Las órbitas de los electrones se encuentran a gran distancia del núcleo; puesto que, la mayor parte de la masa se encontraba en el núcleo, ya

que, el átomo en su mayor parte el espacio es vacío.

- c) El modelo de Rutherford es un modelo dinámico, debido a que la atracción electrostática del núcleo positivo y de electrones negativos habría causado un colapso en un modelo estático.
- d) El modelo del núcleo se lo considera en dos formas " el modelo de la gota líquida y el modelo de capas ".
- e) Las energías involucradas en la liberación o aceptación de electrones por el átomo, o en las transiciones de un estado estacionario a otro son del orden de varios electrón - volts.
- f) La energía necesaria para remover un electrón del átomo en el estado base de hidrógeno se necesita 13.6 eV.
- g) El deuterón es la estructura nuclear más simple que tiene un núcleo, compuesto de un protón y un neutrón unidos por una fuerza nuclear atractiva de gran intensidad.
- h) La energía que se requiere para separar a los constituyentes del núcleo de un deuterón es de 2.24 MeV.
- i) En una reacción nuclear tal como la fisión del uranio, se libera una tremenda cantidad de energía, del orden:

200 MeV, por átomo de U = 2×10^8 eV.

- j) Las partículas que forman el núcleo, los protones y los neutrones, son conocidas como nucleones.

nes cuando son parte del núcleo.

k) Las partículas α o heliones se encuentran dentro del núcleo, como resultado de la "energía de enlace" que se produce dentro del núcleo, entre nucleones más cercanos.

l) Los electrones β^- , β^+ , más un neutrino se forman en la emisión radiactiva, cuando un nucleón pasa de un estado a otro. (Consideración de E. Fermi). Un neutrino no tiene carga eléctrica y su masa puede ser de $1/2000$ la masa del electrón.

=====

4.2.- DESCUBRIMIENTO DEL NEUTRON

=====

El descubrimiento del Neutrón se alcanzó en 1932, por los trabajos de Fermi, Bothe, Becker, Chadwick, Irene Curie, Frederic Joliot.

El neutrón es una partícula elemental sin carga, con masa un poquito superior a la del protón ($m_H = 1.007825$; además: $m_n = 1.008665$) más penetrante que α y β (un espesor de 5cm de plomo los reduce a la mitad).

Siendo sin carga no se puede revelar con la cámara de experimentación de "Wilson", ni con los contadores de Geiger y Miller.

La experiencia realizada por Irene Curie y Frederic Joliot en 1932 e interpretada por Chadwick, se representa esquemáticamente en la fig. 19 :

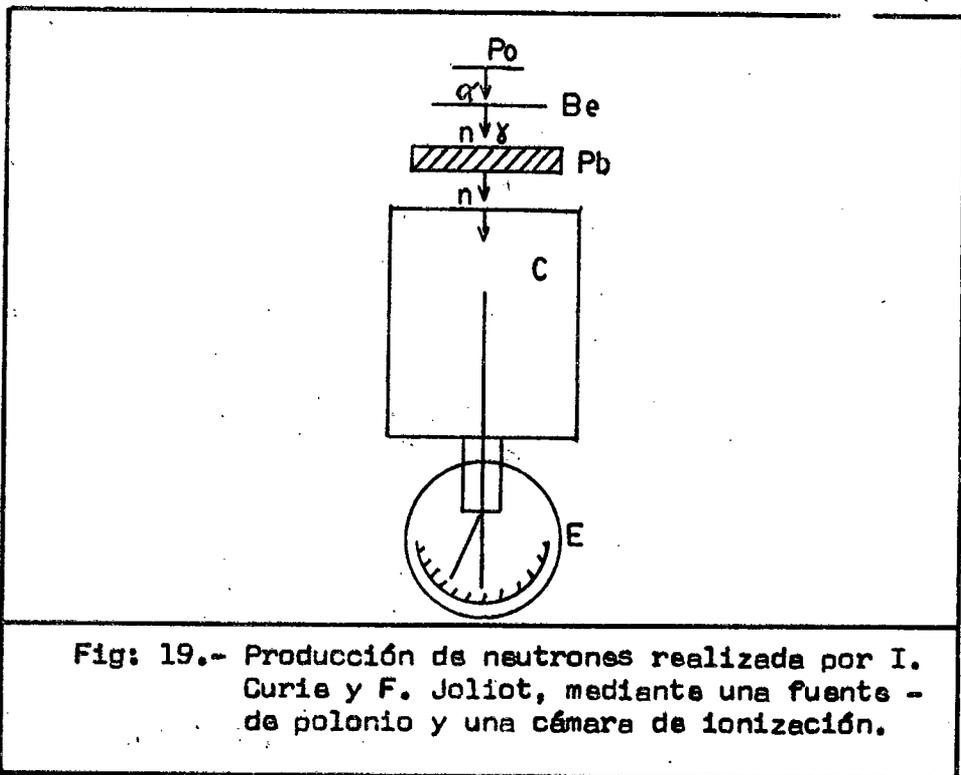
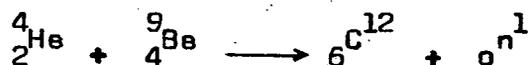


Fig: 19.- Producción de neutrones realizada por I. Curie y F. Joliot, mediante una fuente de polonio y una cámara de ionización.

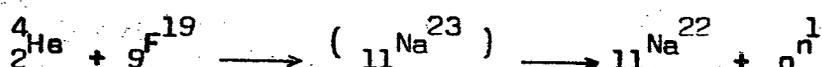
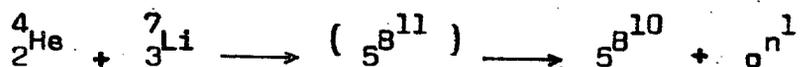
En el Po hay polonio fuente de partículas α ; en Be, Berilio (se puede colocar B, Li). Chocando las partículas α contra Be, de Be salen neutrones " n " y radiaciones γ , atravesando la lámina de plomo de 1,5 cm. Las radiaciones γ se separan, y los neutrones n penetran solos en la cámara de ionización C, llena de aire u otro gas.

Los neutrones que penetran en C chocan contra los núcleos de O y N presentes; estos núcleos " proyectados " en la cámara ionizan el aire y se observan descargas (eléctricas) en el electrómetro E.

La reacción nuclear que se realiza en la producción de neutrones por medio del Be y partículas α , son las siguientes ecuaciones:



Hay otras reacciones como:



=====

4.3.- FUERZAS NUCLEARES

=====

Según la ley de Coulomb, los protones con carga positiva, apretadamente distribuidos dentro del núcleo, deberían repelerse fuertemente entre sí, y dispersarse. Sin embargo, es difícil explicar la estabilidad del núcleo, a menos de suponer que los nucleones se encuentran bajo la influencia de alguna clase de fuerzas atractivas muy intensas.

La ley de "Coulomb" aprendida en bachillerato, se la define de la siguiente manera:

"La fuerza de atracción y repulsión de dos cargas eléctricas, es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, multiplicada por una constante dieléctrica"; expresada por medio de fórmula, se tiene: la ecuación (1), donde

F: es la fuerza eléctrica, q_1 y q_2 las cargas eléctricas, r la distancia entre las dos cargas y ϵ_0 la constante dieléctrica.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \times q_0}{r^2} \quad (1)$$

Donde el valor de la constante dieléctrica, es:

$$\epsilon_0 = 8.85415 \times 10^{-12} \frac{\text{Coub}^2}{\text{New} - \text{m}^2}$$

La fuerza coulombiana de partículas es muy grande; por ejemplo si se tiene dos protones en un núcleo de hierro, separados a una distancia de 4.0×10^{-15} m se repelen con una fuerza de 14 New; que resulta de la ley de Coulomb:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \times q_2}{r^2} \quad ; \text{ luego:}$$

$$F = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ New} - \text{m}^2/\text{Coub}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ Coub})^2}{(4.0 \times 10^{-15} \text{ m})^2}$$

$$F = 14 \text{ New}$$

Esta fuerza repulsiva enorme debe ser más que compensada -



por las intensas fuerzas nucleares de atracción. Este ejemplo , muestra que las fuerzas nucleares de enlace son mucho más intensas que las fuerzas atómicas de enlace. Sin embargo, las fuerzas atómicas de enlace son, a su vez, mucho más intensas que las fuerzas gravitacionales para las mismas partículas separadas la misma distancia.

Las fuerzas repulsivas coulombianas que obran en los protones que se encuentran en un núcleo, hacen que este sea menos estable de lo que sería en caso de que estas no existieran. Como prueba de esta inestabilidad se puede citar la emisión espontánea de partículas alfa por los núcleos pesados y el fenómeno de fisión nuclear.

Las " interacciones fuertes ", fueron estudiadas por el físico Japonés Hideki Yukawa por el año de 1935 al anunciar las principales características de las fuerzas nucleares y postular la existencia de una partícula llamada " pión ", de masa 270 veces la masa del electrón; esta partícula jugó un papel importante en la explicación de las fuerzas nucleares.

Yukawa determinó las siguientes características:

- 1.- Las fuerzas nucleares son efectivas solamente en " cortos intervalos " (cortas distancias).
- 2.- Las fuerzas nucleares son " independientes de la carga "
- 3.- Las fuerzas nucleares son las más " intensas " conocidas en la naturaleza.
- 4.- Las fuerzas nucleares son rápidamente " saturadas " por los nucleones circundantes.

" Corto alcance " se refiere a que las fuerzas nucleares son apreciables sólo cuando las distancias entre los nucleones son del orden 10^{-15} m, o menor. Al ser bombardeado un núcleo por protones y si el alcance de las fuerzas nucleares es del mismo orden de magnitud que las fuerzas repulsivas de Coulomb, a cualquier distancia que lleguen los protones serán afectados por ambos tipos de fuerzas, y la distribución de protones dispersados será diferente de la correspondiente a una dispersión pura de Coulomb.

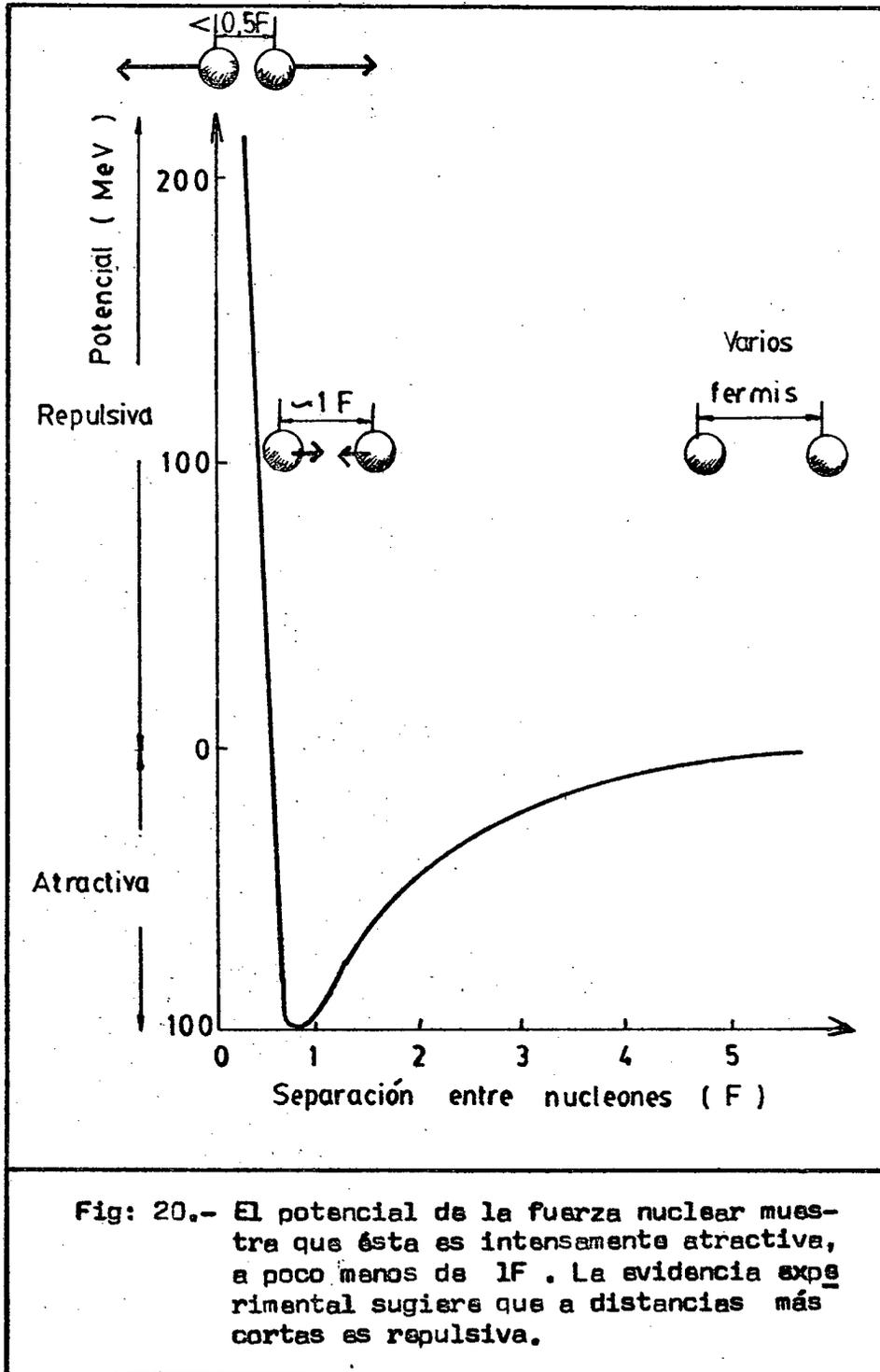
Los protones incidentes que pasan demasiado cerca del núcleo son dispersados por acción de las fuerzas repulsivas eléctricas; sin embargo, la energía de los protones es lo suficiente para vencer el efecto repulsivo de las fuerzas de Coulomb, pueden pasar cerca del núcleo y caer dentro del alcance de las fuerzas nucleares atractivas. En este caso, la distribución de los protones dispersados se debe grandemente a las intensas fuerzas nucleares atractivas, y resulta muy diferente de la producida por la dispersión de Coulomb.

También existe evidencia para sugerir que a distancias extremadamente cortas (0.5 fermi), " los nucleones se repelen entre sí.

La figura: 20, muestra como el acercamiento entre nucleones depende del potencial (MeV); por ejemplo cuando el potencial repulsivo es de 100 MeV, el acercamiento es $\sim 1 F$ (~ 1 fermi); y cuando el potencial pasa de 200 MeV, el acercamiento entre nucleones es de $< 0.5 F$ (menor a 0.5 fermi). Además vemos que la fuerza repulsiva va aumentando, cuando aumenta el potencial.

