

***ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA: UNA MIRADA DEL PARADIGMA DE LA
ENERGÍA A TRAVÉS DEL EFECTO TÚNEL***

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN FÍSICA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y LA RELACIÓN FÍSICA MATEMÁTICA

MAHYKOL STYVEN GUERRERO TAPIERO

ASESOR: MAURICIO ROZO CLAVIJO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Bogotá D.C

2023

| 1. Información General | |
|-------------------------------|--|
| Tipo de documento | Trabajo de Grado |
| Acceso al documento | Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central |
| Título del documento | Enseñanza de la física moderna: una mirada del paradigma de la energía a través del efecto túnel |
| Autor(es) | Mahykol Styven Guerrero Tapiero |
| Director | Rozo Clavijo Mauricio |
| Publicación | |
| Unidad Patrocinante | Universidad Pedagógica Nacional |
| Palabras Claves | ENERGIA, CUANTIZACION DE LA ENERGIA, POZO DE POTENCIAL, EFECTO TUNEL, BARRERAS DE POTENCIAL. |

| 2. Descripción |
|--|
| <p>El siguiente trabajo de grado busca exponer la importancia que se venido fortaleciendo durante las últimas décadas en torno a un concepto muy relevante en la física como lo es el de la energía y mostrar cómo se aborda actualmente en la enseñanza de esta, para así mostrar las falencias que surgen en la apropiada interpretación en las visiones modernas como lo es el de la física cuántica.</p> <p>Con esto se busca mostrar las limitaciones que surgen en la implementación de métodos que tan solo abordan una parte de los conceptos necesarios en la teoría cuántica de la física, limitando y condicionando así a los estudiantes en la interpretación a conceptos básicos y llevando a conclusiones insuficientes para el apropiado entendimiento de la teoría cuántica.</p> <p>Con el objetivo de mostrar un fenómeno que supla estas insuficiencias conceptuales que hay en estos métodos tradicionales, pero a su vez también abarcando conceptos de los fenómenos utilizados clásicamente, como lo es el efecto túnel que al ser un fenómeno de la visión cuántica mostrara esta cuantización de la energía, pero a su vez mostrando otro factor que no se toma en cuenta como el de la continuidad de la energía.</p> <p>Esto con la finalidad de mostrar el efecto túnel como un fenómeno alterno que permita la observación y el análisis de un mayor espectro de conceptos que nos arroja la teoría cuántica como lo es el panorama discreto de la energía, como el carácter continuo de la energía.</p> |

3. Fuentes

- Lev Davidovich Landau ,E. M. Lifshitz.(1970). Física teórica. mecánica. (segunda edición), academia de ciencias, URSS. Barcelona.
- Leslie E. Ballentine. Quantum mechanics (1998), world scientific publishing co. Pte.Ltd
- Gamow, G. (zur quantentheorie des atomkernes), Zeitschrift für Physik A Hadrons and nuclei, Vol 51, (1928) (204-212)
- Greca Iliana Moreira . (2002) construyendo significados en mecánica cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario. Instituto de Física, Universidad Federal do Rio Grande do Sul
- Glauco Cohen F. Pantoja, Marco Antonio Moreira, Victoria Elnecave Herscovitz.2013. La enseñanza de conceptos fundamentales de Mecánica Cuántica a alumnos de graduación en Física, Programa de posgrado en Enseñanza de la Física de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. (2001). Uma proposta para o ensino de mecânica quântica. Revista Brasileira de Ensino de Física
- Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas. Revista electrónica de investigación en educación en ciencias (REIEC),4(1),40-48
- Albeiro Rubio Pinto,2012. unidad didáctica para la enseñanza del concepto de energía. Universidad nacional de Colombia
- Gerald & Brush Stephen. (1978). Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas. Editorial Reverté S.A.
- Juan Ignacio Pozo Municio. (1998). Aprender y Enseñar Ciencia: Del Conocimiento Cotidiano al conocimiento científico. Ediciones moratas.
- RussellyGreenberg. Daniel. (2008). Turning Learning Right Side Up: Putting Education Back On Track. Education
- -Gonzales, Fabio. (1991). Evolución Histórica del Concepto Energía. Seminario Taller, Evolución y Perspectivas del Sector Energético Colombiano. Centro de Documentación e Información Pontificia

Universidad Javeriana.

- Taton, Rene. (1973). Historia general de las ciencias, Vol. 3, Barcelona.
- G. Falk, F. Herrmann, and G. Bruno Schmid, 1983. Energy forms or energy carriers?. Institut für Didaktik der Physik, Universität Karlsruhe, Kaiserstrasse 12, 7500 Karlsruhe 1, West Germany
- E. WHITTAKER (1989). A history of the theories of aether & electricity, Nueva York.

4. Contenidos

Capítulo 1:

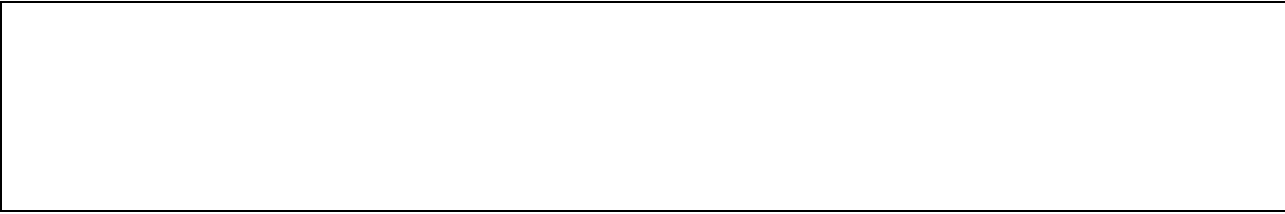
En el capítulo 1 se presenta una contextualización a razón del concepto de energía y su importancia en la concepción de la física clásica como en la física moderna cuántica y que problemas se han encontrado en la formalización de este concepto por parte de las academias y a su vez que propone este trabajo de grado para poder solucionar estas problemáticas y los objetivos que se desarrollan a base de estas.

Capítulo 2:

En este capítulo se muestra cómo se trata el concepto de energía desde la mecánica clásica y que formalismos se utiliza en esta visión clásica del mundo y como a partir de estos se explicaban la gran mayoría de los fenómenos de la naturaleza , para luego mostrar y analizar como a partir de la interpretación de los fenómenos que no se pueden explicar a partir de esta visión clásica se da la transición de este concepto de energía de uno continuo a uno discreto , así rompiendo el paradigma que se utilizaba coloquialmente a uno que satisficiera los fenómenos cuánticos, como también mostrando problemáticas que surgen en la enseñanza de este concepto en esta visión cuántica y que falencias hay en las metodologías que condicionan a los estudiantes a tan solo llegar a interpretar una parte de esta visión ignorando aspectos importantes de esta .

Capítulo 3:

En el último capítulo se presenta un fenómeno que permita visualizar no solamente el aspecto que abarca los fenómenos cuánticos utilizados normalmente como lo es la discretización de la energía , sino También el aspecto continuo de la energía , ignorado continuamente en la metodologías de enseñanza de la mecánica cuántica , proponiendo una nueva forma de abarcar estas dos visiones de la energía que propicia y enriquece nuevas metodologías de enseñanza impartidas en las instituciones a razón de la mecánica cuántica.



5. Metodología

Se trata de una investigación cualitativa documental, que en principio a razón de una problemática encontrada en los métodos de enseñanza de la física moderna cuántica encuentra falencias y problemas que no propician la interpretación y aprendizaje, con esto se propone un nuevo método que permita suplir estas insuficiencias y permita una perspectiva más amena e intuitiva de esta teoría cuántica que pueda ser utilizada por instituciones que deseen enseñar esta física en particular.

Con ello esta metodología tan solo se basará en la investigación de textos que enriquezcan al investigador en la búsqueda de interpretaciones y métodos de enseñanza que se utilizan coloquialmente, como también otras interpretaciones que satisfagan estas falencias de la mecánica cuántica.

6. Conclusiones

Se logró realizar un acercamiento del concepto de energía continua a partir de la introducción de los conceptos de vis viva y las formas de energía en los experimentos en los que se evidencia este fenómeno continuo.

Se logró también abundar de una manera más amena el cambio conceptual que surge a partir del concepto de energía continuo hacia uno discreto a partir del análisis de experimentos que propician el entendimiento de este nuevo fenómeno discreto que normalmente su complejidad matemática y su poco factor intuitivo que se ve afectado por el acondicionamiento de su visión continua predecesora. En consecuencia, los vuelve un serio problema en el ámbito de la enseñanza.

Con este estudio preliminar se corroboró que alcances posee estas teorías abordadas comúnmente en la enseñanza de la física moderna en el ámbito cuántico que quedan empobrecidas con la gran cantidad de consideraciones conceptuales ignoradas que restringen el entendimiento en el estudiantado, como también quedando anticuado en comparación de las investigaciones de la física moderna.

Con lo anterior se pudo, a parte de lo ya mencionado, mostrar la mera necesidad de utilización de fenómenos que puedan satisfacer en un parámetro más general los conceptos que implican la mecánica cuántica, también que sean fenómenos más contemporáneos para no quedar ajeno al avance de la física moderna y utilizarlo como un método de enseñanza.

Al implementar el fenómeno del efecto túnel, siendo un fenómeno contemporáneo facilita la interpretación de la energía, ya que este aborda las dos diferentes visiones puesto en los experimentos en los que se desenvuelve este fenómeno barca como la visión cuántica discreta, como también la visión continua que desde la aparición de la aparición del carácter discreto de la energía no se tomaba en cuenta por parte de la enseñanza.

| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| Elaborado por: | Mahykol Styven Guerrero Tapiero |
| Revisado por: | Mauricio Roza Clavijo |

| | | | |
|--|----|----|------|
| Fecha de elaboración del Resumen: | 01 | 07 | 2023 |
|--|----|----|------|

Tabla de contenidos

| | |
|---|-----------|
| Capítulo 1 | 10 |
| 1.1. Contexto problemático | 10 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 11 |
| 1.3. Pregunta problema | 11 |
| 1.4. Objetivo general | 11 |
| 1.5. Objetivo específico | 12 |
| 1.6. Justificación | 12 |
| 1.7. Antecedentes | 12 |
| 1.8. Marco teórico | 14 |
| Capítulo 2 | 18 |
| 2.1 Sobre el concepto de energía: contexto clásico | 18 |
| 2.1.1 Energía desde el contexto clásico | 18 |
| 2.1.1.1 La vis viva..... | 18 |
| 2.1.1.2 Formas de energía | 20 |
| 2.1.1.3. Enseñanza de la energía (concepto clásico) | 22 |
| 2.2. Sobre el concepto de energía: contexto cuántico | 23 |
| 2.2.1 Radiación de cuerpo negro y la energía | 24 |
| 2.2.2 Enseñanza de la energía concepto cuántico | 28 |
| Capítulo 3 | 29 |
| 3.1 Sobre el efecto túnel | 29 |
| 3.1.1 Partícula en un pozo de potencial..... | 29 |
| 3.1.2 Pozo de potencial infinito | 30 |
| 3.1.3 Contextualización del efecto túnel y la radiación Alpha | 32 |
| 3.1.4 Traspaso de la pared de potencial..... | 37 |
| 3.1.5 Efecto túnel y la energía..... | 40 |
| 3.1.6 Aspecto pedagógico y el efecto túnel..... | 42 |
| Capítulo 4 | 43 |
| Conclusiones | 44 |
| Bibliografía | 44 |

Introducción

El concepto de energía ha permitido el estudio diferentes formas en las cuales interaccionan los fenómenos del mundo ,debido a la transición de una cantidad intrínseca que poseen los cuerpos. Este trabajo presenta una manera de abordar diferente el concepto de energía al utilizado normalmente ,presentando a partir del fenómeno del efecto túnel y presentando el rompimiento de paradigma a razón de cómo se evidencia este concepto .

Se realiza una primera contextualización , abordando históricamente ,como también teóricamente las ideas previas de cómo se trabaja este concepto ,marcando dos tiempos clave . Siendo uno la manera continua de la energía siendo esta la abordada clásicamente y otra la manera discreta abordada cuánticamente ,además de marcar los objetivos a cumplir y sus posteriores alcances.

También en este trabajo se abordará autores pedagógicos ,entre estos la pedagoga María Greca , en el cual se apoya este trabajo , basándose puntualmente en la necesidad de creaciones de metodologías que permitan implementar herramientas en las como enseñar la física moderna ,más en torno al concepto de energía en la mecánica cuántica. Pues los currículos nacionales , no poseen implementaciones pertinentes hacia la energía cuántica continua , que propicien una visión de las investigaciones actuales que se realizan en la física cuántica.

Además de presentar una breve formalización del tratamiento matemático que se utiliza en el movimiento de las partículas subatómicas a razón de la ecuación de Schrödinger, que permitirán evidenciar posteriormente el carácter continuo en el fenómeno del efecto túnel.

En primer capítulo se abordará en que primeras problemáticas surge el concepto de energía y que ideas iniciales se tomaron en cuenta para la interpretación de este concepto , para luego dar una problemática en el abordamiento insatisfactorio que se obtiene de estas conjeturas y como gracias a los cambios que surgen temporalmente , es pertinente cambiarlo por uno más completo que complementa este concepto de energía , proponiendo así un método más ameno y agradable al enseñar.

En el segundo capítulo se abordará los conceptos que dan razón de dos diferentes visiones que se tiene de la energía , una continua abordada en el mundo macroscópico y otra discreta abordada en el mundo microscópico o subatómico , con ello mostrando una dependencia de la energía , con cada visión en la cual el fenómeno a observar se desarrolle.

En el tercer capítulo , se analizará en como la interpretación de un fenómeno microscópico que aparenta, bajo premisas de la mecánica cuántica, arrojar un valor discreto de la energía, no lo hará, si no muy por el contrario arrojará un valor continuo de la energía.

1.CAPITULO 1

1.1 CONTEXTO PROBLEMÁTICO

El concepto de energía surge bajo fundamentos y principios expuestos en la mecánica clásica, para dar explicación a fenómenos que rodeaban a los pensadores en ese momento y así dar descripciones apropiadas al movimiento de los cuerpos. El matemático Gottfried Wilhelm Leibniz fue el primero en utilizar este concepto con el fin de dar razón de lo que ocurría con el fenómeno de fricción. Leibniz (1714) definió como la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos o en otros cuerpos y lo mostro en su expresión del teorema de las fuerzas vivas que daría a relucir múltiples características, siendo una de ellas la que se abordará en este trabajo, el carácter continuo puesto que cualquiera que sea el valor que tomen estas fuerzas su resultado no estará restringido y podrá tomar cualquier valor.

A comienzos del siglo XX, el concepto de energía sufre un replanteamiento gracias a los trabajos de Max Planck a propósito de la radiación del cuerpo negro. Planck propone considerar la energía absorbida y emitida por el cuerpo negro en forma de “paquetes” discretos de energía, con lo cual, provoca un rompimiento de paradigma sobre la manera de conocer y abordar los fenómenos a escala atómica.

Estos razonamientos fueron de gran consideración para la concepción de la física moderna y con ello, para los diferentes desarrollos en la ciencia y tecnología que se realizan hoy en día. Con esta idea se promueve la reflexión sobre la energía desde el contexto cuántico, sirviendo de apoyo a las bases de la física nuclear, atómica, molecular y del estado sólido, la física de partículas entre otros.

Dada la nueva cosmovisión que surge a propósito del concepto de energía, la enseñanza de la física moderna y en particular de la mecánica cuántica ,no se aborda la problemática que surge en torno al concepto de energía, puesto que se generan dificultades en los estudiantes en cómo se aborda este cambio de paradigma de la energía, ya que no es directamente perceptible a nuestra experiencia cotidiana en la escala macroscópica y solo se da información a partir de un formalismo. Greca y Moreira evidencian los problemas que presentan los estudiantes al aprender este concepto debido a la alta proporción de abstracción en el cual reposa el concepto de energía.:

“Ciertamente, enseñar Mecánica Cuántica no es una tarea fácil. Sus principios huyen de la cosmovisión clásica que tenemos, provocando que la mayoría de ellos conduzcan a consecuencias "anti-intuitivas"”(greca y Moreira ,2001, pág. 1)

Esto se puede ver en como por ejemplo cuando se los estudiantes intentan utilizar los razonamientos newtonianos como es la formulación de la sumatoria de la energía , pues como se tiende a utilizar es una suma que no toma en cuenta cómo se comporta la energía cuánticamente, y como es bien sabido se comporta en escenarios discretamente como en otros continuamente.

Dicha problemática sobre la enseñanza de la mecánica cuántica a razón del concepto de energía nos lleva a proponer una estrategia de enseñanza que permita evidenciar el rompimiento de paradigma alrededor del concepto de energía .

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La enseñanza de la física no ha cambiado ya que se persiste con la enseñanza de una física de corte newtoniano, desconociendo el advenimiento de la mecánica cuántica que da un cambio de paradigma y un cambio en la cosmovisión del mundo. Sin embargo, esta forma de enseñanza, aunque valiosa, debe ser transformada utilizando estrategias que incluya la física moderna con el propósito de crear nociones de la física después del siglo XIX en particular sobre el concepto de energía, para así acercar a los estudiantes a desarrollos científicos contemporáneos.

El efecto túnel se presenta como estrategia para la enseñanza aprendizaje del concepto de energía, lo que permite evidenciar, por un lado, el comportamiento del sistema objeto de estudio y, por otro, el rompimiento de paradigma entre la manera de conocer desde el contexto clásico y desde el contexto cuántico. Por lo tanto, mostrando el carácter de la energía dentro del contexto de la mecánica cuántica permite dar una nueva cosmovisión de mundo. Esta perspectiva se propone para cursos introductorios a la mecánica cuántica y así mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

1.3 PREGUNTA PROBLEMA

¿Cómo a partir del efecto túnel se puede evidenciar el rompimiento de paradigma que surge a propósito del concepto de energía discreta?

1.4 OBJETIVO GENERAL

Construir una explicación sobre el carácter discreto como continuo de la energía alrededor del efecto túnel con el propósito de mejorar la comprensión del concepto de energía

1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.1. Realizar un análisis sobre textos y artículos que aborden el carácter discreto de la energía a propósito del efecto túnel.
- 1.2. Realizar un análisis del concepto de energía desde el contexto clásico y desde el contexto cuántico que permita evidenciar el rompimiento de paradigma.
- 1.3. Proponer las ventajas del fenómeno del efecto túnel como una propuesta alternativa viable de enseñanza de la energía, que permita establecer la naturaleza de la energía .

1.6 JUSTIFICACIÓN

La mecánica cuántica ha generado una transformación en el pensamiento del hombre debido a la nueva cosmovisión que demanda esta teoría. Esta manera de conocer rompe con la manera de pensar que se encuentra arraigada fuertemente en un pensamiento clásico. Por lo tanto, es pertinente abordar conceptos como es el de la energía que permita construir una mirada diferente para la explicación de los fenómenos a nivel atómico. Esto nos permite cambiar las formas de enseñanza conservadoras y tradicionales que no logran buenos resultados, puesto que estas en ocasiones, se muestran por parte de los profesores por medio de ecuaciones sin resaltar el cambio de pensamiento que se debe establecer a razón de esta .

Con este cambio, es necesario la creación de nuevos métodos que mejoren de forma significativa esas dificultades que presentan los estudiantes en la interpretación y entendimiento de la mecánica cuántica a una forma más amena e ilustrativa .

Por ello , Este trabajo va dirigido a estudiantes de cursos de introducción del concepto de energía a razón de la mecánica cuántica, para que puedan crear comprensiones del rompimiento de paradigma del concepto de energía discreta a través del fenómeno de efecto túnel, lo que también permitirá una visión cuántica moderna.

1.7 ANTECEDENTES

A partir de la búsqueda sobre trabajos referentes a la problemática planteada se encontró **a nivel local** los siguientes trabajos de grado:

1. Actividades experimentales para la construcción de explicaciones alrededor de los fundamentos básicos de la mecánica cuántica de Luz Angélica Walteros Rodríguez, proyecto de grado:

El argumento principal de este trabajo es ofrecer una serie de actividades experimentales para lograr observar el comportamiento de la luz, para así lograr mejorar la enseñanza de la mecánica cuántica, lo cual permitirá a los estudiantes formalizar una explicación a base de su comportamiento

El documento anterior nutre la investigación propuesta, dado que permite abordar fenómenos y actividades experimentales de la física moderna en torno a la mecánica cuántica y como abordar las didácticas con estos mismos.

2. La medición de una variable de estado desde el contexto clásico y desde el contexto cuántico de Julián Andrés Malaver Montoya, proyecto de grado:

Este trabajo propone una comparación de los conceptos básicos de la mecánica clásica y la mecánica cuántica, logrando mostrar sobre cómo se debe llevar a cabo las mediciones cuánticas y sobre cómo se constituye la medición, siendo un eje fundamental de esta teoría.

Este trabajo aporta en el análisis teórico sobre las variables que se debe realizar bajo el contexto de la mecánica clásica y la mecánica cuántica.

3. Acercamiento al concepto de energía cuantizado por medio del cálculo de los estados ligados de sistemas mecánico-cuánticos unidimensionales, proyecto de grado:

Este proyecto busca mostrar la importancia de la programación y los métodos numéricos aplicados al problema de los estados ligados, la cuantización de la energía y los objetos usados en la descripción de sistemas donde se observan estos fenómenos, el pozo de potencial. Este trabajo apoya con el abordamiento sobre el problema del potencial en el movimiento de partículas para su posterior implementación en el efecto túnel.

A **nivel nacional** se encontró la siguiente monografía:

1. La Enseñanza del fenómeno cuántico de efecto túnel de José Patiño M. de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, proyecto de grado:

Este trabajo muestra el diseño y construcción de un módulo didáctico que es análogo al microscopio de efecto túnel, como un material de apoyo para la enseñanza de este fenómeno.

Este trabajo aporta en una forma de abordar el fenómeno efecto túnel en un contexto de la física moderna aplicada como lo es el microscopio de efecto túnel.

A **nivel internacional** se encontró el siguiente trabajo de tesis doctoral:

2.Efecto túnel cuántico en barreras exóticas de potencial de Juan Manuel Franco Patiño de la Universidad de la Sevilla de España. Proyecto de grado:

Este proyecto de grado se enfoca en el estudio del efecto túnel cuántico en el marco de la aproximación semi-clásica, utilizando también los resultados obtenidos para el cálculo de energías de estados ligados mediante la condición de cuantización de Bohr-Sommerfeld. Este trabajo aportó en otro punto de vista a los tratamientos del efecto túnel a razón de cálculos realizados en diferentes campos de potencial que se puede presentar en diversos sistemas.

1.8 MARCO TEÓRICO

En la mecánica clásica aparece el concepto de energía a mediados del siglo XVI gracias a los trabajos realizados por Gottfried Leibniz sobre la naturaleza material del mundo y su interacción. Propone la idea que todos los cuerpos del mundo material están formados de pequeñas sustancias simples y diferentes una de la otra, que al juntarse entre sí darán los diferentes fenómenos que observamos en los escenarios del mundo que nos rodea . A estas sustancias él las llamaría “monadas”. (*Gottfried Leibniz, Monadología ,1720, pág. 1-10*)

Estas “monadas” tendrían diferentes características importantes que más adelante serán heredadas por el concepto de la vis viva o energía (como se llamaría posteriormente). La primera será lo esencial y diminuto que compone la naturaleza, sin necesidad de otros cuerpos o sustancias, sin depender de un agente externo. En segundo lugar, no será posible su creación y, por lo tanto, su destrucción. En tercer lugar, será su separación o indivisibilidad ya que no depende de otras sustancias y, por último, poseerá una fuerza que le permite actuar con otras de su mismo tipo y, con ello, crear interacciones entre diferentes cuerpos como lo es el movimiento.

Tomando en cuenta esta última característica Gottfried Leibniz expondría que todas estas interacciones entre las monadas(energía) dan a la luz los fenómenos que vemos en la realidad y estos fenómenos se formarían de manera gradual poco a poco mientras otras monadas(energía) del mismo tipo se unen a la interacción. Por consiguiente ,la naturaleza de los fenómenos es pasar

de lo más esencial a lo más grande y mientras sucede este cambio no deberá mostrar cambios abruptos o de gran medida sin una respectiva transición continua, como él lo diría puntualmente: “Natura non facit saltus” (la naturaleza no procede por saltos). (*Gottfried Leibniz, Monadología*, 1720, 10 -13)

Por esta razón sale a relucir una ley que muchos de los pensadores de la época como Isaac Newton la compartirían en cierta medida que es la ley de continuidad.