La figura, además muestra que el potencial de la fuerza nuclear " intensamente atractiva ", o sea, a poco menos de $1 F$ es de 100 MeV. La evidencia experimental sugiere que a distancias más

cortas es repulsiva.



En cambio la figura: 21 muestra cuando un protón se aproxima al núcleo. Cuando el protón está lejos del núcleo su energía total es cinética; sin embargo, cuando se acerca al núcleo, es repelido por la carga positiva del núcleo experimentando un potencial repulsivo de Coulomb.

$$eV = k \frac{Ze^2}{r}$$

Conforme hay un incremento de energía potencial hay un decremento en la energía cinética.

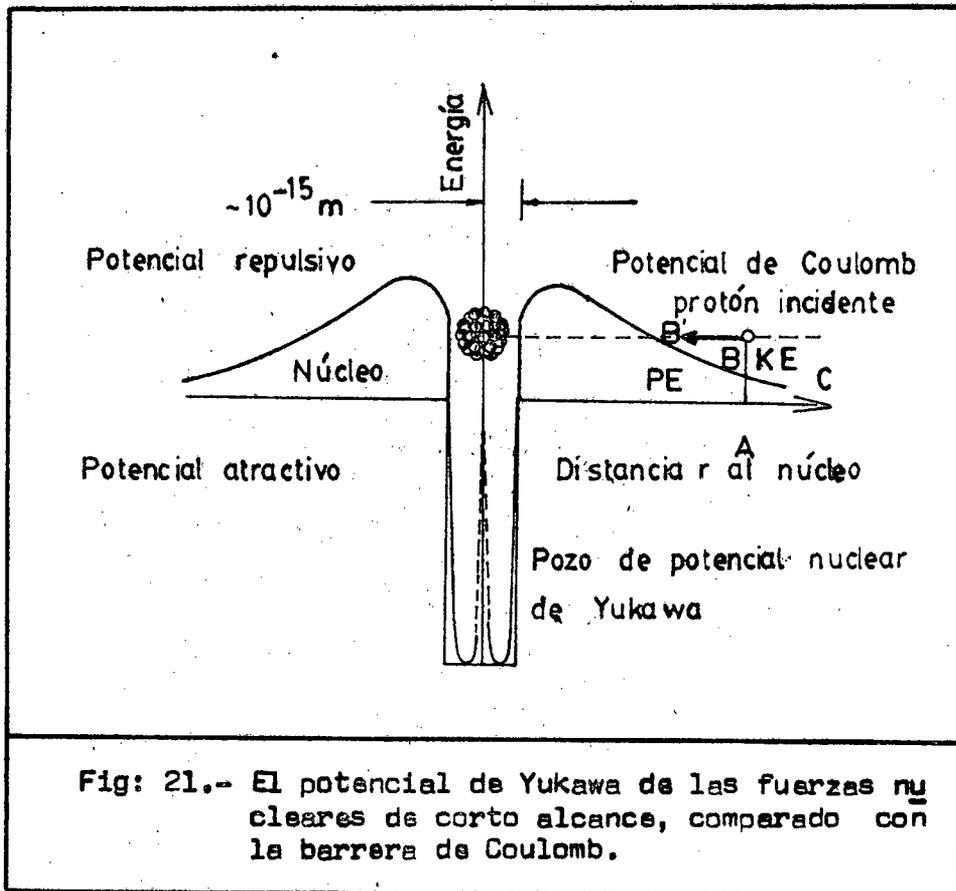


Fig: 21.- El potencial de Yukawa de las fuerzas nucleares de corto alcance, comparado con la barrera de Coulomb.

En la figura, se puede ver que la energía total está dada por

$$AB = AC + CB$$

donde $AB =$ Energía total

$$AC = eV = k \frac{Z_B^2}{r} \quad \text{Energía Potencial}$$

$$CB = KE \quad \text{Energía Cinética}$$

Si observamos detenidamente en la figura: 21, vemos que la energía total del protón es menor que la altura de la barrera de potencial de Coulomb; por mecánica clásica, cuando el protón alcanza la posición B y la energía cinética iguale justamente a la energía potencial, " chocará " clásicamente y rebotará, incapaz de penetrar la barrera para ser atraído por las fuerzas nucleares.

Por otra parte la experiencia muestra que la interacción - entre dos nucleones es independiente de la carga. Además, las interacciones entre las fuerzas nucleares de protones con neutrones, neutrones y neutrones, y protones con protones son las mismas, excluyendo las fuerzas de Coulomb.

Hay que anotar también, que las " interacciones fuertes ", son las fuerzas más intensas encontradas en la naturaleza; sin embargo, fueron observadas con anterioridad fuerzas como la gravitacional, electromagnéticas, siendo más débiles, debido a que están asociadas con los cuerpos macroscópicos.

Las fuerzas nucleares son las únicas que en la naturaleza, exhiben efectos de saturación. La habilidad de las fuerzas nuclea

res para actuar sobre otras partículas alcanza un punto de saturación cuando un nucleón está completamente rodeado por otros nucleones. Los nucleones situados fuera de los nucleones circundantes no " sienten " la interacción del nucleón rodeado.

Sin embargo, hay que anotar que en la actualidad la ciencia está por investigar acerca de la clave de fuerzas básicas de la naturaleza. Científicos internacionales parecen haber descubierto en el Laboratorio Europeo de Física de las Partículas (C.E.R.N.), una partícula de materia que por fin podría brindar la clave de las fuerzas básicas de la naturaleza; según revela el informe del director general del C.E.R.N. Herwig Schooper, dijo que - 180 científicos de ocho países europeos y los Estados Unidos habían rastreado lo que parecería ser la partícula de dos series de experimentos.

Durante generaciones expresa, los físicos han procurado encontrar una explicación única para las cuatro fuerzas diferentes, que gobiernan la manera cómo la materia interactúa: la gravedad, el electromagnetismo, " el poder que mantiene unido el núcleo del más pequeño de los átomos ", y la fuerza que gobierna la decadencia de las partículas radiactivas.

El descubrimiento de la así llamada partícula " W " convalidaría una teoría capaz de unificar el electromagnetismo y la denominada " fuerza nuclear débil ", que controla la desintegración radiactiva como en la incandescencia del sol.

Haciendo chocar partículas durante tres meses descubrieron la pista de la partícula " W " en una enorme máquina subterránea, con forma de anillo ubicada en el laboratorio experimental; estas partículas conocidas como " Weakon ", tienen una vida 100 veces menor que un millonésimo de millonésimo de millonésimo de segundos.

hay la posibilidad de encontrar otra partícula más rara que la partícula " W ".

De lo expuesto, se puede concluir lo siguiente:

- a) Según la ley de Coulomb, los protones con carga positiva, apretadamente distribuidos dentro del núcleo, deberían repelerse fuertemente entre sí, y dispersarse. La fuerza coulombiana, de dos protones que se encuentran a una distancia de 4.0×10^{-15} m se repelen con la fuerza de 14 New.
- b) Las fuerzas nucleares de enlace son mucho más intensas que las fuerzas atómicas de enlace. Las fuerzas atómicas de enlace son, a su vez, mucho más intensas que las fuerzas gravitacionales para las mismas partículas separadas la misma distancia.
- c) Un " pión " es una partícula de masa 270 veces la masa del electrón.
- d) Yukawa determinó las siguientes características:
 - 1. Las fuerzas nucleares son efectivas solamente en " cortos intervalos " (cortas distancias).
 - 2. Las fuerzas nucleares son " independientes de la carga ".
 - 3. Las fuerzas nucleares son las más " intensas " conocidas en la naturaleza.
 - 4. Las fuerzas nucleares son rápidamente " saturadas " por los nucleones circundantes.
- e) Las fuerzas nucleares son apreciables sólo -

cuando la distancia entre los nucleones es del orden de 10^{-15} m o menor.

- f) Protones incidentes que no pasan demasiado cerca del núcleo son dispersados por la acción de fuerzas eléctricas repulsivas.
- g) Los nucleones se repelen entre sí a distancias extremadamente cortas (0.5 fermi).
- h) Cuando un protón está muy lejos del núcleo su energía es cinética; y a medida que se acerca al núcleo y experimenta un potencial repulsivo de Coulomb:

$$eV = k \frac{Ze^2}{r}$$

- i) La interacción entre nucleones es independiente de la carga.
- j) " Las interacciones fuertes ", son las fuerzas más intensas encontradas en la naturaleza.
- k) Las fuerzas nucleares son las únicas que en la naturaleza exhiben efectos de saturación.

=====

4.4.- PROPIEDADES DEL NUCLEO " DEFICIT DE MASA "

=====

Si el núcleo, está compuesto de neutrones y protones, porta una carga eléctrica neta de $+Ze$, donde el número atómico Z da el número de protones. En consecuencia, parecería que la masa del núcleo debiera ser

$$\text{masa nuclear supuesta} = Zm_p + Nm_n$$

donde m_p y m_n son las masas de protones y neutrones y N es el número neutrónico; además Z es el número de protones; sin embargo, mediciones realizadas con espectrómetros de masa, indican que:

$$\text{masa nuclear real} < Zm_p + Nm_n$$

Luego, la diferencia de masas se la llama " déficit de masa ".

$$Zm_p + Nm_n - \text{masa nuclear real} = M_D$$

Donde M_D representa el déficit de masa.

Por la Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein se explica teóricamente el " déficit de masa ", mediante la ecuación de conversión entre masa y la energía

$$\Delta E = (\Delta m) c^2$$

" Es decir, cuando los protones y neutrones se unen para formar núcleo estable, algo de la masa (Δm) desaparece en forma de energía liberada; o sea, usualmente en forma de energía de rayos γ ".

En consecuencia, cuando el núcleo es bombardeado con protones, los protones deben penetrar la barrera de Coulomb con el objeto de acercarse lo suficientemente para " sentir " las fuerzas -

nucleares. Experimentos con partículas cargadas dispersadas por el núcleo llevaron a determinar para el radio del núcleo la siguiente expresión:

$$R = r_0 A^{1/3} \quad (1)$$

donde A es el número de masa y $r_0 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m} = 1.2F$.

Además, hay que tomar en cuenta que la barrera de Coulomb, no ofrece resistencia a los neutrones dispersados por el núcleo; los neutrones "sienten" la acción de las fuerzas nucleares a distancias un poco mayor que las partículas cargadas, o sea:

$$r_0 = 1.5 \times 10^{-15} \text{ m} = 1.5 F$$

pero para cálculos matemáticos se toma en cuenta el valor de $1.3F$

Como la masa es directamente proporcional a la densidad y directamente proporcional al volumen nuclear; luego, la "densidad nuclear" ρ_N se la determina a partir de la relación matemática:

$$\rho_N = \frac{\text{masa nuclear}}{\text{volumen nuclear}} \quad (2)$$

La masa nuclear es aproximadamente

$$\text{masa nuclear} \cong Am_N \quad (3)$$

donde A es el número de masa y m_N es aproximadamente la masa del nucleón, $m_N = 1.67 \times 10^{-27}$ Kg. Por otra parte sabemos que el volumen de una esfera es:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (4)$$

Luego el volumen nuclear, resulta de reemplazar la (1) en la (4), es decir:

$$V = \frac{4}{3} \pi (r_0 A^{1/3})^3$$

Por tanto:

$$V = \frac{4}{3} \pi r_0^3 A \quad (5)$$

Reemplazando la (3) y la (5) en la (2), se tiene finalmente lo siguiente:

$$\rho_N = \frac{Am_N}{\frac{4}{3} \pi r_0^3 A}$$

Es decir,

$$\rho_N = \frac{3m_N}{4\pi r_0^3}$$

reemplazando los valores. $m_N = 1.67 \times 10^{-27}$ Kgr ; y
 $r_0 = 1.3 \times 10^{-15}$ m, se tiene:

$$\rho_N = \frac{3 m_N}{4 \pi r_0^3}$$

$$\rho_N = \frac{3 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ Kgr}}{4(3.1416)(1.3 \times 10^{-15} \text{ m})^3}$$

$$\rho_N \cong 2 \times 10^{17} \text{ Kgr/m}^3 = 2 \times 10^{14} \text{ tons/m}^3$$

" De este valor se concluye que la densidad nuclear es un valor increíblemente grande ". Sin embargo, la densidad atómica - es mucho más pequeña.

$$\rho_A \cong \frac{2 \times 10^{17}}{(10^4)^3} = 2 \times 10^5 \text{ Kg/m}^3$$

Pero la densidad de la materia macroscópica es considerablemente menor que las densidades atómicas o nucleares; por ejemplo la densidad del agua es:

$$\rho_w = 1 \text{ gr/cm}^3 = 10^3 \text{ Kg/m}^3$$

De lo expuesto acerca de las propiedades del núcleo, se puede deducir las siguientes conclusiones:

- a) El " déficit de la masa " es la diferencia de la masa nuclear supuesta: $Zm_p + Nm_n$ y la masa nuclear real: $< Zm_p + Nm_n$, o sea:

$$Zm_p + Nm_n - \text{masa nuclear real} = M_D$$

- b) El " déficit de masa ", está basada en la ecuación de conversión entre la masa y la energía de la Teoría Especial de la Relatividad del físico Albert Einstein:

$$\Delta E = (\Delta m)c^2$$

- c) Cuando el número de protones y el número de neutrones se combinan para formar un núcleo estable, algo de la masa (Δm) desaparece en forma de energía liberada (usualmente en forma de energía de rayos γ).
- d) Cuando el núcleo es bombardeado con protones, los protones deben penetrar la barrera de Coulomb con el objeto de acercarse lo suficiente, para " sentir " las fuerzas nucleares.
- e) La barrera de Coulomb no ofrece resistencia a los neutrones dispersados por el núcleo.