De igual forma el concepto de energía adoptaría estas directrices y con ello moldear los fenómenos clásicos. Como por ejemplo, el movimiento de un cuerpo, este no partiría de un reposo hacia el movimiento completo o viceversa de un movimiento completo a uno de reposo si no que este se haría mediante de un movimiento de menor magnitud.

Con esto se llega a la conclusión de que todos los efectos que se produzcan a partir de la interacción entre monadas (energía) y cuerpos se desarrollarían con una aparente continuidad de esta y así produciendo cambios entre estos cuerpos. Esta idea estuvo compartida por varios pensadores de la época como por ejemplo Leibniz, Isaac Newton, entre otros.

Por otra parte, en la mecánica cuántica el concepto de energía cambia a partir de la aparición de diferentes problemas que no podían dar respuesta la mecánica clásica, uno de los más importantes consistía en la emisión de radiación de un objeto que se encuentra en equilibrio termodinámico (radiación térmica), viniendo del movimiento y vibración de las partículas al absorber energía . Si se analizaba teóricamente desde la electrodinámica clásica y se tomaban todas las frecuencias de radiación continuas que provenían del objeto, la energía que mostraba en este experimento no coincidía , mostrándonos una contrariedad entre las conclusiones teórica y experimentales .

Marx Planck en “THE THEORY OF HEAT RADIATION” resuelve este problema con la proposición de un modo matemático que consistía que las frecuencias no fueran sumadas de forma continua sino por una no continua, mejor dicho, discreta, arrojando así una concordancia coherente con las mediciones posteriormente hechas experimentalmente. Gracias a esto anunció la hipótesis que la radiación electromagnética es absorbida y transmitida por la materia en cuantos de energía cuantizados, introduciendo así la constante de Planck e iniciando la mecánica cuántica.

Por ende, esta nueva teoría energética cuántica nos proporciona parámetros para interpretar los fenómenos de la realidad. A su vez dejando atrás teorías que no responden satisfactoriamente a estos como lo es la mecánica clásica.

Teniendo en cuenta lo anterior surge la necesidad de encontrar una manera de poder dar razón de estos cambios al concepto de energía. Por consiguiente ,para satisfacer esta necesidad se tomara un fenómeno que nos permita ver de manera más clara e ilustrativa del concepto de energía como lo es el efecto túnel explicado en el artículo de George Gamow “Sobre la teoría cuántica del núcleo atómico.” que propone cómo se comporta la energía en un sistema de una partícula que lleva una energía en un solo eje , posteriormente en su movimiento se encuentra con una barrera de potencial que es mayor a la energía cinética de la partícula , y esta manifiesta un movimiento ondulatorio que permite el traspaso de esta barrera de potencial, lugar donde física clásicamente continua estaría prohibido.

Con esto ,demostrado el traspaso, bajo las soluciones de movimiento de la ecuación de Schrodinger. Por ello permitiéndonos la vista de que pasaría con la energía desde una postura clásica continua y cuántica continua, logrando evidenciar así el cambio de paradigma de este concepto.

Por otra parte, se indagará acerca del contexto de la enseñanza de la física moderna a partir de los autores María Greca, Antonio Moreira entre otros más, quienes se han dedicado en parte a investigaciones a la enseñanza en colegios y universidades, abordando problemas referentes a la enseñanza y al aprendizaje de la mecánica cuántica. Como lo mencionan en su artículo :

“los enfoques típicos de estos cursos no crean condiciones para que los estudiantes aprehendan la nueva forma de percibir los fenómenos que surgen de los principios de la Mecánica Cuántica y cursos posteriores, más técnicos, que no discuten los conceptos en los que se basan los enunciados teóricos, Estos factores llevan a que el desarrollo de estrategias didácticas que favorezcan el aprendizaje significativo de la Mecánica Cuántica se convierta en temas de investigación relevante” (greca y Moreira ,2001, pág. 2-4.)

A propósito de lo anterior, permite evidenciar que el maestro encuentra muchas dificultades al realizar su metodología de enseñanza en el aula, los principios que se deberán abordar huyen a la percepción tradicional y con ello pasando por entendido este cambio de paradigma tan importante en la enseñanza de la física moderna. Por lo tanto, solo mostrando a los estudiantes ideas que se limitan a información en forma de ecuaciones, con baja conexión fenomenológica siendo esta tan necesaria para la interpretación de la física, como consecuencia física cuántica se transforma en un tema difícil de explicar con bajas conexiones con fenómenos el cual podamos asociar a este, es por eso por lo que este trabajo busca encontrar y solucionar esas dificultades mediante una estrategia de enseñanza.

De modo que , se propone una estrategia de enseñanza basada en el efecto túnel teniendo como objetivo, hacer visible el principio básico de la energía que es fundamental en la comprensión de los fenómenos microscópicos y por ello su importancia en las modelaciones ilustrativas que permiten la interpretación de nuestro mundo, planteándose un fenómeno que nos permita abordar este principio fundamental que ayuden al estudiante a comprender este concepto mediante un proceso más dinámico y ameno.

En este trabajo, nos referiremos en primer lugar a algunas formas de ver la energía en diferentes tiempos de la historia de una manera más detallada y catalogando momentos claves en la cual se realizó razonamientos relevantes en la comprensión de este concepto y encaminándolo a los problemas, como conceptuales, como fenomenológicos que llevaron a cabo las definiciones que hoy en día conocemos. A razón de esto se observa las problemáticas que arroja al intentar realizar una adecuada enseñanza de diferentes autores que exponen en sus diferentes investigaciones.

CAPÍTULO 2

2.1. Sobre el concepto de energía: contexto clásico

En muchos escenarios de la cotidianidad de las personas ajenas a la ciencia interactúan y hacen uso de este concepto sin tener en cuenta las características y las ideas que se han gestado durante varias décadas. Por ejemplo, en el ámbito deportivo este concepto se le atribuye estrechamente en la forma en que una persona realiza con un grado de empeño alguna actividad física. Como también en el área industrial siendo el gasto de recursos de alguna maquinaria como se le puede atribuir al consumo y eficacia de los combustibles fósiles, de igual manera se le asocia a la electricidad suministrada de diferentes fuentes o algún aparato que lo almacena y es utilizada en aparatos eléctricos. En muchas ocasiones estas ideas no permiten un apropiado y acertado acercamiento al concepto de energía.

De la misma manera muchos pensadores han reflexionado sobre esta problemática. Con respecto a lo anterior, Richard Feynmann hace alusión a este concepto:

“Sin embargo, preguntas como qué es la energía, por qué hace que se muevan, cómo lo hace... ni siquiera se planteaban y menos aún se respondían.” (Feynmann, vol. 1,(1963), Capítulo 4, pág. 1-4.)

En conclusión, este concepto no posee una definición que pueda ser concretada fácilmente.

2.1.1. La energía desde el contexto clásico

2.1.1.1 La vis viva

En primer lugar, se mostrará las ideas que antecedieron al concepto de “vis viva”. Los primeros indicios de este concepto aparecerían durante el siglo XVII, en el que se priorizaron los desarrollos en el análisis de los choques entre cuerpos y sus consecuencias. A razón de estos desarrollos surgieron una cantidad de diferentes experimentos que proponían una magnitud inherente en el movimiento que se transfería de manera gradual y siempre se conservaba. Galileo en su obra *“Discurso y demostración matemática, en torno a dos nuevas ciencias”*, (1638) (pág. 3-4) menciona la relación de la energía y el movimiento, comprobando la hipótesis de una relación directa cuando los cuerpos caen libremente y el aumento de la energía, esto ocurriendo progresivamente de un instante a otro. Tan solo dependiendo directamente de una altura y la

velocidad de la que inicia sin importar si se acortara la altura se mantendría constante una cantidad que después se asociaría con una parte de la energía(Albeiro ,2012, pág. 3-5).

Gracias a este experimento el realiza una conjetura a razón del movimiento del cuerpo. En general, si un cuerpo cae libremente y choca con una superficie cambiando la dirección del movimiento , expresaría que este deberá cambiar durante un periodo de tiempo en la cual se hará de manera escalonada y paulatinamente hasta lograr la misma altura de la cual inicio. Esta mención es de una forma implícita la “vis viva” que utilizara Leibniz y Huygens más adelante para sus razonamientos.

En años posteriores Huygens en 1669, basándose en las ideas anteriormente mencionadas, resolvería problemas en torno a los choques con una explicación sencilla como lo mostraremos en la siguiente imagen de una colisión de dos cuerpos *grafica 1*:

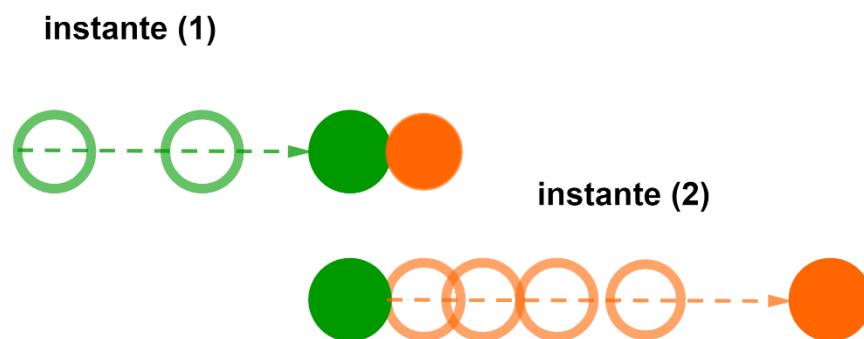


Gráfico 1. movimiento de un cuerpo (instante 1) y su respectivo choque con otro cuerpo similar (instante 2).

En la colisión se asume que el cuerpo inicial (esfera verde) posee una cantidad de movimiento propia y ocasiona un desplazamiento direccionado y se dirige hacia un cuerpo en reposo (esfera amarilla) en un inevitable choque. Durante el choque el cuerpo perturbado pasara del reposo al de movimiento de manera gradual, no de forma instantánea. También se observa que el cuerpo que en principio se estaba moviendo (esfera verde) se detiene transfiriendo en su totalidad la cantidad de movimiento al cuerpo en reposo. Este movimiento generara un desplazamiento análogo al del primer cuerpo de manera gradual. De modo que inherentemente aparece una relación en las cantidades que se conservan antes y después del choque bajo una regla:

“Como parte de su solución al problema de la colisión, la regla de que la suma extendida a todos los cuerpos del sistema del producto de la masa por el cuadrado de la velocidad permanece constante antes y después del choque en una colisión perfectamente elástica. “(Gerald Holton y Stephen Brush ,1987)(pág. 3-5).

Esta nueva relación mostraría las primeras formas de ver más evidentemente la relación continua y conservadora de la energía, puesto que no dependería de algún argumento que limitara la forma de transferirse en un cuerpo a otro, y sería constante en todo momento.

Mas adelante esta relación sería utilizada por Leibniz para realizar teorías acordes a la mecánica , apareciendo formalmente la relación con el nombre “vis viva “ (muchos años después esta sería reformulada por trabajos de Gaspard-Gustave Coriolis y Jean-Víctor cambiaría a su forma actual de energía cinética por lo menos antes del siglo XX) y proponiendo una sustitución por una que no solo se empleara en colisiones , si no una más general de una manera que se le pudiera asociar a un efecto una respectiva causa, pero también ambas deberían ser equivalentes y no ocurrir el proceso de manera instantánea, si no más de una manera gradual. Dando así la aparición de la teoría de la conservación de las fuerzas vivas que en pocas palabras estaría describiendo una de las formas en la que se puede representar la energía.

Por otra parte, el concepto de la “*vis potentialis*”, proporcionado por Leonhard Euler, en su artículo “*Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes, sive solutio problematis isoperimetrici lattissimo sensu accepti (1743)* ” propone diferentes soluciones a problemas en una forma más general, que luego tomaría en cuenta Joseph-Louis Lagrange para dar la concepción actual de la energía potencial; siendo una energía asociada a la configuración en la que se encuentre el sistema (Solves y Tarin ,2008, pág. 7-18).