- f) Los neutrones " sienten " la acción de fuerzas nucleares a distancias un poco mayor que las partículas cerradas; es decir: $r_0 = 1,5 F$.
- g) La densidad nuclear es directamente proporcional a la masa nuclear, e inversamente proporcional al volumen nuclear:

$$\rho_N = \frac{\text{masa nuclear}}{\text{volumen nuclear}} = \frac{m_N}{\frac{4}{3}\pi r_0^3}$$

- h) La densidad nuclear es un valor increíble grande, la densidad atómica mucho más pequeña y la densidad de la materia macroscópica es considerablemente menor, es decir:

$$\rho_w < \rho_A < \rho_N$$

; o sea:

$$10^3 \text{ Kg/m}^3 < 2 \times 10^5 \text{ Kg/m}^3 < 2 \times 10^{14} \text{ tons/m}^3$$

=====

4.5.- ENERGIA DE AMARRE NUCLEAR

=====

Quando un número Z de protones y un número N de neutrones se combinan para formar un núcleo, parte de la masa (Δm), desaparece por que se convierte en una cantidad de energía relati

vista $\Delta E = (\Delta m)c^2$, de acuerdo a la Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein. Esta energía que se la puede estudiar fácilmente en bachillerato es lo que se denomina "energía de amarre BE del núcleo". En consecuencia, para separar en un núcleo estable sus protones y neutrones constituyentes, la energía mínima requerida es la energía de amarre. Luego, la energía de amarre es:

$$BE = (Zm_p + Nm_n)c^2 - M_n c^2 \quad (1)$$

donde M_n es la masa nuclear y cada término de masa se multiplica por c^2 , para expresar la ecuación en términos de energía, de acuerdo al principio relativista.

Además, tenemos que la masa nuclear se puede calcular, mediante la siguiente ecuación:

$$M_n = M_a - Zm_e \quad (2)$$

donde M_a representa la masa atómica correspondiente a la masa nuclear especificada y Zm_e es la masa total de los electrones orbitales. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la energía de enlace de los electrones se ha despreciado por que es muy pequeña comparada con las energías nucleares de amarre.

La masa del protón se puede encontrar mediante la ecuación, resultante de la diferencia de la masa atómica del átomo de hidrógeno y la masa del electrón orbitante; es decir:

$$\boxed{m_p = m_H - m_e} \quad (3)$$

donde m_H es la masa atómica del átomo de hidrógeno. La energía de enlace del electrón de 13.6 eV, es también despreciable.

Ahora, si reemplazamos en la (1) la (2) y la (3) la ecuación para la energía de amarre, será:

$$BE = Z(m_H - m_e)c^2 + Nm_n c^2 - (M_a - Zm_e)c^2$$

Multiplicando, se tiene:

$$BE = Zm_H c^2 - Zm_e c^2 + Nm_n c^2 - M_a c^2 + Zm_e c^2$$

Simplificando la ecuación, tenemos:

$$BE = Zm_H c^2 + Nm_n c^2 - M_a c^2$$

De donde se tiene:

$$BE = (Zm_H + Nm_n)c^2 - M_a c^2$$

Sin embargo, es más conveniente expresar la energía de amarre en términos de unidades de masa antes que en lugar de unidades de energía; siendo necesario no tomar en cuenta el término relativista c^2 ; quedando en consecuencia la expresión, en la siguiente forma, según indica la ecuación (4), donde BE se la expresa en unidades atómicas de masa; es decir:

$$BE = (Zm_H + Nm_n) - M_a \quad (4)$$

Cuando $BE > 0$, el núcleo es estable, teniendo que sumin~~is~~trársela energía desde el exterior, para separarlo en sus constituyentes.

Cuando $BE < 0$, el núcleo es inestable y se desintegrará por sí mismo.

Por ejemplo, calculemos la energía de amarre para el $^{16}_8\text{O}$

Sabemos que: $A = Z + N$

Luego: $Z = 8$ y $N = 8$

$$Zm_H = 8 \times 1.007825 = 8.062600 \text{ uam}$$

$$Nm_n = 8 \times 1.008665 = 8.069320 \text{ uam}$$

$$Zm_H + Nm_n = 16.131920 \text{ uam}$$

masa atómica del $^{16}_8\text{O} = 16.000000 \text{ uam}$

Luego:

$$BE = + 0.131920 \text{ uam}$$

Transformando las unidades atómicas de masa, se tendrá la siguiente expresión:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ uam} & & 931,48 \text{ MeV} \\ 0,131920 \text{ uam} & & X \end{array}$$

$$X = \frac{0,131920 \text{ uam} \times 931,48 \text{ MeV}}{1 \text{ uam}}$$

$$X = 122,8 \text{ MeV}$$

Luego:

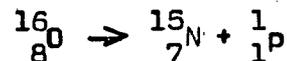
$$BE = 122,8 \text{ MeV}$$

Al dividir esta energía para 16, se tiene la energía de amarre por nucleón, es decir:

$$123 \text{ MeV}/16 = 7,68 \text{ MeV/nucleón}$$

Otro ejemplo sería, calcular la "energía" de separación: SE necesaria para remover un protón ${}^{16}_8\text{O}$.

Cuando se mueve un solo protón de un núcleo ${}^{16}_8\text{O}$, queda un núcleo de ${}^{15}_7\text{N}$.



La energía de separación es entonces:

$$SE = (\text{masa atómica de } {}^{15}_7\text{N} + m_{\text{H}}) - (\text{masa atómica } {}^{16}_8\text{O})$$

masa atómica del ${}^{15}_7\text{N} = 15.000108 \text{ uam}$

masa atómica del $m_{\text{H}} = 1.007825 \text{ uam}$

$$\frac{{}^{15}_7\text{N} + m_{\text{H}}}{} = 16.007933 \text{ uam}$$

Luego aplicando la fórmula:

$$BE = (Zm_{\text{H}} + Nm_{\text{n}}) - M_{\text{a}}$$

$$BE = ({}^{15}_7\text{N} + {}^1_1\text{P}) - M_{\text{a}} \quad {}^{16}_8\text{O}$$

$$BE = (16.007933 - 16.000000) \text{ uam}$$

$$BE = 0.007933 \text{ uam}$$

Transformando a energía, se tiene:

$$1 \text{ uam} \qquad 931.48 \text{ MeV}$$

$$0.007933 \text{ uam} \qquad BE$$

$$BE = \frac{0.007933 \text{ uam} \times 931.48 \text{ MeV}}{1 \text{ uam}}$$

$$BE = 7.40 \text{ MeV}$$

De lo expuesto acerca de la energía de amarre nuclear, se puede deducir lo siguiente: según se indica en el cuadro que a continuación se indica, relacionado a la energía total, a la energía de amarre del núcleo, energía mínima requerida, etc.

- a) Cuando Z protones y N neutrones se combinan para formar un núcleo, parte de la masa (Δm) desaparece por que se convierte en una cantidad de energía de acuerdo a la Teoría Especial de la Relatividad

$$\Delta E = (\Delta m)c^2$$

- b) La energía de amarre del núcleo, se la expresa por la ecuación del literal (a).
- c) La energía mínima requerida para separar el núcleo en protones y neutrones, es la energía de amarre. Luego la energía de amarre, es:

$$BE = (Zm_p + Nm_n)c^2 - M_n c^2$$

- d) La energía de amarre expresada en términos de masa, se la representa:

$$BE = (Zm_p + Nm_n) - M_a$$

- e) Si $BE > 0$, el núcleo es estable y debe suministrársele la energía desde el exterior, para separarlo en sus constituyentes.

- f) Si $BE < 0$, el núcleo es inestable y se desintegrará por sí mismo.
- g) La masa nuclear es el resultado de la diferencia de la masa atómica correspondiente a la masa nuclear especificada M_a y la masa total de los electrones orbitales Zm_e .

$$M_n = M_a - Zm_e$$

- h) La masa del protón resulta de la diferencia de la masa atómica del átomo de hidrógeno m_H y la masa del electrón m_e .

$$m_p = m_H - m_e$$

=====

C A P I T U L O

=====

5

=====

R A D I A C T I V I D A D N A T U R A L

=====

=====

5.0.- RADIATIVIDAD NATURAL

=====

La radiactividad natural fué descubierta casualmente por el Físico Francés Becquerel el 1896, dejando un mineral de uranio sobre un paquete de placas fotográficas no reveladas que estaban en vueltas en papel negro como medida de protección. Al revelar la placa fotográfica asombró al físico al encontrar una clase desconocida de radiación, que provenía del mineral, la misma que había dejado una imagen sobre la placa con la forma del trozo del mineral.

Por el año de 1898, los cónyuges Curie, habían tenido éxito al separar 1 gm. de sustancia activa alrededor de 1 ton de peblenda; esta nueva sustancia se le denominó " polonio " , en honor a Polonia, ciudad natal de la señora Curie.

A los Curie se les concedió juntamente con Becquerel el premio de física en 1903 por este descubrimiento.

Por medio de un campo magnético Rutherford logró separar - las partículas α , que son núcleos de helio, y partículas β , que son electrones. Luego Paul Willard encontró aún otro tipo de radiación diferente, rayos γ , forma muy energética de ondas electromagnéticas. Cualquier núclido que cambia su estructura emitiendo rayos γ o alguna partícula nuclear como las partículas α , γ , β^+ , β^- es llamado núcleo radiactivo. Así se determinó que la radiactividad en general consiste en emisión de:

Partículas α , o heliones, con carga eléctrica 2 y peso atómico 4.

Partículas β^- , o electrones con carga 1 y peso atómico $1/1840 m_H$.

Partículas β^+ , o positrones con las mismas características de β^- .

Radiaciones γ .

Se averiguó también que esta radiactividad es fenómeno que se realiza desde el interior del núcleo, porque no está afectada ni por temperatura, ni por presiones, o campos, o enlaces químicos.

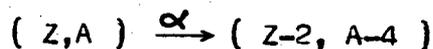
=====

5.1.- LEY DE DESPLAZAMIENTO RADIOACTIVO

=====

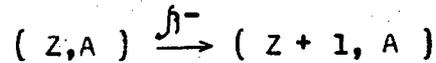
La emisión radiactiva, evidentemente debe producir unos cambios en la naturaleza de los elementos; para identificarlos fácilmente, si indicamos con " Z ", el número atómico del elemento y con " A ", su peso atómico, se tendrá los siguientes procesos respectivos de la desintegración de los núclidos naturalmente radiactivos:

a) Para la emisión de una partícula α o helión:



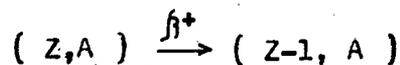
que quiere decir: el núclido (Z, A) que emite una partícula α , se transforma en otro núclido con número atómico (Z-2) y peso atómico (A-4); por consiguiente, en el sistema periódico del investigador Mendeléev el núclido se retrasa en dos casillas; como indica la fig.: 22 .

b) Para una emisión β^- o electrón:



Es decir, el núcleo por una emisión β^- se transforma en un nuevo núcleo que tiene número atómico $(Z + 1)$ y peso atómico - el mismo que el núcleo origen; por lo tanto, este nuevo núcleo, se adelantará en una casilla, horizontalmente, en el sistema de Mendeléev, como indica la fig.: 22.

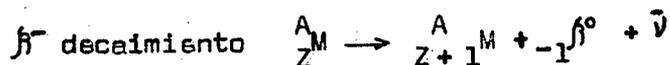
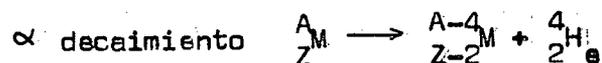
c) Para la emisión β^+ o positrón:



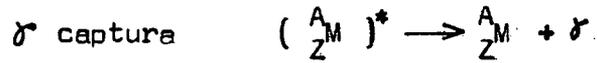
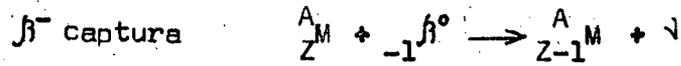
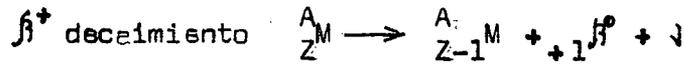
Es decir el núcleo producido tendrá número atómico $(Z - 1)$ y peso atómico igual al núcleo madre, y se atrasará en una casilla en el sistema de Mendeléev.

Gráficamente, este proceso, que expresa la " Ley de desplazamiento radiactivo " se puede representar como indica el diagrama de la figura: 22, que tiene como abscisa el número atómico "Z" y como ordenada el peso atómico "A". Sin embargo, hay que considerar que las partículas β^+ se observan solo en radiactividad artificial.

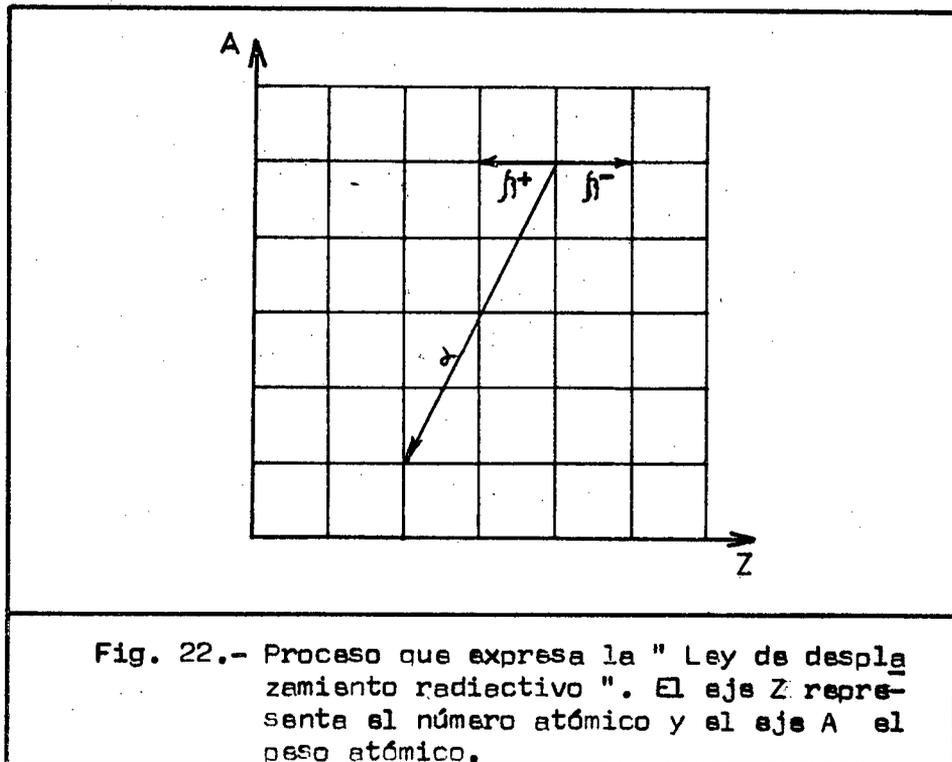
La desintegración de los núclidos naturalmente radiactivos se puede expresar:



donde ν y $\bar{\nu}$ representan al neutrino y antineutrino.



donde ν y $\bar{\nu}$ representa al neutrino y al antineutrino y $\left(\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} M \right)^*$, representa un átomo en un estado excitado de la energía.



=====

5.2.- FAMILIAS RADIATIVAS

=====

Naturalmente de esta radiactividad se originan conjuntos -

de núclidos que tienen como punto de salida un núcleo bien determinado; a estos conjuntos se los llama " familia radiactiva ".