2.1.1.2 Formas de energía

A principios del siglo XIX a partir de la vis viva y la forma cinética del calor surge una corriente generada hacia el principio de la conservación de la energía y la continuidad. Después de aparecer una comunidad alemana llamada los “*NATHURPHILOSOPHIE*” que seguían los ideales de antiguos filósofos naturales como Leibniz, Christian Wolff, entre otros, creían que en todos los procesos de la naturaleza debería estar relacionados unos con otros. Así pues, se podrían unir todos estos fenómenos compartiendo las propiedades de conservación y mostrando una continuidad,

denotándolo a través de un solo principio, como lo establece Friedrich Schelling:

“no cabe duda de que una sola fuerza (mejor llamada como energía en la actualidad), en sus varias formas, está manifiesta en los fenómenos de la luz, la electricidad y así, sucesivamente” (Friedrich Schelling, Integrante de la comunidad científica alemana ,1775, Conferencia Publica)

Estas formas de energía siempre se les separó en ramas distintas en las cuales no se relacionaban en sí una de la otra, y sus fenómenos respectivos no se comparaban entre ellos, eran totalmente ajenos uno del otro, sin embargo, esto fue cambiando y dando más relevancia a la idea de formas de energía a medida que se encontraban relaciones entre los fenómenos. Uno de los ejemplos de la relación entre fenómenos puede ser la producción de electricidad a partir de una reacción química como por ejemplo en una batería eléctrica donde al inicio posee una energía química y esta cambia paulatinamente a energía eléctrica cuando se le une a un circuito eléctrico (Alessandro Volta), como también, a partir de energía eléctrica se podría producir una energía química como lo hace en el proceso de electrólisis en la cual mientras se le agrega de manera gradual una energía eléctrica este realiza una reacción química que separa las moléculas de hidrogeno y oxígeno, generando una energía química (Michael Faraday).

En consecuencia , estas similitudes ayudaron a encaminar a los científicos de la época a analizar si a partir de un fenómeno se podría generar en consecuencia otro fenómeno y por simple completitud este fenómeno final debería generar el fenómeno del que salió y hacer este proceso hacerlo progresivamente (continuamente), pero con esta premisa se pensaría que para que esta tuviera validez, alguna parte de este fenómeno debería relacionarse o permanecer inamovible entre un fenómeno y otro , y tan solo fluir de manera continua entre ellos una cantidad constante que aunque pasen estos cambios fuera inalterable. Esta cantidad los” *NATHURPHILOSOPHIE* “ lo llamarían *fuerza (energía)*.

En este camino de dar sentido a este problema aparece Julius Von Mayer haciendo una recopilación, como también proponiendo diferentes ejemplos de conservación de fuerzas (en sentido más hacia el concepto de energía) y de su cantidad cuantificable que aparente indestructibilidad, diciendo:

“podemos decir que las causas son cuantitativamente indestructibles y cualitativamente convertibles... Las “fuerzas” (en el sentido de energía) son, por tanto, entidades indestructibles y convertibles” (Julius Von Mayer,1814, pág. 6-9).

Gracias estos trabajos y análisis se logra dar un sentido un poco más claro de la energía siendo una entidad que posee una cantidad constante que no es posible su destrucción y, por lo tanto, su creación. En conclusión, llevando a nombrar a todo este conjunto de manifestaciones de fenómenos como diferentes formas de energía. Como por ejemplo la luz, el movimiento de los cuerpos y la electricidad entre muchas otras, y estas pueden dar como resultado bajo ciertos tratamientos o fenómenos otra forma de energía y estas transformaciones nunca sucederán de forma abrupta si no siempre sucederán de forma sutil y continua .

2.1.1.3 Enseñanza de la energía

En el auge del advenimiento de la física posteriores del siglo XX o también llamada física clásica en la respuesta intuitiva y simplificada de múltiples problemas de choques, termodinámica, entre muchos otros surge una necesidad en las academias de enseñarla de una manera que conceptualmente sea la más apropiada, para así propiciar más investigaciones en esta área de conocimiento, pero gracias a esto aparecen diferentes problemas en cómo se enseña y se imparte en estas instituciones.

Por lo tanto, la energía cuando se enseña en la metodología clásica se implementa de dos formas que se abordan separadamente. Uno es el abordamiento de conceptos y otra asociada con los métodos de investigación y cómo son utilizadas por los estudiantes.

A partir de la primera forma se plantea a razón de exposiciones periódicas como por parte del profesor o por parte de los estudiantes que explican de manera parcial el concepto a tratar en ese momento, y en la segunda forma se plantea con la realización de jornadas de experiencias en el laboratorio con el abordamiento de fenómenos propuestos por el currículo de la institución. Pero con esto aparecen consecuencias como que los estudiantes se enfatizan en la memorización de estas vivencias y no puedan utilizarlo de forma correcta cuando necesiten disponer de él. En conclusión, este tipo de enseñanza de la física termina solo formando a estudiantes con una cantidad de recursos memorísticos de experiencias y conocimientos, pero dejando de lado formación de habilidades de razonamiento y aprendizaje de estos. (Russell y Greenberg.2008).

Por otro lado, cuando se aborda este concepto en la enseñanza aparecen diferentes dificultades conceptuales por parte de los educandos al intentar impartir los razonamientos anteriormente

propuestos, ya que estos se encuentran condicionados con los conocimientos y vivencias previas que traen, que, en muchas de las ocasiones en vez de ayudar, terminan por jugar en su contra en el camino de la interpretación como lo establece (Juan Pozo,1998, pág. 17-26):

1. Al proponer el concepto de energía no se utiliza de forma correcta en los escenarios propuestos así sean reales o no reales.
2. Se le asocia que la energía es parte natural de los seres vivos o que se encuentra de forma implícita, por ende, los objetos que no tienen movimiento se consideran sin energía
3. Se tiende a confundir que la fuerza y la energía son de la misma índole o ser del mismo tipo (sinónimos).
4. Se propone que la energía es algún tipo de análogo al combustible, con esto se presenta como algún elemento que se puede guardar o almacenar como también gastar o usar, como también recargar.
5. Cuando se analiza la conservación de la energía en diferentes ámbitos no permite que los estudiantes puedan obtener una visión diferente a la interacción material (adquirir o perder materia).
6. Los estudiantes asocian la temperatura de un cuerpo con las características macroscópicas y en ocasiones atribuyen mayor temperatura a cuerpos de mayor tamaño. Como también se observa dificultad para la distinción entre los conceptos calor y temperatura, también se considera la temperatura como una mezcla del calor y el frío que posee un cuerpo.

En conclusión, la explicación de este concepto queda limitado cuando se usan metodologías que no muestren de manera eficiente los diferentes aspectos que posee el concepto de energía y en cómo es evidenciada en fenómenos de la naturaleza, llevando a conocimientos incompletos o confusos por parte del estudiantado.

2.2. Sobre el concepto de energía: contexto cuántico

Después de realizar un recorrido en cómo se aborda el concepto de energía desde una idea clásica

y en cómo se evidencia su continuidad en las interacciones que ocurre en ella, este concepto toma otro rumbo con nuevos fenómenos como lo es la radiación de cuerpo negro, que serían clave para cambiar ideas ya establecidas como lo es su continuidad y que se daban por sentado muy arraigadamente en el pensar de los físicos contemporáneos de la época, ocasionando la creación de un modelo que pudiera dar solución estos fenómenos y por ello es necesario mencionar que parámetros llevaron a la creación de este modelo en particular.

2.2.1 Radiación de cuerpo negro y la energía

La energía toma un nuevo rumbo cuando a mediados del siglo XIX al enfocarse en el problema de la radiación a través de un modelo teórico relativamente nuevo como lo es el de cuerpo negro, este modelo inicia con base en las consideraciones que propone Pierre Prevost donde esencialmente da evidencia que todos los cuerpos tienen la facultad de irradiar energía, tal como se daría en la teoría del calor y debería ser de manera continua y permaneciendo constante.

Esta radiación de energía deberá ser expulsada en forma de radiación y basada en la continuidad de la energía expresada anteriormente deberá ser una emisión continua de energía desde la superficie de un cuerpo siendo transportada por ondas electromagnéticas. Significando así que un cuerpo deberá emitir de manera continua la misma radiación que recibe si se encuentra en equilibrio térmico.

De igual manera, aparecería más adelante otro pensador Gustav Kirchhoff proponiendo una ley que proporciona una característica de que deberá tener este cuerpo negro, en su artículo (sobre la relación entre la emisión y la absorción de la luz, 1859) :

“Para rayos caloríficos y para una temperatura determinada, el cociente entre el poder emisor y el absorbente es el mismo para todos los cuerpos. Dicho cociente sólo es función de la temperatura y de la longitud de onda” (Rene Taton, 1973, historia general de las ciencias, pág. 9).

Con esto se concluye que el poder emisor o absorbente de energía de un cuerpo es independiente de la materia del cual este hecho, como también se propone a la luz y el calor como ondas electromagnéticas, en otras palabras también portadoras de energía, para así poder utilizar las múltiples leyes de reflexión y absorción de la luz que ya se disponía anteriormente, esto ayudaría a incluir todo tipo de energía que afecte a este cuerpo y poder compararlas entre ellas.

Entonces, con lo anterior aparece la necesidad de crear, por lo menos teóricamente un objeto que pudiera permitir el estudio más detallado de esta radiación térmica de manera eficaz. Con esto llega Gustav Kirchhoff proponiendo un cuerpo ideal (un cuerpo negro) que posee la particularidad de poder absorber cual cantidad de radiación de energía que exista y basándose en sus ideas anteriores de la mecánica clásica esta deberá conservarse, absorberse y emitirse de manera continua. Del mismo modo también deberá ser reflectante en su interior para todos los rayos incidentes adentro de este. Con esto, gracias a las leyes de la termodinámica, junto con la ley de Kirchhoff este deberá ser un cuerpo que absorba toda la energía del exterior de manera gradual y a su vez toda la energía que se le incida desde el interior es emitida. Este supuesto es tan solo teórico ya que no existe un cuerpo que pueda absorber totalmente la radiación incidente, hasta el material más oscuro tiene un índice de reflexión.

Pero este objeto teórico puede ser análogo a una cavidad con una pequeña ranura, en principio la energía radiante transportada por ondas electromagnéticas incidirá a través de la ranura, esta será absorbida por las paredes internas, gracias a la gran cantidad reflexiones que ocurren allí, asegurando así que la gran mayoría de energía será absorbida.

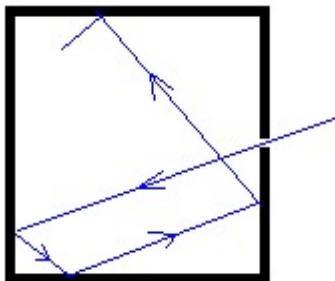


gráfico 2. Modelo análogo al teórico en la cual muestra la radiación energética incidente entra por la ranura y realiza reflexiones múltiples. de: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/radiacion/radiacion.htm>

Ahora si se toma por sentado que las paredes de la cavidad se encuentran a un temperatura conocida y constante en todo el cuerpo en el interior, los múltiples átomos que componen a este cuerpo estarán emitiendo radiación electromagnética y en el mismo instante estarán absorbiendo la radiación que emiten los átomos que se encuentran en las otras paredes de este cuerpo. Después de cierto tiempo cuando la radiación alcance un equilibrio con los átomos que conforman las paredes el valor de la energía que emitirán los átomos durante un periodo de tiempo será igual a la que absorben respectivamente y en teoría deberá ser emitida de manera continua, debido a esto la concentración de energía en todo el interior del cuerpo será constante. En este sentido se compara esta concentración de energía con una frecuencia particular, mostrándose en el color que toma este cuerpo . Esta energía tan solo dependerá de la temperatura que posean esas paredes y como se dijo

anteriormente no dependerán del material de las que estén echas.

Así pues, para analizar esta energía se necesitará abrir una pequeña apertura que permita el escape de una parte de esta radiación y evidenciar sus características y propiedades. Antes de realizar el respectivo análisis de este modelo se contaba con una hipótesis basándose en el modelo clásico de la energía continua, la cual el cuerpo debería emitir en todos los rangos de frecuencia por la continuidad de esta, siendo la de mayor frecuencia la que posee mayor energía y se deberá evidenciar de manera continua sin partes oscuras o saltos entre una y la otra.