Se conocen como tales, principalmente, tres familias radiactivas que tienen como núcleo origen el Uranio, Thorio y Actinio.

=====

5.3.- LEY DE LA DESINTEGRACION RADIATIVA

=====

Si consideramos " N " el número de átomos presentes en el tiempo " t " y " dN " el número de desintegraciones durante un intervalo de tiempo dt, luego:

$$\text{Probabilidad de desintegración} = - \frac{dN}{N} \quad (1)$$

donde el signo menos indica que dN siempre es negativo. Luego, la probabilidad de desintegración por unidad de tiempo es:

$$\lambda = - \frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = \text{constante} \quad (2)$$

donde λ se identifica como " la constante de desintegración radiactiva ".

La " actividad " de una muestra se define por la expresión $A = \left| \left(\frac{dn}{dt} \right) \right| = \lambda N$ desintegraciones/seg y representa la razón a la cual ocurren las desintegraciones de los



núcleos. La unidad por medir la actividad es el " Curie " (Ci)
Un Curie representa 3.70×10^{10} desintegraciones/seg, o el mili
curie (mCi), que es igual a 3.70×10^7 desintegraciones/seg.

La ecuación (2), se le puede expresar en la siguiente forma:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

Luego:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

La ecuación (3) si se multiplica ambos miembros por λ , -
se tiene:

$$\lambda N = \lambda N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Donde:

$\lambda N_0 = A_0$ es la actividad inicial

$\lambda N = A$ es la actividad en el tiempo t

Reemplazando en la (4), se tiene:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (5)$$

expresada en forma logarítmica, se tendrá:

$$\ln A = \ln A_0 - \lambda t$$

La ecuación (3) nos dice que el número de átomos no desintegrados decae exponencialmente con el tiempo. Por tanto, esta expresión analítica viene a ser la "Ley de la desintegración radiactiva".

La "Vida media" $T_{1/2}$ de un radioisótopo se define, como el tiempo transcurrido en el cual el número de átomos decae a la mitad del número inicial, o el tiempo en el cual la actividad disminuye a la mitad de la actividad inicial. Cuando $t = T_{1/2}$, el número de átomos presentes de una clase dada, será: $N = 1/2 \cdot N_0$. Reemplazando en la (3), se tiene:

$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 \cdot e^{-\lambda T_{1/2}}$$

Luego:

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

Por logaritmos, se tendrá:

$$-\ln 2 = -\lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

De lo expuesto, se puede deducir las siguientes conclusiones:

- a) Todo núcleo que cambia de estructura emite rayos γ , o alguna partícula nuclear como las partículas α , β^- , β^+ es llamado "núcleo radiactivo".
- b) La radiactividad es el fenómeno que se realiza desde el interior del núcleo, por que no está afectada por la temperatura, por presiones, campos, ni enlaces químicos.
- c) La probabilidad de desintegración es proporcional al número de desintegraciones durante el tiempo dt , e inversamente proporcional al número de átomos presentes en un tiempo t .

$$\text{Probabilidad de desintegración} = \frac{dN}{N}$$

- d) La probabilidad de desintegración por unidad de tiempo es la constante de desintegración y se la expresa:

$$\lambda = - \frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = \text{constante}$$

- e) El número de átomos no desintegrados decae exponencialmente con el tiempo. Luego, la "ley de

la desintegración radiactiva", expresada analíticamente y que resulta de la ecuación del literal (d), se tiene:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

f) La " actividad " es la razón a la cual ocurren las desintegraciones de los núcleos y se define:

$$A = \left| \left(\frac{dn}{dt} \right) \right| = \lambda N \text{ desintegraciones/seg}$$

g) La actividad en el tiempo t en función de la actividad inicial, está expresada por la ecuación:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

o también:

$$\ln A = \ln A_0 - \lambda t$$

h) La " vida media " de un radioisótopo se define como el tiempo transcurrido en el cual el nú

mero de átomos decae a la mitad del número inicial, o el tiempo en el cual la actividad disminuye a la mitad de la actividad inicial; expresada analíticamente, se tiene:

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

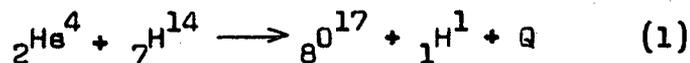
=====

5.4.- RADIATIVIDAD ARTIFICIAL

=====

Rutherford en 1919 bombardeó con partículas α provenientes de A, nitrógeno contenido en una cámara al vacío, como indica la figura: 23; por medio del microscopio M, observó que se producía un centelleo en F; pero se analizó cuando la cámara contenía O_2 , CO_2 , no se observaba nada.

Analizando bien las cosas, concluyó que las partículas α , bombardeando los átomos de nitrógeno, realizaban una "reacción nuclear" que se podía representar así:



Es decir: las partículas α , de peso atómico 4, número atómico 2, chocando contra los núcleos de nitrógeno de peso atómico 14, número atómico 7, producían átomos de oxígeno de peso atómico 17, número atómico 8, y protones ${}_1\text{H}^1$; además se producía -

una cierta cantidad de energía Q (obsérvese, cómo la suma de los pesos atómicos y la suma de los números atómicos del primer miembro de la ecuación (1) , coinciden con los valores de los mismos en el segundo miembro).

Con esta experiencia, en 1919 nació los conceptos acerca - de la " desintegración artificial ", y empezaron a realizarse en todos los laboratorios del mundo reacciones similares, como las que se indica:

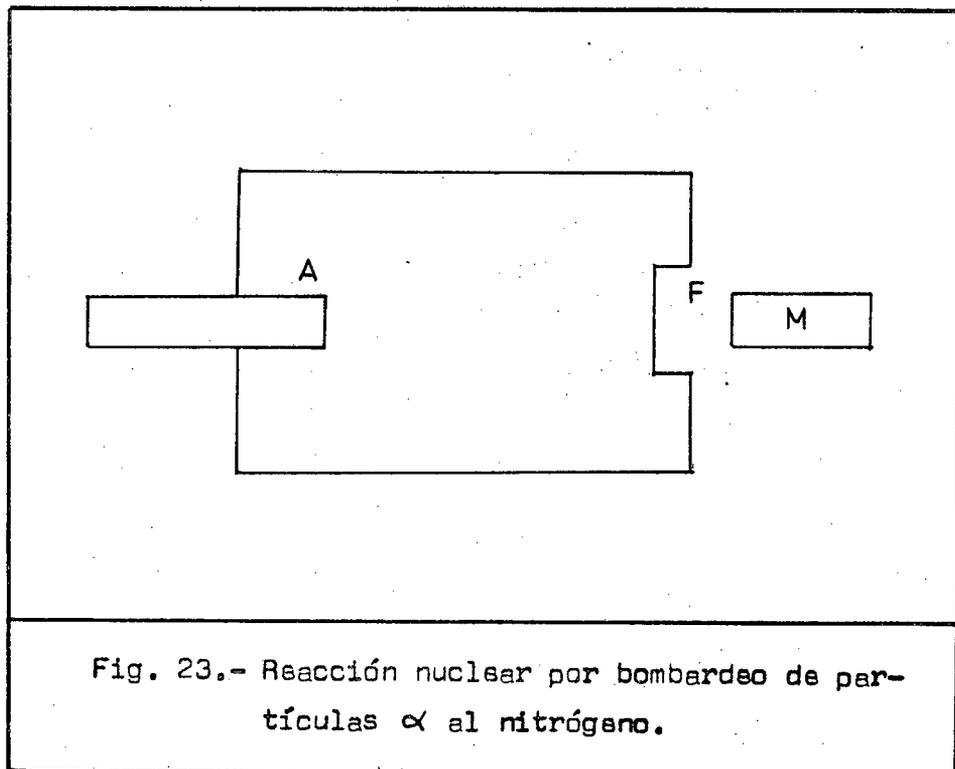
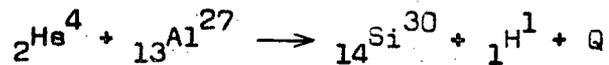
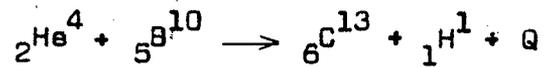


Fig. 23.- Reacción nuclear por bombardeo de partículas α al nitrógeno.

CAPITULO

6

ELEMENTOS RADIOACTIVOS
EN EL ECUADOR

=====

6.0.- ELEMENTOS RADIOACTIVOS EN EL ECUADOR

=====

Hace poco tiempo se creía que el recurso energético del petróleo en nuestro país era inagotable. Esta idea errónea desarrolló en el pueblo ecuatoriano, un patrón de conducta caracterizado por un desenfrenado consumismo a todos los niveles y en todos los sectores económicos. Sin embargo, aunque tardíamente, hemos percibido ahora, que la era de la energía barata y segura disminuye, dando como resultado una serie de crisis económica por el uso irracional de este recurso energético.

A finales de este siglo, en el Ecuador podría ocurrir una crisis de abastecimiento de productos de los hidrocarburos, si el consumismo sigue creciendo al ritmo actual. En estos días dependemos de la actividad petrolera en un porcentaje demasiado alto; ya que, un elevado porcentaje de los ingresos fiscales provienen del petróleo.

Los esfuerzos que se han realizado en todas partes, de manera especial en los países industrializados, en materia de investigación y desarrollo, han determinado un crecimiento científico y tecnológico, mediante el aprovechamiento de la energía nuclear producida por elementos radiactivos.

En el año de 1984 en nuestro País entrará en funcionamiento el centro de Estudios e Investigaciones Nucleares cuyo costo asciende a más de 151 millones de sucres. El objetivo de este organismo es iniciar la búsqueda de minerales radiactivos de interés nuclear; desarrollar el empleo de la energía atómica en la medicina, aplicación en la agricultura, control de calidad, mantenimiento y seguridad industrial; establecer centros de estudios e

investigaciones tendientes a la capacitación de personal y utilización de equipos en los institutos de educación y organismos del Estado.

De acuerdo con los estudios científicos, el centro nuclear que se instalará en el País será de 3 Mw de potencia y contará con laboratorios asociados para la producción y fraccionamiento de los radioisótopos. Además dará tratamiento a las moléculas de interés biológico a emplearse tanto con fines médicos como en la agricultura y otros trabajos de investigación; como la construcción y metalmecánica en el sentido que éstas tendrán que ajustarse a las normas de garantía y control de calidades que requieran. Así mismo ayudará a la localización de yacimientos de materias radiactivas hacia una posible fuente de utilización energética nuclear.

En consecuencia, es necesario revisar las estrategias en búsqueda de minerales radiactivos, y aprovechar la capacidad técnica, que impulse el desarrollo energético del País.

=====

6.1.- PROBABILIDAD DE EXISTENCIA DE MINERALES RADIATIVOS EN EL ECUADOR

=====

La Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica del Ecuador, a partir de 1979 tomó a su cargo la tarea de evaluar las posibilidades que el Ecuador podría tener como productor de minerales radiactivos y otros de interés nuclear.

Además existe la asistencia técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, para desarrollar programas con geólogos ecuatorianos. En el año de 1980 La Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica CEEA conjuntamente con la Dirección de Geolo-

gía y Minas, inició el programa de prospección radiométrica autoportada, cuyo objetivo consistió en detectar puntos o áreas de radiactividad anómala mediante una revisión radiométrica geológica del mayor número de carreteras y vías carrozables del País.

En el año de 1981 se realizó estudios de prospección de minerales radiactivos, habiendo la posibilidad de ubicar estos minerales en la región subandina amazónica, en la que previamente se habían localizado indicios interesantes. Las zonas con posibles reservas de uranio son el levantamiento Napo - Galeras, al Norte; la cordillera Cutucú, al Centro; y la cordillera del Cóndor, al Sur. Esta posibilidad está determinada por la localización de calizas y arcillas bituminosas con materia orgánica, que son el mejor ambiente para la búsqueda de yacimientos de uranio.

Esta probabilidad la anotan inclusive geólogos peruanos que han hecho investigaciones en la cuenca del río Cenepa, por la cordillera del Cóndor. En esta zona se estima que existe petróleo pesado y material radiactivo. Además, hay importantes anomalías de uranio y torio en la provincia del Napo, muy cerca del Tena.

El programa de prospección autoportada culminó en 1982, habiéndose recorrido aproximadamente 12000 kilómetros de caminos y localizándose unas 120 anomalías radiométricas.

Por el año de 1982 se firmó un proyecto de trabajo de "exploración de uranio en el Ecuador", con la asistencia técnica del programa de las naciones unidas para el desarrollo y el OIEA, con el propósito de capacitar a personal ecuatoriano en técnicas de prospección y exploración de minerales radiactivos de interés nuclear; este proyecto tiene una duración de tres años, es decir, hasta el 1985, habiéndose escogido dos áreas principales de trabajo de 12000 km², en la faja subandina amazónica.

Mediante estudio de las anomalías descubiertas por la pro
pección autoportada, se encuentra una zona altamente interesante
en el sub-oeste del país, constituida por unos 30 km² de radiacti
vidad anómala.

Según datos de prensa se tiene conocimiento de que se ha
hecho pública una denuncia procedente de Estados Unidos que afir
ma que a 240 millas de las islas Galápagos, existen posibles yaci
mientos de minerales estratégicos.

En consecuencia, es prioritario emprender un programa de
exploración amplia, para definir el potencial de minerales radiac
tivos, que constituirá una nueva fuente de divisas para el país.

Los recursos mineros en el Ecuador se hallan prácticamente
inexplorados, y es tiempo que los organismos del Gobierno den la
importancia que requieren en acciones concretas, precisas y defi
nidas. Los minerales radiactivos, así como los otros minerales, -
pueden ser una de las alternativas más viables para encontrar nue
vos ingresos al Estado y afianzar el proceso de desarrollo de nues
tro país.

" Por el carácter de estratégico que tienen estos minera
les radiactivos, su búsqueda y exploración están reguladas por le
yes especiales y las acciones se realizan con reserva.

=====

6.2.- ANOMALIAS DE LA EXPLORACION RADIOMETRICA REALIZADA EN EL NORTE -
=====

DEL PAIS

=====

Investigaciones realizadas por la Dirección de Geología y



Minas del Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos de nuestro país, determinan las posibilidades de existencia de minerales radiactivos, de manera especial en el sector Lumbaquí - Reventador y el río Chingual.

Las muestras ecuatorianas investigadas por el método fluorimétrico del río Chingual, de la zona nor-oriental del país, dan valores aceptables de 66 a 88 ppm con un valor promedio de 81 ppm, o partes por millón. Este dato importante, permite seguir realizando investigaciones anómalas, por haber la posibilidad de existencia de minerales radiactivos de gran interés para nuestro país.