En primer momento, las teorías clásicas postuladas por pensadores contemporáneos de la época, basándose en la teoría del electromagnetismo clásico y su transición continua de energía serian acordes a lo experimentado pero con algunas falencias. Según lo planteado, esta concentración de energía emitida en cada rango de frecuencia deberá ser proporcional a la anterior mientras se avanza por el espectro continuo. Esta solución a la concentración de energía estaría acorde a lo mostrado experimentalmente, mientras la radiación fuera de baja frecuencia, como es el caso de la luz visible antes mencionada como se muestra en el grafico 3.

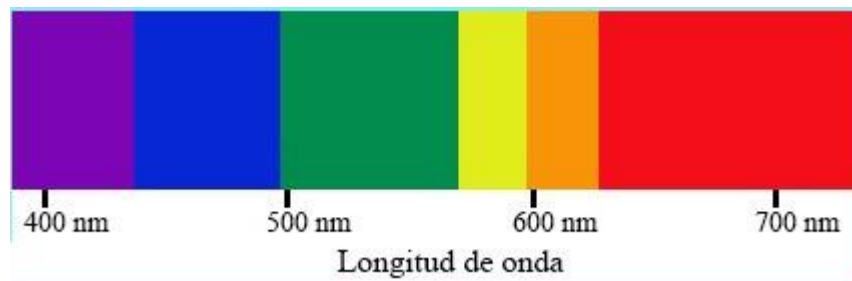


Gráfico 3 : espectro teorizado mostrado al observar la radiación en la luz visible por el cuerpo negro a bajas frecuencias.

Por lo tanto, para que no ocurriera esto se podría dar por hecho que este suceso ocurría en frecuencias bajas, significaría que los cuerpos tan solo podrían emitir luz visible. Sin embargo, contrariamente esto no era verdad pues era bien sabido que este cuerpo es capaz de emitir en frecuencias altas (ultravioleta).

Fue finalmente, Max Planck que analizaría de una manera diferente la visión clásica normalmente utilizada para así resolver este problema. Realizo una conjetura, el supondría que la radiación encerrada en la cavidad en el cuerpo negro se encuentra en equilibrio con los átomos, como se había mencionado anteriormente, comportándose así como osciladores armónicos de una

frecuencia dada, estos osciladores podrán absorber y emitir energía en una cierta cantidad constante no de forma continua que sería proporcional a la frecuencia para así evitar la aparición de valores de energía exorbitantes e incongruentes.

En consecuencia si estos osciladores absorben o emite esta radiación electromagnética en forma de una cantidad constante, la energía que se encuentra allí cambiara en una cantidad limitada o cuantizada por un valor (h) contraria a la energía en la mecánica clásica. Esta cantidad a la cual es absorbida y emitida fue llamada constante de Planck que se apoya por los hallazgos experimentales de emisión en el rango ultravioleta de los elementos.

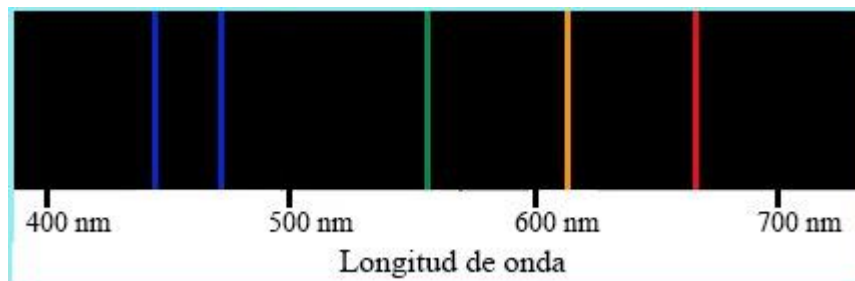


Gráfico 4: se muestra el espectro de emisión de un elemento a altas frecuencias como lo es el ultravioleta.

En correspondencia, se formularía una ecuación de esta radiación que el llamaría radiación de Planck o la ley de Planck que tomaría esta constante (h) quedando:

$$E = h\nu$$

Siendo $E(\nu)$ la energía de cada oscilador, (h), la constante de Planck y (ν) la frecuencia. Esta deducción teórica daría el primer paso hacia el camino de la discretización de la energía, punto a relucir en este trabajo:

“That is to say, we shall assume that the emission does not take place continuously, as does the absorption, but that it occurs only at certain definite times, suddenly, in pulses, and in particular we assume that an oscillator can emit energy only at the moment when its energy of vibration, U , is an integral multiple n of the quantum of energy, $E = h\nu$.” (The theory of heat radiation, max planck , pág. 179-180)

Finalmente, se puede decir que para poder dar una explicación acorde a la mostrada experimentalmente en la radiación en el cuerpo negro, siendo un fenómeno que en principio se

trató con la teoría de la física clásica tomando la energía como continua, se tuvo que dejar de lado. Este siendo un aspecto arraigado desde hacía décadas por parte de los pensadores de la época, llevando a un rompimiento de paradigma de este concepto, generando una nueva cosmovisión de cómo se deberán abordar los fenómenos que ocurren en la naturaleza y como será su posterior tratamiento en el ámbito físico .

2.2.2 Enseñanza de la energía

A propósito la enseñanza de la energía bajo la nueva visión cuántica muchas veces genera problemas o dificultades mucho más grandes comparados con los del apartado clásico, puesto que este aborda fenómenos que competen al mundo microscópico que normalmente sin los artilugios pertinentes(en muchos casos son inaccesibles) son casi imperceptibles quedando insatisfactorio y incompleto el aprendizaje de los estudiantes .

Estos factores afectan directamente a los estudiantes, pues al estar condicionados por un sesgo de conceptos clásicos no es posible mostrar los efectos que ocurren en estos fenómenos cuánticos. Entonces, abordar fenómenos encaminados a una interpretación cuántica crea conjeturas anti-intuitivas. Por estas mismas razones, se impide que ellos interpreten modelos que den respuesta a estos fenómenos cuánticos tan importantes en la física actual.

Además, en los escenarios que no desean adentrarse en la parte fenomenológica, si no más a una parte formal a razón de ecuaciones, estas solo utilizan aprendizajes matemáticos complejos, y en la gran mayoría de casos es necesario investigar exhaustamente tratamientos matemáticos pertinentes para poder darles sentido, así dando como efecto una carencia de ánimo por parte del estudiantado en la investigación en esta área de la física. (*Greca y Moreira ,2001, pág. 3-5*)

Para poder solucionar esta problemática que genera esta falta de interpretación cuántica, se deben implementar fenómenos que permitan una visión más clara de los aspectos y propiedades físicas que desembocan en la interpretación de la mecánica cuántica que no se basen en su racionalidad, que se encuentran condicionado al pensamiento clásico y que análogamente limita la visión. Si no que permitan ver un panorama más abierto a las visiones cuánticas.(*Greca y Moreira ,2001, pág. 5*)

CAPITULO 3

3.1 SOBRE EL EFECTO TÚNEL

Cuando se analiza los fenómenos cuánticos, surge una gran dificultad, puesto que al ser parte del mundo microscópico los sentidos no son capaces de darle una apropiada interpretación a dichos fenómenos. Uno de los fenómenos que hace parte de esta problemática es el del efecto túnel, siendo de por sí uno que contradice las interpretaciones que las personas tienen de cómo se modela el mundo. Para poder exponer y analizar qué es lo que ocurre en este fenómeno, es necesario optar por utilizar un modelo sencillo en el cual se pueda caracterizar las propiedades que se encuentran allí, como lo es la energía, siendo una variable necesaria para comprender las interacciones cuánticas.

El modelo más apropiado para este fin sería una que utilice la menor cantidad de partículas, y poner en interacción está en escenarios de la naturaleza, para así evidenciar sus resultados y contrarrestarlos con los fenómenos de la naturaleza que nos permitan observar las características de esta como lo son el pozo de potencial.

3.1.1 Partícula en un pozo de potencial

Con el fin de observar claramente los sucesos cuánticos se tomará en consideración una partícula que se encuentra interaccionando con fuerzas provenientes del núcleo, como lo son las fuerzas nucleares, limitando su movimiento de forma que no se aproxime al núcleo, como también por el contrario que se escape del núcleo.

Por lo tanto, tomando en cuenta que el modelo tomado es de una partícula interaccionando con un potencial, el mejor ejemplo es uno que se encuentra encerrada en un pozo con fuerzas potenciales que limita su movimiento, estas deberán ser tan grandes comparadas con la energía de la partícula para así no permitir su escape.

Particularmente, para el apropiado tratamiento formal de las partículas sumergidas en pozo de potencial, aparecería el pensador Erwin Schrödinger que desarrollaría una formulación a manera

de una ecuación, la cual describirá el comportamiento temporal de una partícula microscópica.

Con esto, se tomará un análogo a este modelo del átomo que nos muestre de una mejor manera la cuantización de la energía, siendo este un modelo cuántico de una partícula se encuentra sumergido en un pozo de potencial infinito.

3.1.2 Pozo de potencial infinito

En este apartado se analizará en cómo es el tratamiento acorde a una partícula inmersa en un área rodeado por un potencial infinito (*Gráfico 5*) que nos encaminara a una discretización de la energía.

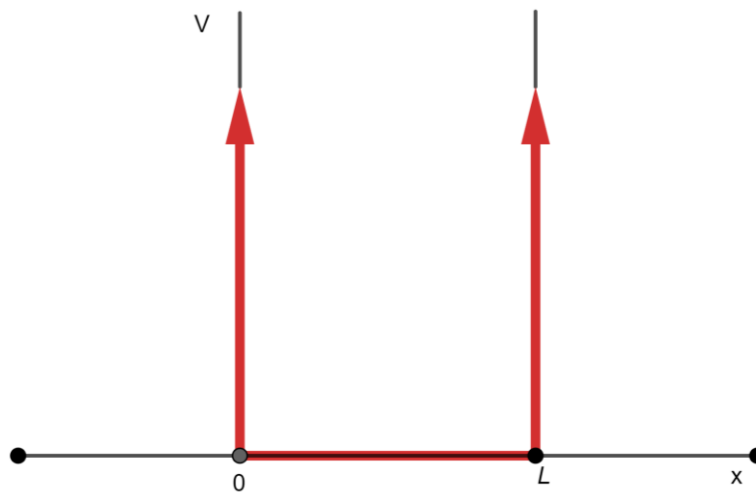


Gráfico 5. diagrama hipotético de un pozo infinito de potencial .

Cuando se analiza las condiciones que proporciona el modelo, surgen tres diferentes áreas de interés que son las siguientes:

$$V(x) = \begin{cases} \infty, & x < 0 \\ 0, & 0 \leq x \leq l \\ \infty, & x > l \end{cases}$$

siendo (l) la longitud que hay entre los límites de los potenciales, como es bien sabido, cuando el potencial es muy grande comparada con la energía cinética de la partícula, este no podrá sobrepasarla. Entonces ,será imposible encontrarla en este lugar o su probabilidad de estar en este

lugar será nula en estas regiones ($x < 0$) y ($x > l$), entonces la única parte interesante será el área que se encuentra dentro de los límites ($0 \leq x \leq l$).

Por lo tanto, el procedimiento matemático que se utilizara es la de resolver la ecuación de Schrodinger independiente del tiempo. Ahora, tomando en cuenta este caso, se reduciría sencillamente a:

$$\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} + \frac{2mE}{\hbar^2} \varphi(x) = 0$$

Las únicas soluciones que podrán salir para esta función tan solo serán:

$$\varphi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx} \quad \text{donde } k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$$

Como se evidencia en el grafico (5) esta solución dependerá en qué lugar se encuentra la partícula. De manera que, se aplicará las condiciones de contorno. Como la función se deberá anular en los puntos ($x < 0$) y ($x > l$), al evaluar la función con la primera condición, tan sólo surgirá una función acorde a estas. Entonces la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$\varphi(x) = 2iA \sin(kx)$$

Consecuentemente, si se necesita que la segunda condición se cumpla, se anulara al llegar ($x > l$). el valor de $\sin(kl)$ (reemplazando x por l respectivamente) deberá ser 0, y solo se cumpliría si $(kl) = n\pi$, donde este valor no deberá ser un número entero. esto nos arroja una condición sobre qué valores deberá tomar la energía, como lo muestra la siguiente ecuación:

$$E_n = \frac{(n\pi\hbar)^2}{2ml^2} \quad \text{donde } n = 1,2,3, \dots$$

Entonces, lo que muestra este modelo es un espectro que depende de una variable discreta (n), evidenciando así formalmente el carácter discreto de energía. Para una mejor visión de lo que ocurre en este sistema podemos realizar un diagrama que retome estas condiciones de energía permitidas de la ecuación anterior, dando el parámetro desde $0 \leq x \leq l$ y teorizando tres energías posibles con diferentes valores de esta una mayor que la otra como lo muestra el siguiente diagrama (grafico 6):

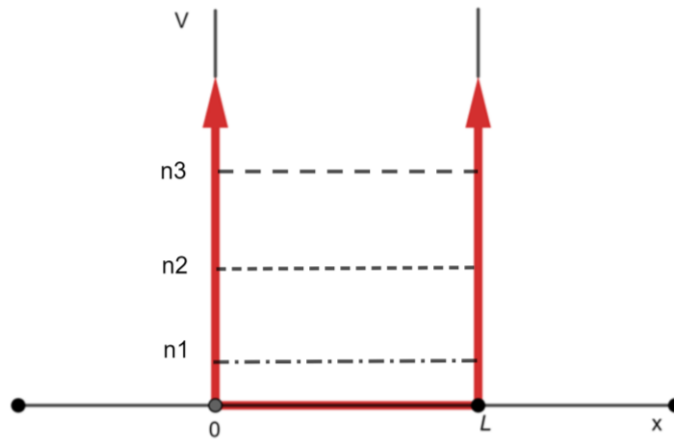


Gráfico 6. Diagrama hipotético del conjunto de soluciones posibles de energía a la función de onda, hallada a partir de la ecuación de Schrödinger.