Exploraciones realizadas con el receptor GAD - 4, constituido de un sensor de 103 cm³ de un cristal de yoduro de sodio, muestra las posibilidades de existencia de minerales radiactivos de uranio, potasio y thorio en la zona norte del país. Por ejemplo observaciones anómalas a 7 km de Tulcán hacia el Sur de la ciudad, hay un talud de color amarillento, aunque, no importante económicamente, pero con indicios de minerales radiactivos.

Estas investigaciones realizadas dentro del campo de mineralogía, de manera especial de minerales radiactivos de la zona norte, obliga a que los organismos del Estado le den mayor importancia, por ser una de las alternativas más viables para encontrar nuevos ingresos que permitan el desarrollo de nuestro país.

=====
6.3.- ANALISIS GEOQUIMICO DE MUESTRAS QUE CONTIENEN URANIO
=====

La Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica a emprendido un amplio estudio de minerales radiactivos, de manera especial el uranio que presenta una de las alternativas del desarrollo energé-



tico de nuestro país.

Las investigaciones que se realizan en el Laboratorio de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica CEEA que se encuentra en Aychapichu (Aloag), tiene por objeto determinar experimentalmente la concentración de uranio en rocas, suelos, sedimentos fluviales, etc. Para encontrar el grado de concentración de este mineral radiactivo se requiere de un Laboratorio técnicamente equipado, con los siguientes elementos fundamentales: " fluorímetro " , molino de mandíbula o chancadora, molino de discos, tamices, balanza de precisión Metlar E-200, ácidos como el nítrico, agua destilada, nitrato de uranio, una mezcla de ácido sulfurico + ácido nítrico + ácido clorhidrico, basos de teflón, platillos de platino, quemador, máquinas centrífugas, horno, estufas, probetas, tubos de ensayo.

El fluorímetro, es un aparato que se lo utiliza en el Laboratorio de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica para analizar muestras que contienen elementos radiactivos como el uranio. Este aparato funciona con una tensión de corriente eléctrica de 110 voltios y está constituido de un receptáculo donde se coloca una muestra en forma de pastilla. El receptáculo es un orificio de forma circular de 5 cm de diámetro aproximadamente; en su interior se encuentra una lámpara y una placa azul celeste con un filtro de longitudes de onda que da una radiación de color violeta. A través del filtro pasan longitudes de onda necesarias para activar los átomos de uranio que se encuentran en la muestra. Una vez activados los átomos emiten fluorescencia que es recibida en el fotomultiplicador para luego ser enviados en forma de pulsos eléctricos al microamperímetro, cuya escala va de 1 a 100 microamperios.

Los Geólogos de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, como también los del Ministerio de Recursos Naturales y Energéti-

cos son los encargados de llevar al Laboratorio de la CEEA, las muestras para ser analizadas por un personal técnico en la materia en base a una planificación de estudio de los minerales radiactivos, de manera especial el uranio. Las muestras pueden ser rocas, suelos o sedimentos fluviales.

En el análisis de las muestras los suelos y los sedimentos no necesitan ser procesados mediante los molinos existentes en el Laboratorio de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica. En cambio, las rocas necesariamente deben ser procesadas en los molinos que funcionan con una tensión de 200 voltios. Los molinos se encuentran cubiertos por una campana de estructura metálica que permite succionar el polvo y llevarlo al exterior, o sea, fuera del Laboratorio; la alta velocidad y el material como rocas que se utiliza produce un ruido de intensidad fuerte, siendo recomendable que el investigador utilice un cubre cabeza, cubre vías respiratorias y amortiguadores de ruido.

El molino de mandíbula o chancadora tiene la propiedad de reducir el tamaño de la roca aproximadamente a 1 cm. Luego, reducido el tamaño de la roca procedemos a pasar la cantidad de materia de ésta muestra al molino de discos para reducir el tamaño aproximadamente para un tamiz de 200 orificios por cm^2 .

Una vez pulverizada la muestra, se le hace pasar por tamices que están cubiertos por una campana de estructura metálica con el objeto de succionar el polvo con un extractor, para llevarlo al exterior; este extractor está lo suficientemente acondicionado para evitar se queden residuos de polvo. Hay una serie de tamices de orificios de diferente diámetro, entre ellos el de 200 orificios, en cada cm^2 , que tiene por objeto separar el polvo más fino útil para la investigación científica. La muestra en polvo obtenida se la pone en una caja de plástico numerada, para mayor seguridad en

las investigaciones de análisis, tantas veces se requiera. La numeración de la caja que contiene la muestra, debe tener relación con la numeración de la roca que se investiga y que identifica al punto geográfico donde existe probabilidades de minerales radiactivos. Estas muestras por su interés científico que tienen deben archivarse con medios de seguridad; hay que anotar también que estas muestras tienen diferente color de acuerdo a la roca y su contenido.

Una vez que se logra obtener la muestra en polvo, procedemos a realizar el ataque químico, con el objeto de eliminar sustancias orgánicas, realizando el siguiente procedimiento:

a) Determinamos la cantidad de materia de 0.5 gr mediante la balanza Metler E-200, cuyo error es de ± 0.02 .

b) Utilizando un tubo de ensayo colocamos los 0.5 gr de la muestra y añadimos ácido nítrico para ponerla a un calentamiento de 100 °C en un horno, que se encuentra cubierto por una campana segura, puesto que, puede afectar las vías respiratorias de la persona que investiga. Las altas temperaturas de 100 °C es con el objeto de oxidar, disolver la muestra y eliminar sustancias orgánicas; el procedimiento dura una hora. Luego, se añade 15 cm³ de agua destilada con el objeto de diluir la muestra, la misma que queda dispuesta para poderla analizar en el fluorímetro, previo un procedimiento. Es necesario indicar que en el procedimiento anotado debe haber una permanente centrifugación. El ácido que se utiliza en la investigación depende de la muestra; por ejemplo, para rocas que tienen estructura muy fuerte se requiere de una mezcla de ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido clorhídrico, utilizando vasos de teflón, puesto que, el vidrio con los ácidos se obstruye

Luego se procede a realizar el análisis de la muestra en

solución, utilizando nitrato de uranilo o acetato de uranilo. Con el nitrato de uranilo se prepara una solución de 100 partes por millon (ppm), y luego se disuelve de acuerdo a las necesidades.

Preparamos a continuación la mezcla fundente compuesta de carbonato de sodio, carbonato de potasio, todos los anhídridos y fluoruro de sodio. Estas sustancias tienen su gran utilidad por el bajo costo y por que disminuyen el punto de fusión. Una vez realizada la mezcla de las sales, se somete a un mezclador rotativo con el objeto de repartirla en forma proporcional los componentes.

Luego procedemos a la elaboración de las pastillas que servirán para la investigación en el fluorímetro; por tanto, el dímetro de estas es aproximadamente de 4 cm, siendo necesario utilizar para su elaboración platillos de platino que sirven como moldes. El procedimiento de la elaboración de las pastillas, es el siguiente:

a) Utilizando 0.1 mg/ml de la muestra, se la pone a disolver en ácido nítrico.

b) Esta mezcla es colocada en el platillo para someterla a un calentamiento de 100 °C, con el objeto de eliminar la materia-orgánica, quedando un remanente de la solución, como resultado del proceso.

c) Determinamos la masa fundente de aproximadamente 2.5 gr mediante la balanza de precisión. Esta masa es colocada en los platillos que contienen el remanente de la muestra.

d) La mezcla fundente con el remanente pasa al quemador; la serie de fundición demora aproximadamente 5 minutos. El procedi - miento se lo realiza por tres veces; es decir, el proceso total -

es de 15 minutos. Por enfriamiento natural se forman las pastillas y su numeración está de acuerdo a la del platillo.

e) Una vez formadas las pastillas se las va colocando en el receptáculo del fluorímetro, que tiene la propiedad de detectar la fluorescencia de las muestras que contienen uranio. Durante el procedimiento es necesario calibrar el fluorímetro en forma permanente.

El procedimiento de investigación con el fluorímetro, se hace en la siguiente forma:

<u>No. de pastillas</u>	<u>Concentración (mililitros)</u>	<u>Micro-amperio</u>
1	0.02	18
2	0.02	16
3	0.06	54
4	0.06	62
5	0.10	86
6	0.10	100

Los valores 18 - 16, 54 - 62 y 86 - 100 microamperios muestra la presencia de uranio en las pastillas. Los valores deberían ser iguales, pero errores de calentamiento hacen que sean diferentes, siendo necesario determinar el valor promedio.

Estos valores son " partes por millón " (ppm); si los analizamos detenidamente nos está indicando que hay una gran presencia de mineral de uranio, puesto que, se puede aceptar como muestra valiosa hasta 12, 10 y 9 ppm.

Finalmente se procede hacer la limpieza de los platillos - con ácido nítrico y Hcl 50%, sometiendo a calentamiento.

=====

6.4.- APLICACIONES PACIFICAS DE LA ENERGIA ATOMICA O NUCLEAR

=====

Uno de los problemas a los que sin duda alguna el hombre ha tenido que enfrentarse es la necesidad, cada vez creciente, de más y mejores fuentes de energía. El desarrollo rápido de la industria tecnológica, así como el uso de energía, principalmente eléctrica, por persona va aumentando. Si tomamos en cuenta el crecimiento de la población mundial así como el cálculo de las reservas de combustibles de manera especial de petróleo, se requiere la necesidad de nuevas fuentes de potencia y energía.

La energía nuclear es una fuente inagotable que se presenta en forma de radiaciones y calor. El aprovechamiento de ésta ha sido posible mediante los reactores nucleares. Los reactores que producen potencia, se hace en base de energía en forma de aire caliente, vapor, agua caliente. Sin embargo, hay que aclarar que el ciclo para producir electricidad es el tradicional, variando únicamente el combustible. Así, por ejemplo, mediante esta energía se mueven turbinas que a su vez ponen en funcionamiento los generadores para producir electricidad.

Actualmente mediante el uso tecnológico de reactores se produce energía eléctrica al más bajo costo, de manera especial en donde los combustibles como el carbón o el petróleo son escasos o el transporte de los mismos es difícil.

El desarrollo de los reactores nucleares en países desarrollados ha ofrecido nuevas y variadas aplicaciones en el uso de la energía nuclear. Las transformaciones de materia en energía ofrece nuevas formas de propulsión; por ejemplo, actualmente barcos de diferente tipo se mueven con energía nuclear, aun submarinos y rompe

hielos, etc. El uso de este tipo de propulsión presenta varias ventajas, como un buque mercante nuclear puede navegar de dos a cinco años sin necesitar nuevo combustible.

En la actualidad la energía nuclear tiene su aplicación en la desalinización del agua, puesto que, el avance de la civilización y tecnología ha obligado a utilizar con mayor intensidad los recursos naturales hídricos.

A pesar de que las tres cuartas partes de nuestro planeta están cubiertas por un enorme volumen de agua, ésta no puede ser usada en la forma en que se encuentra.

En los procesos de desalinización en escala industrial, el más prometedor parece ser el proceso de destilación. Este sistema requiere el uso de grandes cantidades de vapor de baja energía.

En las centrales térmicas modernas, se produce vapor a alta temperatura que después se utiliza para mover los turbogeneradores y producir corriente eléctrica y a su vez desalinización del agua.

Una de las aplicaciones de la energía nuclear está en la agricultura moderna. El uso adecuado de las radiaciones así como de los isótopos radiactivos en pequeñas cantidades a los que se les ha llamado " trazadores ", ha provisto al investigador de la era actual con herramientas poderosas para decifrar problemas graves que la industria agrícola necesita resolver.

Las técnicas modernas de la radiactividad se han aplicado al estudio del terreno, de las plantas, de los microbios, de los animales de granja, etc.

Los isótopos radiactivos como trazadores permite al inves-

El investigador determina, como las plantas absorben las sustancias del suelo, la efectividad de los fertilizantes.

Mediante el uso de pequeñas cantidades de isótopos radiactivos añadidos al terreno se ha determinado inclusive la distancia más conveniente a la que debe ponerse el fertilizante con respecto a las semillas; la efectividad de fungicidas en la eliminación de ciertos hongos dañinos a las legumbres, árboles frutales, etc.

Numerosos estudios se llevan a cabo, por medio de los "trazadores", en nutrición de ganado. Inyectando pequeñas cantidades de isótopos radiactivos en las vacas se ha determinado el tipo y cantidad de minerales que la vaca necesita para un excelente desarrollo, lo que ayudará a obtener mayor rendimiento de carne, la leche, etc y acortar el costo en la alimentación del animal.

Con el uso del iodo - 131, se determina la actividad de la glándula tiroides, mejorando la calidad de la leche y huevos en especial. Este procedimiento servirá en el futuro para seleccionar las novillas que serán usadas como vacas lecheras.

La Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica CEEA y la Dirección de Investigaciones, han realizado observaciones en la ejecución del " proyecto de determinación de la bronquitis verminosa en ganaderías de Cayambe y Pedro Moncayo ", como aporte a la ganadería nacional.

Los isótopos radiactivos y en general el uso de las radiaciones contribuyen a obtener mejores productos en la industria, en forma más rápida y a más bajo costo; siendo una de las aplicaciones principales en la industria el " control de la calidad ". Por ejemplo, en la industria de conservas o refrescos enlatados se están utilizando con éxito equipos que pueden comprobar el nivel -

del líquido o conserva después de envasarlos, eliminando automáticamente los que no reúnen las condiciones exigidas.

Las compañías petroleras cada día utilizan más los " átomos radiactivos " en pequeñas cantidades, es decir, como " trazadores para localizar nuevas fuentes de petróleo " .

=====

6.5.- APLICACIONES DE LA ENERGIA NUCLEAR EN LA MEDICINA

=====

Una de las aplicaciones mayores que se ha encontrado para la energía nuclear con fines pacíficos es su uso en la medicina.

Los isótopos radiactivos, en especial algunos obtenidos artificialmente mediante reacciones nucleares, tienen un valor en el campo de la medicina e investigación en la era actual; se puede afirmar que los logros alcanzados, justifican los millones que se han gastado en los diferentes programas para usos pacíficos de la energía nuclear.

Cada día se encuentran nuevas y mayores aplicaciones a los isótopos radiactivos en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Por ejemplo, administrando dosis de iodo radiactivo a una persona, es posible determinar y localizar ciertos trastornos de la glándula tiroidea, probándose además que el iodo radiactivo es muy efectivo en el tratamiento de ciertos desórdenes de dicha glándula.