La grafica 6 nos permite evidenciar en como quedaría ilustrada las magnitudes energías aceptadas. Por lo tanto, con base a estos resultados obtenidos se demuestra que la magnitud de la variable intrínseca de la energía deberá tan solo ser de carácter discreto en este pozo de potencial, tan solo aceptando valores cuantizados, Gracias a esto se lleva a concluir que en todas las interacciones microscópicas moleculares permanecerá el carácter discreto de la energía mientras permanezca interactuando con un pozo potencial infinito. Dando así por sentado que la naturaleza cuántica microscópica de la energía deberá ser de carácter discreto.

3.1.3 Contextualización del efecto túnel y la radiación Alpha

Ahora teniendo en cuenta la discretización de la magnitud del valor de la energía en el ámbito cuántico, anteriormente mostradas, aparece un fenómeno que toma de preámbulo el descubrimiento de las partículas Alpha por Ernest Rutherford en 1889, se evidencia una radiación particular que llevaría el nombre de radiación Alpha ocasionada por la expulsión de parte de elementos químicos, debido a su inestabilidad atómica, que gracias a experimentaciones, se notaría que esta radiación Alpha seria en realidad núcleos de helio.

Este hecho no tuvo una explicación, puesto que al notarse clásicamente, la energía que está

inmersa en el átomo de helio en este proceso no era suficiente para superar las barreras de potencial producidas por las interacciones nucleares que intervienen en este sistema. Para lograr una mejor interpretación tomaremos una ilustración en la cual se comparará la energía que posee en diferentes radios a razón del núcleo de un elemento pesado. Analizaremos en primera parte que la partícula Alpha del átomo pesado se encuentra alojada desde un radio inicial (0) hasta un radio (r_0) y esta solo se podrá encontrar donde su energía lo permita (E), como ya se dijo antes esta primera barrera de energía aparece gracias a las fuerzas nucleares fuertes surgiendo de la atracción entre partículas y que al estar tan cerca no permiten el libre movimiento de estas, por consiguiente entre más energía posea esta partícula que en promedio esta varía entre 4 MeV y 9 MeV (millón de veces un electronvoltio), su área de interacción podrá ser mayor en los confines de esta barrera como lo muestra la (grafica 7).

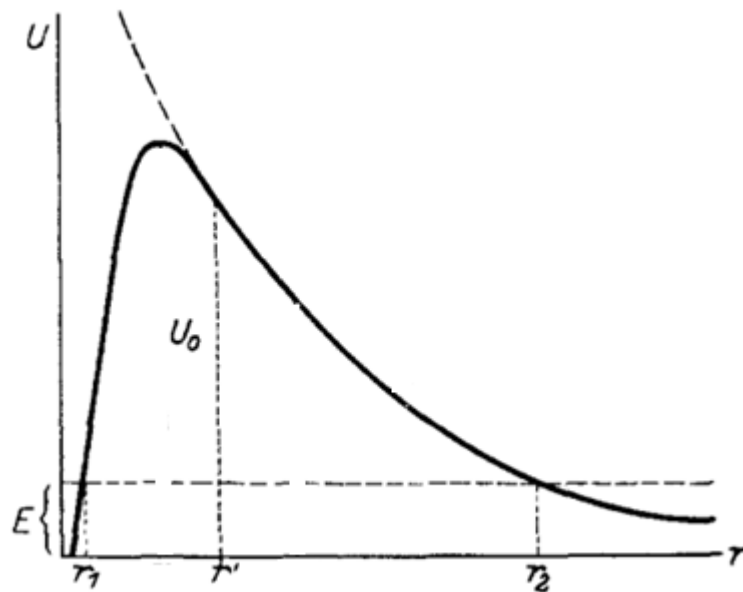


Gráfico 7. Diagrama de radio respectivo al núcleo, contra energía potencial, donde se muestra la energía que tiene la partícula de helio es de un valor de (E) y el valor de las energías de los potenciales varía con respecto a la distancia. Mostrando así la imposibilidad de traspasar los átomos de helio de valores grandes de (r). imagen recuperada: Gamow, G. agosto de 1928, pág. 1, *Zur Quantentheorie des Atomkernes*.

En principio esto es difícil de interpretar, para poder evidenciarlo de una mejor manera más ilustrativa lo que de antemano se supondría que pasaría en los confines de átomo utilizaremos la idea clásica en la cual no puede traspasar la barrera gracias a las fuerzas potenciales, este tan solo tendría permitido rebotar a dentro de los límites del núcleo como lo muestra la siguiente gráfico (grafico 8):

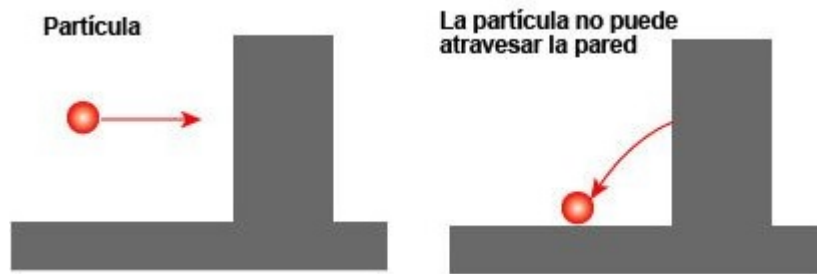


Gráfico 8. Diagrama donde se muestra la interacción clásica del movimiento de la partícula Alpha en el centro del núcleo del átomo. Imagen base recuperada de: <https://dandax.wordpress.com/2007/09/19/el-final-de-la-ley-de-moore-y-la-computacion-cuantica/> y editada para su apropiado fin.

Por esta razón la expulsión de los átomos de helio (partículas Alpha), ya que ellos no poseen energía suficiente para sobrepasar estas interacciones de potenciales (formando así un pozo de potencial), rebotarían y no podrían llevarse esta expulsión, esto se repetiría indefinidamente cuanto la energía que posea lo permita, si tomáramos esto por hecho no habría gran diferencia entre la mecánica que se utiliza normalmente en los experimentos clásicos como lo son el movimiento en los objetos macroscópicos como se muestra en (gráfica 9):

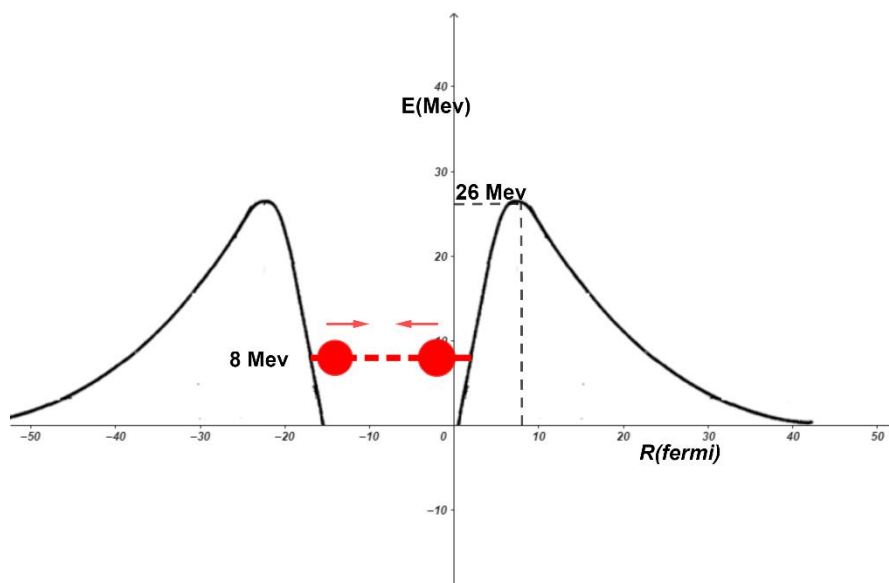


Gráfico 9: imagen teórica de cómo se vería la interacción de la partícula Alpha adentro del átomo de polonio (átomo pesado inestable)

Pero por otro lado los resultados encontrados experimentalmente en la radiación de partículas Alpha no son necesariamente correctos puesto que investigaciones realizadas a razón de esta radiación Alpha por Hans Geiger, menciona que tanto sea mayor es el periodo de desintegración de cada partícula Alpha (desprendimiento de las partículas Alpha) menor debería ser la energía siendo las más bajas de energía de orden de 4 MeV y las de mayor periodo de 9 MeV.

En otras palabras estaría mencionando que muchos de las desintegraciones Alpha de estos elementos pesados como lo son el polonio (PO),Radón RN , Radio RA, Torio TH y Uranio (U) deberán ser a razón de un desprendimiento de estas partículas Alpha superando y/o atravesando la barrera de potencial que se encuentran en este átomo.

Para su mejor visualización, si se representa las desintegraciones Alpha de los átomos pesados del PO, RN, RA, TH y U seria de la siguiente manera (grafico 10):

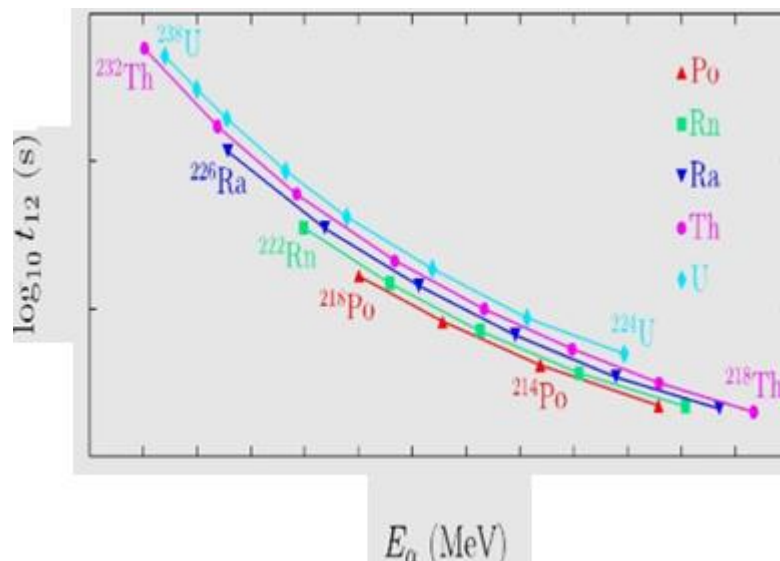


Gráfico 10: imagen recuperada de <https://desayunoconfotones.org/2014/06/05/el-efecto-tunel-la-desintegracion-alfa-y-los-origenes-de-la-mecanica-cuantica/> grafico donde se muestra la vida media de desintegración de algunos elementos químicos radioactivos .

Esta grafica nos muestra específicamente de manera clara como dependiendo de la energía con la que esta partícula Alpha es irradiada será inversamente proporcional a la barrera de potencial que deberá traspasar , siendo más específico si la energía con la cual es irradiada es mayor, la barrera de potencial que traspaso será de menor tamaño ,propiciando más fácilmente su traspaso como pasa en el uranio que es más propenso a irradiar partículas por su cantidad grande de energía con la que es irradiada, por ello su vida media de radioactividad será mucho menor , por otro lado ,

también pasara con el átomo de polonio pero contrariamente las partículas salen despedidas del átomo con poca energía y con esto será más difícil su traspaso de la barrera de potencial , por ello su vida media será mucho mayor.