En el tratamiento de ciertos tipos de cáncer los isótopos radiactivos son de gran utilidad. El iodo radiactivo, ya mencionado, se utiliza con éxito en la localización de tumores cerebrales; el fósforo radiactivo se usa en el tratamiento de leucemia. Los i

sótopos radiactivos del sodio son muy útiles en el estudio de la circulación de la sangre. El oro radiactivo se utiliza en el tratamiento de ciertos tejidos cancerosos.

Las radiaciones provenientes de un isótopo radiactivo determinado se emplean con éxito cada vez mayor para destruir tejidos enfermos (tumores malignos) en una zona determinada del cuerpo humano. Por ejemplo, el cobalto - 60 y el cesio - 137, se usa como fuentes de radiaciones más efectivas, en muchos casos , más que el uso de los rayos X o el uso del radio; además las máquinas de cobalto - 60 y cesio - 137 son generalmente más baratas y más versátiles que los equipos de rayos X o de radio.

En la medicina nuclear el licenciatario médico, es necesario que se sujete al reglamento de seguridad radiológica.

La energía atómica por ser un patrimonio científico y teórico de la civilización moderna cuyos usos pacíficos en la medicina, agricultura, industria, investigaciones científicas y muchos otros campos, envuelven un riesgo tanto somático como genético.

La exposición a radiaciones ionizantes es un serio problema de salud en el Ecuador, razón por lo que es necesario reglamentar y controlar las actividades con estas radiaciones.

Los efectos de la radiación en el cuerpo humano pueden ser beneficiosas o perjudiciales, dependiendo de que las máquinas generadoras y emisores de radiación, así como los isótopos radiactivos, sean utilizados o no en forma apropiada. La naturaleza y el carácter acumulativo de las radiaciones ionizantes pueden producir efectos nocivos inquietantes, como el cáncer, y también mutaciones genéticas que afectarían inclusive a generaciones futuras, de nuestro país y del mundo .

En consecuencia, al realizar tratamiento médico con radioisótopos, el licenciatario debe ajustarse a los Arts 20 y 11 respectivamente del reglamento de seguridad radiológica, que a continuación se transcribe:

Art. 20.- Radioisótopos en medicina.- Los licenciatarios médicos, podrán usar radioisótopos en diagnóstico y en terapia, siempre que cumplan lo siguiente:

a) Disponer de facilidades apropiadas de hospitalización, que previamente hayan sido inspeccionadas por la CEEA;

b) Que el cuarto de hospitalización del paciente sea considerado como área restringida; y,

c) Que el personal que cuida y controla al paciente esté con instrucción de las precauciones que deben tomarse, y esté provisto de dosímetros personales; y,

d) Que se almacene para su decaimiento, se procese o se desechen los residuos radiactivos provenientes de los tratamientos, de acuerdo con lo estipulado en el Art. 11.

Art. 11.- Tratamiento y Evacuación.- El licenciatario puede realizar todas las operaciones existentes para el tratamiento y evacuación de desperdicios radiactivos.

El tratamiento comprende el almacenamiento para fines de decaimiento del material radiactivo, su entierro e incineración si éstos son desechos sólidos; evaporación, intercambio iónico y tratamiento químico, si son líquidos.

En relación a los equipos y locales es necesario tomar en cuenta los artículos: Art. 40, Art. 41, Art. 42 y Art. 43.

Art. 40.- Características del Equipo y los Locales.- Las fuentes de alta actividad usadas para el tratamiento con radiación

en pacientes con cáncer funcionarán sólo en locales que tengan el blindaje adecuado y estén aprobados por la CEEA. Las características generales que deben tener el equipo y los locales destinados a estos usos serán los señalados a continuación.

Art. 41.- Equipo.- Toda fuente sellada de rayos gamma usada para terapia deberá estar encerrada en una cubierta protectora de tal manera que la unidad funcione de la siguiente forma:

a) Con el mecanismo de control del haz en la posición " apagada ", la exposición proveniente de fuga de radiación medida a una distancia de 1 metro de la fuente no excederá de 2 mR/h. En cualquier posición accesible distante 5 cm de la superficie de la cubierta, la exposición proveniente de fuga de radiación no deberá exceder 20 mR/h, a menos que la exposición del haz útil de radiación fuera menor que 100 R/h a 1 m desde la fuente, en cuyo caso la exposición proveniente de fuga de radiación no deberá exceder 40 mR/h; y,

b) Con el mecanismo de control del haz en posición " prendida ", la razón de exposición proveniente de fuga de radiación medida a una distancia de 1 metro desde la fuente, no deberá exceder a 1 R/h o 0.1 % de la exposición del haz útil a 1 metro de la fuente. Cuando la exposición del haz sea menor que 100 R/h a 1 m desde la fuente, la exposición proveniente de radiación de fuga no deberá exceder 1 % de exposición del haz útil,

c) En el panel de control y en la cubierta protectora, habrá un artefacto de precaución que indique claramente si el haz está expuesto o no; y ,

d) El panel de control estará provisto con un cronómetro - que automáticamente termine la exposición al transcurrir el tiempo fijado.

Art. 42.- Locales.- Los locales en donde se instalarán las fuentes de Radioterapia contarán con las barreras primarias y se -

cundarias necesarias para un blindaje seguro. Los locales además deberán tener los siguientes requisitos:

a) Cuando cualquier puerta de la sala de tratamiento fuera abierta, el mecanismo de control del haz deberá apagar automáticamente la unidad;

b) En la sala de tratamiento y en las puertas de ésta habrá un artefacto de precaución que indique claramente si el haz está expuesto o no;

c) Se proveerán ventanas, sistemas de espejos o equipos de televisión apropiados para observar continuamente a los pacientes durante a irradiación; y,

d) Se deberá obligatoriamente contar con planes de operación y emergencia los cuales estarán colocados en las partes más visibles del local.

Art. 43.- Calibración, Pruebas de Fuga y Contaminación .- La CEEA prestará periódicamente el servicio de calibración de estas fuentes, lo que permitirá un conocimiento exacto de su rendimiento. Las fuentes selladas serán sometidas, en cuanto sea posible, a los procedimientos establecidos en el Art. 37.

En la aplicación de la energía nuclear en la medicina, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

a) PROTECCION CONTRA LAS RADIACIONES

A pesar de la existencia de radiaciones nucleares naturales el hombre en los últimos años añadió nuevas fuentes de radiación - al medio que nos rodea.

El Profesor de Ciencias, en especial el de Física, tratando de satisfacer la curiosidad del estudiante y la suya propia, hace uso cada vez mayor de las radiaciones con fines educativos y de

investigación.

El propósito de este estudio es el de presentar las reglas de protección que nos permita utilizar radiaciones en forma útil sin sufrir las consecuencias que pueden derivarse del uso incorrecto e inadecuado de las mismas.

El uso de las radiaciones siempre presentan algún riesgo, pero estos riesgos pueden disminuirse y aun eliminarse utilizando una serie de precauciones. En la protección de las radiaciones se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1.- DOSIS MAXIMA PERMISIBLE DE RADIACION

Los efectos dañinos del uso excesivo de las radiaciones fueron reconocidos prácticamente desde el descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895. Sin embargo, puede recuperarse daños del organismo con pequeñas dosis de radiación.

La Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica es el organismo que se encarga de la protección radiológica en nuestro país.

Al establecer estos valores máximos, se toman en cuenta varios factores:

a) El tipo de radiación, puesto que, los rayos X y gamma son muy penetrantes, mientras que, las partículas alfa y beta no lo son.

b) La cantidad de radiación a que ha sido expuesto el individuo o tejidos del mismo.

c) La naturaleza química del material radiactivo utilizado.

d) Si el individuo ha sido irradiado externamente o si la irradiación o exposición ha tenido lugar internamente.

Existen límites establecidos llamados de " exposición a - las radiaciones por causas profesionales ", es decir, para individuos que trabajan con radiaciones, pero estos se toman en adición a los límites generales establecidos para la radiación a la que todos estamos sometidos (rayos cósmicos, productos de desintegración natural, etc.) y que se llama " radiación natural ambiente o fondo ". En aquellos casos en que se prescriben las radiaciones para tratamiento de enfermedades, el médico es responsable del uso de éstas.

Los valores de las dosis máximas permisibles se expresan en rems, es decir, como dosis equivalente.

Un " Rem ", es la unidad de dosis equivalente. Un rem corresponde a:

a) Una dosis absorbida de un (1) rad de radiación X, o gamma o beta.

b) Una dosis de un décimo (0.1) de rad de neutrones o protones de alta energía.

c) Una dosis de cinco centésimas (0.05) de rad de partículas más pesadas que los protones.

Un " Roentgen ", es la unidad de exposición igual al valor 2.58×10^{-4} Coulombio por Kilogramo (C/Kg) de aire.

" Cualquier persona que no trabaje con radiaciones no debe recibir irradiación por encima de 500 milirem (0.5 rem) por año , en adición a las radiaciones naturales ".

Este límite no se aplica, sin embargo, a las personas que

trabajan con radiaciones. En estos casos particulares el límite es, un promedio, 5 rems por año.

En el caso de personas menores de 18 años, se recomienda específicamente:

a) No deben emplear ni ser entrenados en departamentos de rayos X, laboratorios de rayos isótopos, etc. si se exponen a más de 500 milirems por año.

b) No deben recibir o ser expuestos a valores mayores de 0.1 rem por año debido a actividades de tipo educativo. Los experimentos que los "estudiantes" realicen deben planearse en forma tal que al realizarlos no reciban más de 0.01 rem en cada experimento.

En relación a la protección contra la radiación, se debe tomar en cuenta los "Límites de Dosis", determinados por los siguientes artículos:

Art. 1.- Dosis máxima permitida para personas ocupacionalmente expuestas.- No se podrá usar fuentes de radiación que den lugar a que una persona ocupacionalmente expuesta, reciba una dosis de radiación en exceso de los límites especificados a continuación:

a) Para irradiación externa:

ORGANO	Dosis Máxima Permitida
Cuerpo entero, gónadas, médula ósea.	5 rem/año 3 rem/trimestre
Hueso, piel de todo el cuerpo	30 rem/año



po, tiroides.	15 rem/trimestre
Manos, antebrazos, pies, tobillos.	75 rem/año 40 rem/trimestre
Todos los otros órganos	15 rem/año 8 rem/trimestre

Exceptúase de esta tabla al personal femenino en edad reproductiva, quien no puede recibir más de 1.25 rem/trimestre y la mujer en estado de gravidez, quien no podrá recibir más de 1 rem durante todo el período de embarazo.

2.- FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA EXPOSICION A LAS RADIA- CIONES

Los factores que intervienen en la exposición a las radiaciones, hay que considerar los siguientes:

- a) Factores que afectan la exposición externa a las radiaciones.
- b) Factores que afectan la exposición interna a las radiaciones.

Para la exposición externa existen cuatro factores determinantes en el control de la exposición externa a las radiaciones:

- 1) Tipo y actividad de la fuente de radiación.
- 2) Tiempo de exposición.
- 3) Distancia del observador o experimentador a la fuente de radiación.

4) Blindaje.

Veamos como controlando estos factores se puede obtener un máximo de seguridad.

1.- Tipo y cantidad de fuente de radiación

Cada isótopo radiactivo tiene su forma o modo característico de desintegración. Para una fuente de radiación determinada, la velocidad de exposición a la radiación a una distancia determinada es proporcional a la actividad y tipo de la fuente de radiación. Al utilizar una muestra radiactiva debe contener la menor actividad posible del material, que permita obtener los resultados deseados, para todos los casos ya sea emisor alfa, beta, gamma, neutrones y rayos X. En el caso de rayos X y sus equipos, debe tenerse en cuenta que mientras mayor sea el voltaje a que se opera el equipo, los rayos X producidos serán más penetrantes y por lo tanto mayor la dosis de radiación en la zona aplicada, afectándose inclusive los tejidos más profundos. En consecuencia, el detector utilizado para realizar las mediciones es importante, y entre más sensible sea da mayor posibilidad de utilizar fuentes radiactivas más débiles, lo que permite al observador estar expuesto a dosis menores de radiación.

2.- Tiempo de exposición

El tiempo durante el cual una persona está recibiendo radiación es un factor importante. La dosis absorbida es directamente proporcional al tiempo de duración.

3.- Distancia del observador a la fuente de radiación

La intensidad o velocidad de exposición a la radiación de

una fuente es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente al observador.

Esta relación entre intensidad de la radiación y distancia puede expresarse matemáticamente:

$$I_1 \cdot d_1^2 = I_2 \cdot d_2^2 = \dots I_n \cdot d_n^2$$

A pesar de que esta relación o " ley del inverso del cuadrado de la distancia " se calcula para fuentes puntiformes, es posible utilizarla con bastante precisión para otras fuentes. Por ejemplo, si la distancia a una fuente de radiación se hace 10 veces mayor, la intensidad de la radiación a que está sometido un observador se reduce a una centésima parte del valor anterior.

4.- Blindaje

En fuentes de gran intensidad de radiación, se requiere el uso del blindaje como medida de protección, el mismo que está basado en la interacción de la radiación con la materia.

Cualquier sustancia puede servir para disminuir la intensidad de las radiaciones siempre que se utilice el espesor adecuado.

Las partículas alfa no son consideradas en general como un peligro externo de las radiaciones, debido a que son fácilmente detenidas por una hoja de papel o después de recorrer unos cuantos centímetros en el aire. La penetración de estas partículas en los tejidos es de una fracción de milímetro y son detenidas por la estructura de la piel. En cambio, las partículas beta son más penetrantes que las alfa, pero pueden ser absorbidas totalmente utili

zando un material adecuado como blindaje.

En el caso de los rayos X o gamma el problema es diferente. La disminución o atenuación de la energía de estas radiaciones por interacción con un material como blindaje es de tipo exponencial.

Es decir:

$$I = I_0 \cdot e^{-ux}$$

donde " u " es el coeficiente de atenuación lineal (depende del tipo y densidad del material así como de la energía de la radiación); y , " x " es el espesor del material.

El poder absorbente del material para rayos X o gamma aumenta con el número atómico del material que se utiliza como blindaje; luego, " el plomo es considerado como uno de los mejores materiales para este tipo de radiaciones " .

La protección contra neutrones, para atenuar o disminuir la energía es mediante la utilización del agua y el hormigón armado.

3.- FACTORES QUE AFECTAN LA EXPOSICION O IRRADIACION INTERNA A LAS RADIACIONES

Si por algún medio, cualquier material radiactivo penetra en el cuerpo humano, los daños que puede provocar son notables; y las formas de penetración más frecuentes son:

a) Por inhalación.