Pero si ahora si esto se analizaba de manera clásica, los resultados no coincidían con lo que mostraba los efectos que se encontraban en los laboratorios mostrándonos una discordancia de lo que se esperaba en el ámbito experimental, puesto que si escogemos por ejemplo un elemento como lo es el polonio 214 este siendo uno de los elementos más energéticos en expulsión de partículas Alpha alcanzando un umbral de casi 8 MeV de energía y lo exponemos en contra de la energía impuesta por las fuerzas nucleares fuertes del átomo de polonio 214 quedaría ilustrado en el siguiente grafico (11):

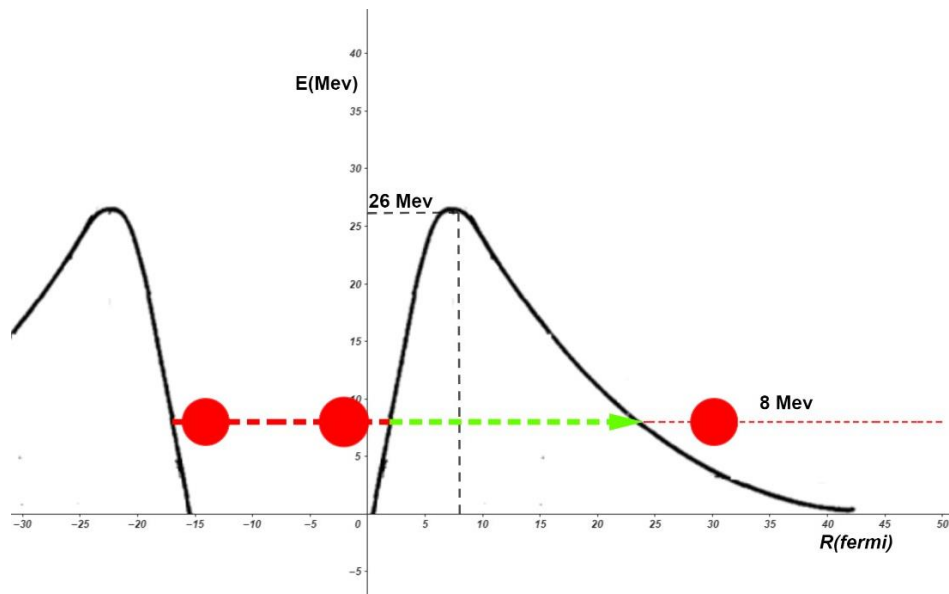


Gráfico 11 : diagrama del movimiento de una partícula Alpha en el átomo de polonio , tomando en cuentas las fuerzas nucleares fuertes que no permiten el escape de la partícula.

El grafico (11) nos muestra la partícula Alpha encerrada adentro del átomo de polonio 214 de los confines del área de 10 fermis aproximadamente ($1 \text{ fermi} = 6.188 \times 10^{-19} \text{ metros}$) donde las fuerzas nucleares fuertes pueden alcanzar hasta 26 MeV de magnitud adentro de este átomo y pues como vemos en el mundo clásico de el grafico (7), tan solo rebotaría infinitamente entra las paredes sin mostrar la radiación Alpha.

Esta discordancia duro varios años hasta un pensadores se interesó por dar explicación de este fenómeno del cual la partícula Alpha es capaz de escapar del pozo de potencial, fue el físico ruso

George Gamow el cual, al dar explicación a este, (“*Zeitschrift für Physik* “, *Sobre la teoría cuántica de los núcleos atómicos* , 1928, pág. 204-212), basándose en conjeturas realizadas en el contexto cuántico, de manera que retomaría la formalización que realiza Erwin Schrodinger en su ecuación de onda independiente del tiempo que principalmente esta describe el movimiento de una partícula.

El Propuso la solución primeramente del problema de una partícula regida por la ecuación de onda y esta al chocar traspasa la barrera de potencial por sus propiedades ondulatorias. Que el compararía más adelante, para abordar el problema del helio, con una partícula, pero atrapada en un pozo de potencial no infinitas, (ya que la diferencia del potencial de las paredes y la energía de la partícula no es tan grande para considerarse infinita por la gran energía que poseen esta partícula Alpha) y su posterior penetración de la barrera. Con esto buscaba hallar la dependencia de la constante de desintegración de la energía de la partícula y darle una analogía a lo que ocurría en los respectivos núcleos masivos/pesados con base de las interpretaciones de Erwin Schrodinger.

Esto concluyo, basado en las investigaciones las relaciones preexistentes sobre el logaritmo de la constante de las familias de desintegración halladas experimentalmente ya hechas con anterioridad gracias a Hans Geiger y la constante hallada con la solución teórica realizada por él. La observación de una concordancia entre estos dos valores (por lo menos cercanos en magnitud).El explícitamente mencionó que :

“Es conocido que si dibujamos el logaritmo de la constante de desintegración frente a la energía de la partícula emitida, todos los puntos de una familia radiactiva definida caen en una línea recta. Para diferentes familias obtenemos diferentes líneas paralelas. La fórmula empírica reza:

$$\lg \lambda = \text{Const} + bE,$$

donde b es una constante que es común a todas las familias radiactivas.

El valor experimental de b (calculado de Ra-A y Ra) es:

$$b_{exp} = 1.02 * 10^{+7},$$

Si usamos el valor de la energía de Ra-A en nuestra fórmula obtenemos

$$b_{exp} = 0.7 * 10^{+7},$$

El acuerdo en el orden de magnitud muestra que las suposiciones básicas de nuestra teoría deben ser correctas.” . (George Gamow, (1928) (pág. 212)).

Entonces, gracias a esta similitud de los valores de energía teóricos hallados gracias a la formalización de la ecuación de Schrödinger y los valores experimentales a razón de la constante

de desintegración para el átomo pesado utilizado, se muestra que en efecto lo que ocurre en esta desintegración Alpha de átomos pesados es el efecto túnel cuántico.

3.1.4 Traspaso de la pared de potencial

En este apartado se analizará cual es el debido tratamiento acorde al fenómeno del efecto túnel, que observando matemáticamente propicia la penetración de la barrera de potencial de una partícula, que interacciona con un potencial como se ilustra en la (grafica 12).

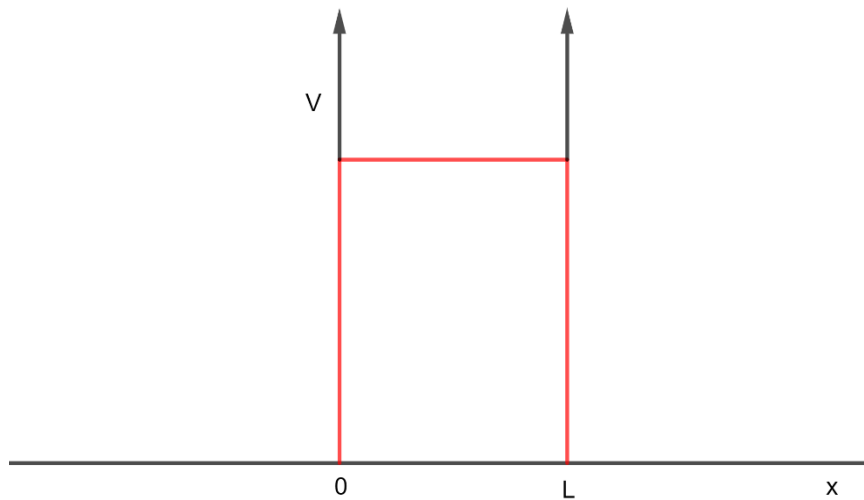


Gráfico 12. Diagrama donde se evidencia una barrera potencial con respecto a una posición(X)

se iniciará analizando las condiciones que muestra este modelo (que es análogo al de la radiación Alpha de George Gamow), surgiendo así tres diferentes áreas de interés:

$$V(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ V_0, & 0 < x < l \\ 0, & x > l \end{cases}$$

Donde (l) será la longitud o el grosor que tiene la barrera de potencial, si se observa de manera clásica la partícula al tener una energía menor al del potencial descrito le será imposible atravesar esta barrera de potencial como lo vimos en apartados anteriores.

Para dar solución se utilizará la ecuación de Schrodinger independiente del tiempo que se utiliza para desarrollar cálculos en movimientos de partículas.

Ahora en este caso se reduciría a:

$$\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} + \frac{2mE}{\hbar^2} \varphi(x) = 0$$

Pero como en este caso hay tres áreas que son permitidas, cada una tendrá una función diferente $\varphi_1(x)$ $\varphi_2(x)$ $\varphi_3(x)$ y análogamente cada una tendrá una solución diferente, y las ecuaciones que pueden satisfacer a cada una de estas, están denotadas de la siguiente manera:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} + \frac{2mE}{\hbar^2} \varphi_1(x) = 0, & x < 0 \\ \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} - \frac{2m(V_0 - E)}{\hbar^2} \varphi_2(x) = 0, & 0 \leq x \leq l \\ \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} + \frac{2mE}{\hbar^2} \varphi_3(x) = 0, & x \geq l \end{cases}$$

Y las soluciones que satisfacen consecuentemente a cada una de estas deberá ser de la siguiente forma:

$$\begin{cases} \varphi_1(x) = Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x}, & x < 0 \\ \varphi_2(x) = Ae^{ik_2x} + Be^{-ik_2x}, & 0 \leq x \leq l \\ \varphi_3(x) = Ae^{ik_1x}, & x \geq l \end{cases}$$

para simplicidad se tomara $k_1 = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$ y $k_2 = \sqrt{\frac{2m(V_0 - E)}{\hbar^2}}$

Para facilidad de este trabajo, nos enfocaremos en la solución del área ($x > l$), puesto que es la solución que permite el traspaso de la partícula del área prohibida clásicamente, su solución será la siguiente:

$$\psi(x, t) = \frac{2k_1 k_2 e^{-ik_1 x}}{2k_1 k_2 \cosh(k_2 l) - i(k_1^2 - k_2^2) \sinh(k_2 l)} Ae^{ik_1 x} \quad \text{para } x \geq l$$

En este caso, es fácil evidenciar que para la solución no se encuentra delimitada por algún argumento que muestre algún carácter discreto de la energía. siendo el caso, está la energía podrá

tomar cualquier valor y generar un espectro continuo de energía, luego con esta solución y el tratamiento matemático pertinente podemos encontrar el flujo de las partículas (J) siendo esta una densidad en la cual la cantidad de partículas interactúan con el obstáculo a tratar, y con ello poder hallar la cantidad de partículas que podrán pasar al otro lado de la barrera con el coeficiente de transmisión siendo esta como la relación entre el flujo o densidad de corriente de la onda transmitida y el flujo de la onda incidente. Se utiliza habitualmente para obtener la probabilidad de que una partícula pase a través de una barrera por efecto túnel. esta se encuentra denotado por la siguiente ecuación:

$$j_{trans} = \frac{4k_1^2 k_2^2}{4k_1^2 k_2^2 (k_1 l) + (k_1^2 - k_2^2)(k_1 l)} |A|^2 \frac{\hbar k_1}{m}$$

que simplificando queda :

$$= \frac{4k_1^2 k_2^2}{4k_1^2 k_2^2 + (k_1^2 + k_2^2)(k_1 l)} |A|^2 \frac{\hbar k_1}{m}$$

Al observar el resultado es fácil notar que el valor es distinto de cero, entonces significa que existe una penetración de la barrera de potencial y es casi de inmediato que se calcula el coeficiente de transmisión a partir de esta:

$$T = \frac{4k_1^2 k_2^2}{4k_1^2 k_2^2 + (k_1^2 + k_2^2)(k_1 l)}$$

que reemplazando respectivamente k_1 y k_2 quedará :

$$T = \frac{4E(V_0 - E)}{4E(V_0 - E) + V_0^2 \left(\frac{\sqrt{2m(V_0 - E)l}}{\hbar} \right)}$$

Con este valor del coeficiente nos mostrará cual es la cantidad de partículas que son capaces de atravesar esta barrera de potencial.