- b) Por ingestión.
- c) Por inyección.
- d) Por absorción a través de la piel.

1.- Irradiación interna provocada por inhalación de sustancias radiactivas.-

Una sustancia o elementos radiactivos pueden encontrarse en suspensión en el aire y por lo tanto ser inhalado por una persona. Esta es generalmente la forma más corriente de entrada al cuerpo humano; las consecuencias provocadas en el organismo por el radioisótopo inhalado dependen de la cantidad inhalada.

En estos casos deben usarse " muestras selladas " o usarlas disueltas o " húmedas ". A veces las sustancias radiactivas son volátiles de allí el uso de campanas extractoras o vitrinas de tiro en los laboratorios de radioquímica, así como el uso de " mascarillas o caretas " protectoras en la industria o zonas donde se sospeche o se sabe que pueden existir materiales radiactivos en suspensión. " En las demostraciones educativas debe evitarse el uso de materiales radiactivos volátiles u otros que pueden ser inhalados.

2.- Irradiación interna provocada por ingestión de sustancias radiactivas.-

La ingestión de sustancias radiactivas es también interna en el cuerpo humano; en consecuencia, es necesario evitar de fumar, comer, beber o hacer uso de cosméticos en los laboratorios de radioisótopos. En la manipulación de sustancias radiactivas deben utilizarse guantes plásticos o de goma.

3.- Irradiación interna provocada por inyección de radiaciones.-

La inyección de sustancias radiactivas en el cuerpo humano puede tener lugar no sólo por prescripción médica. Accidentalmente puede ocurrir, por ejemplo, por cortes o rasguños al utilizar agujas, bisturí u otros instrumentos contaminados con material radiactivo.

4.- Irradiación interna provocada por absorción de sustancias radiactivas a través de la piel.

Muchos isótopos radiactivos pueden penetrar en el cuerpo humano a través de la piel; cuando estos se encuentran disueltos o forman parte de ciertas sustancias como el agua. Por ejemplo el " tritio ", que puede encontrarse sustituyendo al hidrógeno estable en la molécula de agua; siendo necesario trabajar utilizando guantes y batas de laboratorio.

b) PROCEDIMIENTO EMPLEADOS EN LA INSPECCION O SUPERVISION DE LAS
RADIACIONES

A fin de controlar la exposición a las radiaciones por el personal que trabaja con éstas, es necesario llevar a cabo:

- 1) Una supervisión estricta de las áreas, salones, laboratorios, etc. en que se trabaja con las radiaciones.
- 2) Un monitoreaje estricto del personal expuesto a las radiaciones.

Se recomienda, trabajar con muestras radiactivas que hayan

sido " desecadas " y cubiertas o con muestras selladas. También es necesario realizar inspecciones, utilizando el equipo adecuado para las mismas antes y después de un experimento. El uso de batas de laboratorio y guantes en los laboratorios de radioquímica es indispensable.

Para mantener una verdadera vigilancia de la cantidad de radiaciones absorbidas por el personal, el uso de dosímetros es indispensable.

El " dosímetro " es un instrumento que permite evaluar una dosis absorbida, medir una exposición o cualquier otra magnitud radiológica.

Los dosímetros más utilizados son los llamados dosímetros de película. Este dosímetro está constituido por una pequeña placa de película cubierta con un material muy delgado para evitar la acción de la luz sobre éstas; la película se coloca dentro de una armazón que posee una pequeña ventana. Además, parte de la película queda cubierta por filtros de diferentes materiales. El material que se utiliza en los filtros depende de la naturaleza de los elementos radiactivos a la que se expone la persona que trabaja con los mismos. Generalmente se utilizan cuatro tipos de filtro : cadmio, aluminio, cobre y plomo.

Por el oscurecimiento que se observa en la película después de revelarse, es posible determinar la exposición a los diferentes tipos de radiación; ya que, el grado de oscurecimiento es una medida de la exposición recibida.

Otros tipos de dosímetros se utilizan por que emplean cámaras simples de ionización o una combinación de cámaras de ionización y electroscopio.

Esta clase de dosímetros, son los llamados " dosímetros de bolsillo ". Con estos dosímetros puede determinarse la radiación absorbida en cortos intervalos de tiempo.

Los dosímetros de cámara de ionización tiene un sistema electrónico compuesto de una fibra que oscila en base a la radiación que recibe; la escala va de 1 a 200 miliroentgen y un ocular. Además, es necesario para inspeccionar laboratorios utilizar filtros de aluminio de 0.9 mm, 1.7 mm, 2.10 mm. El cronómetro que se lo utiliza, es con el objeto de medir la radiación por intervalos cortos de tiempo.

c) CONTROL DE CALIDAD PARA CAMARAS DE CENTELLED

Las oficinas de salud radiológica y la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, tienen un programa nacional para limitar la exposición del ser humano a las radiaciones ionizantes y no ionizantes. En consecuencia, la CEEA para tales efectos determina:

- 1.- Establece criterios y recomienda normas para determinar los límites seguros de la exposición a las radiaciones.
- 2.- Desarrolla métodos y técnicas a fin de controlar tal exposición.
- 3.- Planifica y realiza investigaciones para averiguar los efectos que tiene en la salud tal exposición.
- 4.- Proporciona asistencia técnica a los organismos encargados de los programas de control de la salud radiológica, y
- 5.- Pone en práctica un programa de control de los radio -

isótopos o radiaciones de los productos electrónicos ,
para defender la salud y la seguridad del público.

El continuo perfeccionamiento de los dispositivos de forma
ción de imágenes de la Medicina Nuclear ha tenido como consecuen
cia la obtención de imágenes de una calidad excelente para diagnós
ticar, que han demostrado ser esenciales para evaluar y manejar mu
chos problemas clínicos. Todos los departamentos de Medicina Nu
clear tratan de conseguir un diagnóstico de gran precisión al in
terpretar los estudios de formación de imágenes.

Por este motivo, es conveniente que los especialistas en
Medicina Nuclear organicen y mantengan un programa de " Control de
Calidad ".

CAPITULO

7

CONCLUSIONES

=====

7.0.- CONTENIDO CIENTIFICO

=====

De los distintos temas tratados acerca de la Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein, Estructura Atómica, el Núcleo Atómico, Radiactividad Natural , Radiactividad Artificial, Elementos Radiactivos en el Ecuador y sus Aplicaciones Pacíficas, se desprende que es de fundamental importancia su enseñanza en los Colegios de Educación Media del país , en las especialidades Físico - Matemáticas y Químico - Biológicas, por ser indispensables, tanto para lograr la unidad cultural, tecnológica, científica, como para la promoción a un nivel inmediato superior en profesiones acordes a necesidades que tiene nuestra sociedad.

La Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein, nos demuestra que " la Mecánica Newtoniana no predice las respuestas correctas cuando se aplica a partículas rápidas del mundo microscópico ". Albert Einstein mediante su teoría hace comprender mejor la naturaleza del electromagnetismo y generaliza la mecánica Newtoniana, obteniéndose una imagen completamente nueva de la naturaleza del espacio y del tiempo.

Los temas tratados tienen incidencia directa en la educación y adelanto técnico - científico por las recomendaciones pedagógicas, al diferenciar leyes, principios y fórmulas fundamentales entre la Física Clásica y la Física Moderna creando interés en su estudio y aplicación de ésta ciencia para el adelanto socio - cultural de nuestro país.

=====

7.1.- EVALUACION DEL APRENDIZAJE

=====

Mediante tecnología de educación, en términos de principios, estrategias, métodos, procesos, medios, etc. y recomendaciones pedagógicas se realizó la enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein, a los alumnos del Quinto Curso " B " del Colegio Nacional Bolívar de la ciudad de Tulcán, especialización Físico - Matemáticas y por el tiempo de treinta días.

La evaluación del conocimiento adquirido se la realizó mediante dos pruebas escritas como tests aplicables al término de quince días, para cerciorarse acerca de lo que el alumno aprendió y, de este modo, saber si es necesario repetir, rectificar o proseguir la enseñanza. Las pruebas objetivas tenían contenido global de la materia tratada; siendo el tipo de prueba de interpretación de segunda versión, es decir, a base de afirmaciones que deben ser señaladas cuando sean correctas; además, resolución de problemas y deducción de fórmulas.

Para la verificación del aprendizaje realizamos algunos aspectos estadísticos, siendo los fundamentales: índices de facilidad, distribución por frecuencias y análisis de polígono de frecuencias.

En relación a la primera prueba el índice de facilidad para 37 alumnos, dió los siguientes resultados:

1. Calificación " Sobresaliente " el 5.4 % , correspondiente a 2 alumnos.
2. Calificación " Muy Buena " el 51.3 % , correspondiente a 19 alumnos.
3. Calificación " Buena " el 29.7 % , correspondiente a 11 alumnos.

4. Calificación " Regular " el 5.1 % , correspondiente a 3 alumnos.

5. Calificación " Insuficiente " el 5.4 % , correspondiente a 2 alumnos.

En relación a los datos obtenidos realizamos el polígono de frecuencias, dando como resultado una curva " desviada hacia la derecha ", mostrando que la mayor frecuencia corresponde a 17 y entre 16 y 20, esto es, que la mayoría de los alumnos obtuvo no tas altas.

En la segunda prueba escrita el índice de facilidad para los 37 alumnos del Quinto Curso "B" del Colegio Nacional Bolívar de la ciudad de Tulcán, dió los siguientes resultados:

1. Calificación " Sobresaliente " el 35.1 % , correspondiente a 13 alumnos.

2. Calificación " Muy Buena " el 48.6 % , correspondiente a 18 alumnos.

3. Calificación " Buena " el 16.2 % , correspondiente a 6 alumnos.

4. Calificación " Regular e Insuficiente " el 0 %.

Con los datos obtenidos realizamos el polígono de frecuencias, dando como resultado una curva " desviada hacia la derecha, mostrando que la mayor frecuencia corresponde a 18 y entre 17 y 20, esto es, que más del 50 % obtuvo notas altas.

La interpretación pedagógica de esta curva es de que los

temas de la Teoría Especial de la Relatividad, fueron asimilados - por los alumnos por el interés, motivación y técnicas aplicadas en su estudio.

=====

7.2.- SUGERENCIA DE PLAN Y PROGRAMA DE FISICA MODERNA PARA BACHILLERATO

=====

EN HUMANIDADES

=====

I. INTRODUCCION

1. El adelanto técnico - científico depende de la educación que se imparte en nuestro país, por lo tanto, la enseñanza de la Física Clásica y Moderna tiene mucha importancia para el desarrollo cultural.
2. En la elaboración del programa se han tomado en cuenta los avances científicos y tecnológicos de Física Moderna en base de la Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein y, recomendaciones pedagógicas para su enseñanza y mejor formación técnico - profesional de los alumnos, tomando en cuenta su interés y las necesidades inmediatas de nuestro país.

II. OBJETIVOS

de ciclo:

1. Conocer los hechos y fenómenos específicos, la terminología científica, las convenciones, tendencias y secuencias de los fenómenos naturales.
2. Comprender y diferenciar los conceptos, principios y



teorías científicas de la Física Clásica y la Física Moderna en base de la Teoría Especial de la Relatividad.

3. Utilizar las leyes en la interpretación, representación matemática y simbólica de los hechos de la Ciencia Física Clásica y Moderna.
4. Adquisición de conceptos básicos de Física Moderna para comprender el problema de nuestro país, en relación a la energía; de manera especial, el relacionado al aprovechamiento de fuentes energéticas, como la de elementos radiactivos.
5. Adquisición de destrezas cognoscitivas relativas a la solución de problemas en base de una enseñanza científica y tecnológica, que permite al estudiante ser participante en el desarrollo de nuestro país, de manera especial con el aprovechamiento de la energía nuclear con fines pacíficos.
6. Saber reconocer problemas, formular hipótesis y seleccionar los procedimientos para resolverlos.
7. Desarrollar las destrezas y habilidades para el manejo de equipo, instrumentos para resolverlos, mediante su aplicación con materiales de laboratorio.
8. Crear actitudes favorables hacia la ciencia e investigación para interesar a los alumnos en su estudio y aplicación.

CUARTO CURSO - ESPECIALIZACION: FISICO - MATEMATICAS.

(6 horas semanales)

III. CONTENIDOS

1. NOCION FISICA DEL UNIVERSO
2. FINALIDAD Y METODO DE LA FISICA
3. MAGNITUDES Y MEDIDAS
4. FUNCIONES Y GRAFICAS
5. INTRODUCCION AL ALGEBRA DE VECTORES
6. MOVIMIENTO RECTILINEO
7. ANTECEDENTES EXPERIMENTALES DE LA TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD
 - 7.1. Transformaciones galileanas.
 - 7.2. Relatividad Newtoniana.
 - 7.3. Generalidades de la Teoría Especial de la Relatividad de Albert Einstein.
 - 7.4. Principio Clásico de la Relatividad Especial.
 - 7.5. Los postulados de la Teoría Especial de la Relatividad.
 - 7.6. Einstein y el origen de la Teoría Especial de la Relatividad.
8. INTERPRETACION FISICA DE LOS EFECTOS INMEDIATOS DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL
 - 8.1. Sistemas de referencia.
 - 8.2. Sistemas fijos.
 - 8.3. Sistemas móviles.

9. MOVIMIENTO EN UN PLANO

10. DINAMICA

11. FUERZAS FUNDAMENTALES DE LA NATURALEZA

12. LA ENERGIA Y SU CONSERVACION

13. IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO

14. ESTATICA

15. MECANICA DE FLUIDOS

16. HIDRODINAMICA

QUINTO CURSO - ESPECIALIZACION: FISICO - MATEMATICAS.

(6 horas semanales)

III. CONTENIDOS

1. DINAMICA DE LA ROTACION

2. ELASTICIDAD

3. MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE

4. ONDAS ELASTICAS EN MEDIOS MATERIALES

5. EL SONIDO

6. OPTICA

7. DE LA CINEMATICA CLASICA A LA CINEMATICA RELATIVISTA

- 7.1. Dilatación del tiempo.
- 7.2. Contracción de la longitud.
- 7.3. Transformación de Lorentz - Fitzgerald.
- 7.4. Ecuaciones relativistas de transformación de velocidades. Suma de velocidades.
- 7.5. Ecuaciones relativistas de transformación de la aceleración.

8. DE LA DINAMICA CLASICA A LA DINAMICA RELATIVISTA

- 8.1. Masa relativista.
- 8.2. Momento lineal de acuerdo a la Teoría Especial de la Relatividad.
- 8.3. Fuerza según la Teoría Especial de la Relatividad.
- 8.4. Energía cinética relativista.
- 8.5. Energía de la masa en reposo.
- 8.6. Energía potencial nuclear.
- 8.7. Energía total y algunas consecuencias importantes.
- 8.8. Energía que se desprende de una reacción nuclear.
- 8.9. Equivalencia entre masa y energía.

9. CALOR

10. TERMODINAMICA

SEXTO CURSO - ESPECIALIZACION: FISICO - MATEMATICAS
(7 horas semanales)

III. CONTENIDOS

1. ELECTROSTATICA

2. CAMPO ELECTRICO
3. DIFERENCIA DE POTENCIAL
4. CAPACITANCIA O CAPACIDAD
5. ELECTRODINAMICA
6. CAMPO MAGNETICO
7. FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA
8. CORRIENTE ALTERNA
9. ELECTRONICA
- 10 ESTRUCTURA ATOMICA
 - 10.1. Electrones electrolíticos y electrones no electrolíticos.
 - 10.2. Repaso de la equivalencia entre masa y energía.
 - 10.3. Unidad atómica de masa (uam).
 - 10.4. Energía de reposo correspondiente a la unidad atómica de masa.
 - 10.5. El electrón Volt (eV).
 - 10.6. Equivalencia de la energía y la masa en reposo del electrón, neutrón y protón.
- 11 MODELOS ATOMICOS
 - 11.1. Modelo atómico de Thomson.
 - 11.2. Modelo atómico de Rutherford.
 - 11.3. Modelo planetario.

- 11.4. El modelo de Bohr - Postulados.
- 11.5. El modelo de Bohr - Estados de energía.

12. MASA RELATIVISTA

- 12.1. Masa relativista del electrón.
- 12.2. Experiencia de Kauffmann, para demostrar que las masas de los electrones varían relativísticamente con la velocidad.

13. NUCLEO ATOMICO

- 13.1. El átomo nuclear.
- 13.2. Las fuerzas nucleares.
- 13.3. Energía de amarre nuclear.
- 13.4. Energía que se requiere para separar los constituyentes del núcleo.
- 13.5. Energía liberada por reacción nuclear del uranio.
- 13.6. Partículas alfa, beta y radiaciones gamma.
- 13.7. Descubrimiento del neutrón.

14. PROPIEDADES DEL NUCLEO

- 14.1. Déficit de masa.
- 14.2. Densidad nuclear.
- 14.3. Déficit de masa y conversión entre masa y la energía, según la Teoría Especial de la Relatividad.

15. RADIATIVIDAD

- 15.1. Radiactividad natural.
- 15.2. Familias radiactivas.

- 15.3. Constante de desintegración.
- 15.4. Vida media y media vida.
- 15.5. Ley de desintegración radiactiva.
- 15.6. Decaimiento alfa.
- 15.7. Decaimiento del positrón.
- 15.8. Decaimiento del electrón.
- 15.9. Decaimiento gamma.
- 15.10 Radiactividad artificial.
- 15.11 Reacción nuclear.
- 15.12 Desintegración artificial.
- 15.13 Fisión y fusión nuclear.
- 15.14 Riesgos radiológicos para la salud.

SEXTO CURSO - ESPECIALIZACION: QUIMICO - BIOLOGICAS
(3 horas semanales)

III. CONTENIDOS

1. ELECTRICIDAD
2. CAMPO ELECTRICO
3. CORRIENTE ELECTRICA
4. INDUCCION MAGNETICA
5. PROPIEDADES DEL NUCLEO
 - 5.1. Déficit de masa
 - 5.2. Densidad nuclear
 - 5.3. Déficit de masa y conversión entre masa y energía,
según la Teoría Especial de la Relatividad.
 - 5.4. El electrón Volt (eV).

6. RADIATIVIDAD

- 6.1. Radiactividad natural.
- 6.2. Familias radiactivas.
- 6.3. Constante de desintegración.
- 6.4. Vida media y media vida.
- 6.5. Ley de desintegración radiactiva.
- 6.6. Deceimiento alfa.
- 6.7. Deceimiento del positrón.
- 6.8. Deceimiento del electrón.
- 6.9. Deceimiento gamma.
- 6.10 Radiactividad artificial.
- 6.11 Reacción nuclear.
- 6.12 Desintegración artificial.
- 6.13 Fisión nuclear.
- 6.14 Fusión nuclear.

7. ELEMENTOS RADIATIVOS EN EL ECUADOR

- 7.1. Probabilidad de existencia de minerales radiactivos.
- 7.2. Exploración del uranio en el Ecuador.
- 7.3. El Fluorímetro.
- 7.4. Anomalías de exploración radiométrica en el Ecuador

8. APLICACIONES PACIFICAS DE LA ENERGIA ATOMICA NUCLEAR

- 8.1. Aplicaciones de la energía nuclear en la medicina.
- 8.2. Tratamiento médico con radionisótopos.
- 8.3. Inspecciones y control de niveles de exposición a radiaciones ionizantes.
- 8.4. Protección contra las radiaciones.
- 8.5. Dosis máxima permisible de radiación.

- 8.6. Unidad de Dosis " Rem ".
 - 8.7. Unidad de exposición " Roentgen ".
 - 8.8. Factores que intervienen en la exposición a las radiaciones.
9. FACTORES QUE AFECTAN LA EXPOSICION O IRRADIACION INTERNA A LAS RADIACIONES
- 9.1. Irradiación interna provocada por inhalación, ingestión, inyección y absorción de sustancias radiactivas.
 - 9.2. Procedimientos empleados en la inspección de las radiaciones.
 - 9.3. Irradiación de dosímetros termoluminiscentes con fines de calibración.
 - 9.4. Control de calidad para cámaras de centelleo.

Del análisis de datos estadísticos de las pruebas escritas de las clases dictadas a los alumnos del Quinto Curso " B " del Colegio Nacional Bolívar de la ciudad de Tulcán, de las sugerencias que se da en el Plan y Programa para el Bachillerato en humanidades, especialización Físico - Matemáticas y Químico - Biológicas, en base de temas de interés científico y tecnológico tratados en la Tesis mediante recomendaciones pedagógicas, se demuestra y se comprueba la primera hipótesis: " Se puede proponer un Programa de Enseñanza de la Física a Nivel Medio, empleando el enfoque de la Física Moderna.

=====

7.3.- COLEGIOS TECNICOS PROFESIONALES DEL ECUADOR

=====

De acuerdo a la investigación realizada en el Departamento

de Estadística del Ministerio de Educación y Cultura del país , acerca de los Colegios Técnicos Profesionales existentes en las provincias de Pichincha, Guayas y Carchi , se deduce:

1. En la provincia de Pichincha, de los 72 Colegios Técnicos Profesionales existentes, corresponden: el 11.11 % a Colegios Agropecuarios, el 68.05 % a Colegios de Contabilidad y Secretariado, el 2.77 % a Colegios de Construcciones y diseños, el 6.94 % a Colegios de Electricidad, el 4.16 % a Colegios de Mecánica automotriz, el 4.16 % a Colegios de Mecánica industrial, el 1.38 % a Colegios de Motores de aviación y el 1.38 % a Colegios de Pintura.

2. En la provincia del Guayas de los 122 Colegios Técnico-Profesionales existentes, corresponden: el 5.73 % a Colegios Agropecuarios, el 1.63 % a Colegios en Administración, el 82.78 % a Colegios en Contabilidad y Secretariado, el 4.09 % a Colegios en Electricidad, el 0.81 % a Colegios en Industria del Vestido, el 1.63 % a Colegios en Mecánica automotriz, el 0.81 % a Colegios en Mecánica General, el 1.63 % a Colegios en Pintura y el 0.81 % a Colegios en Tecnología Pesquera y Petroquímica.

3. En la provincia del Carchi de los 12 Colegios Técnicos-Profesionales existentes, corresponden: el 16.66 % a Colegios Agropecuarios, el 75 % a Colegios de Contabilidad y Secretariado y el 8.33 % a Colegios de Mecánica automotriz.

De la observación y análisis que hemos realizado acerca de los Colegios Técnico Profesionales del país, se deduce:

1. Que más del 70 % corresponde a Colegios Técnicos Profesionales con especialización Contabilidad y Secretariado, según datos obtenidos en el Departamento de Estadística del Ministerio de Educación.

2. Los Planes y Programas de los Colegios Técnicos Profesionales de especialización Contabilidad y Secretariado, no contienen los temas relacionados a Física Clásica y Física Moderna.

En consecuencia, es necesario que los programas de Educación Media sean revisados y actualizados en forma impostergable para la implantación de una " Reforma Educativa ", tomando en cuenta que vivimos en un mundo cuyo progreso obliga a renovar contenidos programáticos en los niveles de educación media, para estar acorde a los adelantos científicos y tecnológicos.

Es necesario realizar un proyecto de Educación en Energía, con sentido nacional, destinado tanto a sensibilizar como a concientizar a nuestros maestros y alumnos sobre el problema energético para el aprovechamiento y defensa de nuestros recursos naturales, tales como, la energía de hidrocarburos, la energía hidráulica, la energía geotérmica, la energía producida por el aire, la energía bio - masa, la energía solar, la energía nuclear y la energía atómica.

El Plan y Programa de Educación en Energía, debe estar realizado para la enseñanza en el Tercer Curso de Ciclo Básico de la Educación Media. El Plan debe estar orientado : 1) Actualización y Sensibilización; 2) Fomento y Divulgación y 3) Acciones Curriculares.

Con todo lo expuesto, ratificamos la segunda hipótesis que dice: " La ausencia de un mayor número de Técnicos y Científicos - en el Ecuador, se debe al desconocimiento de Física Moderna en los Planteles de Educación Media."

En la elaboración de la Tesis " Introducción a la Física -



Moderna y su enseñanza en la Educación Media ", hemos tomado en cuenta los avances de la ciencia y la tecnología, así como recomendaciones pedagógicas en la realización de la misma, con fundamentos básicos de matemáticas factibles de enseñarlos en los Colegios de nuestro país. Los temas acerca de las Propiedades del núcleo, Déficit de masa, Energía de amarre nuclear, Energía que se requiere para separar los constituyentes del núcleo, etc. confirman la Tercera hipótesis, que dice: " La variación de la masa de las partículas componentes del Núcleo Atómico es un efecto debido a la Energía de Enlace, según la Teoría Especial de la Relatividad " .

=====

BIBLIOGRAFIA

=====

- 1.- ALONSO, Marcelo y FINN Edward J., Física, versión al español - de Carlos Hernandez y Victor Latorre, volúmenes 1 , 2 y 3, edición revisada y aumentada, México, Edit. Fondo Educativo Interamericano, S.A., 1970.
- 2.- BEISER, Arthur, Conceptos de Física Moderna, trad. por el Lic Arturo Nava Jaimes, 2da. edición, México, Edit. Prensa Técnica, S.A., 1977.
- 3.- CRESPI, Martin B.A., Introducción a la Radioquímica, la. edición, Quito, Publicaciones de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, 1979.
- 4.- CURSO - SEMINARIO 1979 - 1980, Curso de " Física Aplicada a Radioterapia ", Ministerio de Salud Pública, Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, Quito, s/edit., 1980.
- 5.- CURSO - SEMINARIO 1981 - 1982, Seminario sobre " Elementos de Didáctica Especial de Física ", Quito, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Escuela de Pedagogía, Publicaciones de la Especialización de Matemática y Física, 1982.
- 6.- D. C. HEATH AND COMPANY, Física, Physical Science Study Committee, trad. por el Prof. J. Aguilar Peris, la. edición, Boston, Edit. Reverté, S. A., 1962.
- 7.- EINSTEIN, Albert, La Relatividad, versión al español de Ute - Schmidt de Cepeda, de la edición alemana de Fried, México, - Edit. Grijalvo, S. A., 1970.
- 8.- HAZEN, Wayne E. y PIDD Robert W., Física, versión castellana - del Departamento de Física de la Pontificia Universidad Jave-

riana de Bogotá, 1a. edición, Cali, Edit. Norma, 1969.

- 9.- OFICINA SANITARIA PANAMERICANA, de Washington, Control de Calidad para Cámaras de Centelleo, Quito, Publicaciones de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, 1979.
 10. ORGANISMO DEL GOBIERNO DEL ECUADOR, Registro Oficial, Quito, Administración del Consejo Supremo de Gobierno, No. 891, 8 de Agosto de 1979.
 11. DREAR, Jay, Física Fundamental, versión española de Guillermo Aguilar Sahagun y Raul Gómez González, 2da. edición, México, Edit. Limusa, 1977.
 12. PERIODICO, El Comercio, Hay posibilidades de minerales radiactivos en región amazónica, Quito, 17 de Febrero de 1982.
 13. PERIODICO, El Comercio, Centro de Investigación Nuclear tendrá el país, Quito, 30 de Marzo de 1982.
 14. PERIODICO, El Comercio, Es necesario el uso de la energía solar, Quito, 15 de Noviembre de 1982.
 15. PERIODICO, El Comercio, Investigan existencia de depósitos de minerales radiactivos en el país, Quito, 6 de Diciembre de 1982.
 16. PERIODICO, El Comercio, IESS y Comisión de Energía Atómica firmaron convenio, Quito, 26 de Diciembre de 1982.
 17. PERIODICO, El Comercio, Delinearon bases para el desarrollo de la minería, Quito, 26 de Diciembre de 1982.
-

18. PERIODICO, El Comercio, A punto de descubrirse clave de fuerzas básicas de la naturaleza, Quito, 26 de Enero de 1983.
19. PERIODICO, El Comercio, Elaboran Programa de Seguridad Radiológica, Quito, 25 de Febrero de 1983.
20. PERIODICO, El Comercio, Apoyan a OPEP y Desarrollo de nuevas fuentes de energía, Quito, 27 de Marzo de 1983.
21. PERIODICO, El Comercio, Llegó al país experto en ensayos no destructivos, Quito, 18 de Abril de 1983.
22. PERIODICO, El Comercio, Paese inicia integración eléctrica del país, Quito, 20 de Mayo de 1983.
23. RESNICK, Robert, Introducción a la Teoría Especial de la Relatividad, versión española de Ricardo Luna , Victoria M., 1a. edición, México, Edit. Limusa, S. A., 1977.
24. RUSSELL, Bertrand, ABC de la Relatividad, trad. castellana de Pedro Rodríguez Santidrián, 1a. edición, Barcelona, Edit. Ariel, 1978.
25. ZAKI DIB, Claudio, Tecnología de la Educación y su Aplicación al Aprendizaje de Física, trad. castellana de Héctor A. Domínguez Álvarez, 1a. edición, México, Compañía Editorial Continental, S. A., 1977.