3.1.5 El efecto túnel y la energía

Con esta parición de este fenómeno, se podría preguntar ¿Qué pasa con este fenómeno con respecto a la energía?. En este escenario cuántico, muchos podríamos decir o llevar a concluir que como este fenómeno se manifiesta cuando se analiza el movimiento de las partículas encerradas

en un pozo de potencial que hacen parte del mundo microscópico(ámbito cuántico) y como ya se mencionó antes por sus propiedades propias esta energía debería estar manifestándose de forma discretizada y solo arrojar valores cuantizados que analíticamente y experimentalmente fueron demostrados que en todas sus interacciones deberían ser discretos ,pero nos lleva a preguntar ¿en verdad la energía en la mecánica cuántica será discreta siempre?.

En respuesta a esta pregunta. Todos los fenómenos ocurridos en la visión microscópica deberán mostrar este carácter discreto de la energía en principio, que en experimentaciones antes mostradas como la radiación del cuerpo negro se demuestra su veracidad (3.1.3 Pozo de potencial infinito), pero por otro lado aparece la paradoja que nos menciona el efecto túnel en la solución, puesto que nos muestra el traspaso de la barrera de potencial que nos muestra que esta energía puede tomar cualquier energía de un espectro continuo de energía según las soluciones analíticas mostradas en el apartado (3.1.5 Traspaso de la pared de potencial).

Entonces, recopilando todas las ideas, el fenómeno del efecto túnel es un suceso puramente cuántico que ocurre en partículas denotadas pesadas (uranio, torio, etc.) gracias a partículas de helio de las cuales se conforman estos átomos que se encuentran sumergidas en el pozo de potencial infinito , sucediendo solamente cuando estos átomos de helio poseen una energía negativa por debajo del umbral del átomo nos permite ver observar la naturaleza discreta de la energía como lo mencionamos anteriormente y mientras permanezca sumergido no cambiará este carácter discreto, como lo muestra el siguiente gráfico (13) :

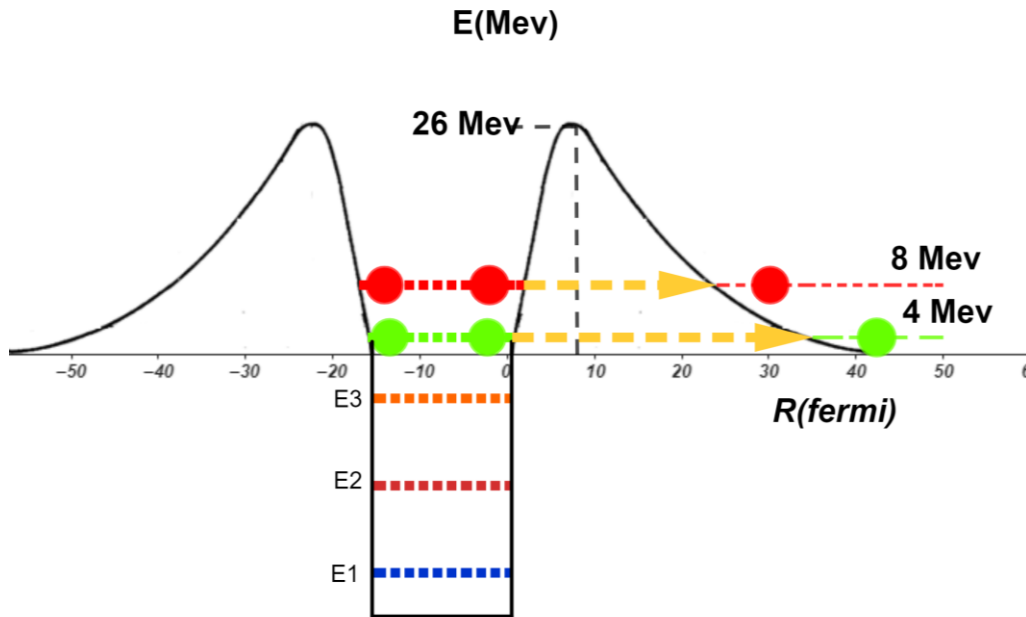


Gráfico 13. Diagrama teórico en la cual se evidencia dos momentos en el movimiento de una partícula Alpha : uno, cuando se encuentra encerrado en el pozo de potencial con energía negativa por debajo del umbral del átomo (E_1 , E_2 y E_3 respectivamente) y, otro, cuando posee energía positiva permitiendo el escape de la barrera debido al efecto túnel tomando cualquier valor de un espectro continuo de energía.

Hasta ahí las predicciones cuánticas discretas arrojan resultados meramente congruentes y esperados, gracias a las conclusiones del mundo microscópico que por años era la aceptada tan solo mostrándonos el carácter discreto de la energía y con ello podremos evidenciar de forma adecuada los resultados experimentales conforme a la interacción de la energía que posee la partícula Alpha cuando tiene energías negativas.

Pero por otra parte si la partícula está por encima de esta cantidad de energía positiva esta barrera de potencial cambiará a una barrera de potencial escalón, y como lo vimos en los tratamientos este podrá tomar un valor de la energía de un espectro continuo cambiando este carácter discreto. Este fenómeno particular nos permite ver una diferente forma que puede tomar la energía en un montaje experimental, siendo positivamente propicio a análisis enfocados en el modo que interactúa la energía con los diferentes sistemas que existen en nuestra naturaleza.

Al suceder esto nos abre la visión a que los fenómenos cuánticos no necesariamente tienen que darse por echo su mera discretización, por el simple hecho de estar en el ámbito microscópico y

estar condicionada desde un principio, sin permitir analizar posibilidades diferentes a la visión aceptada coloquialmente (discreto) ocasionando un obstáculo en la explicación de los efectos de fenómenos de la misma problemática que este.

3.1.6 Aspecto pedagógico y el efecto túnel

En gran parte de las nuevas formas en que se producen y se investigan métodos de enseñanza de la física moderna, en torno a la mecánica cuántica, estas toman profundizaciones diferentes en aspectos importantes y conceptualmente robustos en el apropiado entendimiento de este ámbito cuántico como lo son el comportamiento dual de las partículas, la cuantización de la energía, entre muchos otros que se soportan en importantes experimentos que muestran estos factores como lo son el realizado por Thomas Young de la doble rendija, el efecto fotoeléctrico y muchos más, que como lo mencionan los artículos ya abordados en apartados anteriores en torno a la enseñanza de mecánica cuántica son pertinentes y muy necesarios estos abordamientos de estos fenómenos para la interpretación de este concepto, con ello llevando a la creación metodologías basadas en estas, pero desafortunadamente estas siempre están encaminados hacia una premisa que nos limita la perspectiva completa de esta física que son tan importantes en los tiempos actuales.

Sin embargo, el sentido de este trabajo no es desmeritar los arduos trabajos realizados por pedagogos y científicos durante los últimos años en esta área, si no, que muchos de estos no satisfacen o no llevan a cabo un abordamiento completo de todas las consecuencias de estos fenómenos cuánticos y se limitan a abordar el ámbito discreto y que no es totalmente correcto.

Con esto, generando la misma problemática que ocurrió en el surgimiento de los fenómenos cuánticos que bajo premisas clásicas se elaboró un extenuante e infructuoso trabajo de intentar explicar desde conceptos clásicos generando un cierre y sesgo investigativo, y pues como vimos en esta transición es un error que es muy difícil de desarraigar de los científicos e investigadores.

La implementación de un fenómeno como lo es el efecto túnel, con una visión experimental como teórica de la radiación Alpha es un mejor método puesto que nos permite ver el carácter continuo de la mecánica cuántica. De la misma forma se puede realizar un paralelo entre dos instantes, como lo es la solución de reflexión de la partícula Alpha, mostrándonos el carácter discreto de la energía, cuando está la partícula posee energía negativa y se encuentra atrapada en las paredes de potencial infinito, como también el carácter continuo de la energía, cuando la partícula posee

energía positiva que permite atravesar la barrera de potencial. Llevando a que las nuevas metodologías pedagógicas no queden sesgadas tan solo en este aspecto discreto y que los estudiantes que se desean encaminar en la interpretación de la mecánica cuántica no queden vulnerables a realizar conjeturas en su pensamiento condicionado y puedan lograr una interpretación más completa de este concepto cuántico de energía.

De la misma forma, hay otras ventajas, ya que al ser un fenómeno que puede replicarse en un montaje experimental, evita que tan solo se llegue a conjeturas teóricas formales (ecuaciones) del carácter continuo de la energía y llevar a no entender de manera adecuada este concepto por parte de los estudiantes. De la misma manera, llevar a concluir que dependiendo si se observa microscópica o macroscópicamente tendrán predispuestos la continuidad o la discretización de la energía y como ya vimos es totalmente incorrecto.

Conclusión

Se logró realizar un acercamiento del concepto de energía continua a partir de la introducción de los conceptos de vis viva y las formas de energía, gracias a los experimentos en los que se evidencia este fenómeno continuo clásico.

Se logró evidenciar como surge el cambio conceptual a partir del concepto de energía continua hacia una conceptualización de la energía discreta a partir del análisis de experimentos que propician el entendimiento de la energía discreta.

Se observo los alcances pedagógicos que poseen las teorías abordadas comúnmente en la enseñanza de la física moderna en el ámbito cuántico puesto que normalmente por su complejidad matemática y su poco factor intuitivo generan un problema en el ámbito de la enseñanza así restringiendo el entendimiento en el estudiantado, así de paso haciendo relucir lo anticuado que han quedado estas metodologías en comparación de las investigaciones de la física moderna.

Se mostro la necesidad para la interpretación por parte del estudiantado el uso de metodologías que no se basen en la interpretación matemática, si no por el contrario una más que utilice fenómenos experimentales que puedan satisfacer en un parámetro más general los conceptos que implican la mecánica cuántica.

Al analizar el fenómeno del efecto túnel, siendo un fenómeno contemporáneo facilita la

interpretación de la energía, ya que este aborda una visión diferente a la habitual . Puesto que, en los experimentos en los que se desenvuelve el concepto de energía, tan solo se abarca la visión cuántica, llevando a la visión cuántica, queda rezagada y no ser tomada por parte de la enseñanza moderna de la energía.

REFERENCIAS

- Lev Davidovich Landau ,E. M. Lifshitz.(1970). Física teórica. mecánica. (segunda edición), academia de ciencias, URSS. Barcelona.
- Gottfried Leibniz . (1720) Monadologia .primera edición.
- Leslie E. Ballentine. Quantum mechanics (1998), world scientific publishing co. Pte.Ltd
- Gamow, G. (zur quantentheorie des atomkernes), Zeitschrift für Physik A Hadrons and nuclei, Vol 51, (1928) (204-212)
- Greca, Iliana m.,2002 construyendo significados en mecánica cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario. Instituto de Física, Universidad Federal do Rio Grande do Sul
- Glaucio Cohen F. Pantoja, Marco Antonio Moreira, Victoria Elnecave Herscovitz.2013. La enseñanza de conceptos fundamentales de Mecánica Cuántica a alumnos de graduación en Física, Programa de posgrado en Enseñanza de la Física de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil
- Greca, I. M.; Moreira, M. A.; Herscovitz, V.E (2001). Uma proposta para o ensino de mecânica quântica. Revista Brasileira de Ensino de Física.
- Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas. Revista electrónica de investigación en educación en ciencias (REIEC),4(1),40-48
- Albeiro Rubio Pinto , 2012. unidad didáctica para la enseñanza del concepto de energía. Universidad nacional de Colombia
- Gerald & Brush Stephen. (1978). Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas. Editorial Reverté S.A.
- Juan Ignacio Pozo Municio. (1998). Aprender y Enseñar Ciencia: Del Conocimiento Cotidiano al conocimiento científico. Ediciones moratas.
- Russell y Greenberg. Daniel. (2008). Turning Learning Right Side Up: Putting Education Back On Track. Education
- Gonzales, Fabio. (1991). Evolución Histórica del Concepto Energía. Seminario Taller, Evolución y Perspectivas del Sector Energético Colombiano. Centro de Documentación e Información Pontificia Universidad Javeriana.
- Taton, Rene. (1973). Historia general de las ciencias, Vol. 3, Barcelona.
- G. Falk, F. Herrmann, and G. Bruno Schmid, 1983. Energy forms or energy carriers?. Institut für

Didaktik der Physik, Universität Karlsruhe, Kaiserstrasse 12, 7500 Karlsruhe 1, West
Germany

-E. Whittaker (1989). A history of the theories of aether & electricity, Nueva York.