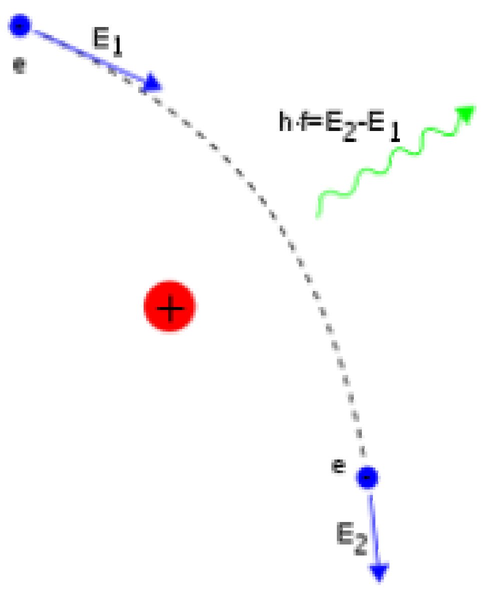
ENERGÍA DE UNA PARTÍCULA

Martín LÓPEZ GARCÍA

El estudio de la mecánica de fluidos está regido por un principio de esencial importancia, el cual nos determina que la energía total de un fluido es constante, de tal forma la suma de las energías de un fluido en un punto es igual a la suma de las energías del mismo fluido en otro punto, a este principio se le conoce con el nombre del principio de Bernoulli. Las principales energías que intervienen en los fluidos son la energía derivada de la presión, la energía cinética y la energía potencial, quedando las demás energías, en la mayoría de los análisis, con aportaciones menores. Una de las consecuencias más importantes del principio de Bernoulli es: tomando al aire como un fluido, la determinación de las fuerzas de sustentación de las alas de los aviones y que mantienen a estos volando. En este artículo se deduce de una manera natural, de acuerdo con los resultados derivados del análisis del movimiento vibratorio, que las partículas siguen una forma análoga del principio de Bernoulli, teniendo a la suma de sus energías como una constante y por lo tanto la suma de las energías de una partícula en un punto cualquiera es igual a la suma de las energías para la misma partícula en otro punto.

Existe un fenómeno físico denominado **"Bremsstrahlung"** (palabra de origen alemán que significa radiación de frenado, descubierto por Nicola Tesla entre 1888 y 1897) el cual resulta de la desaceleración de una partícula cargada, como puede ser un electrón cuando es desviada por otra partícula cargada, como por ejemplo un núcleo atómico, expresándose la energía irradiada de la siguiente forma:

$$hf = E_2 - E_1$$



Esta expresión tiene una semejanza con la fórmula encontrada para el movimiento vibratorio de una partícula libre, que es la siguiente:

$$hf = mc^2 - mv^2$$

La idea fundamental del movimiento vibratorio es precisamente el frenado de la energía para convertirla en partícula con masa y la cual trata de mantener en todo momento la velocidad de la luz, lo cual nos ayudo a resolver el problema de las velocidades con valores discretos para las partículas libres, por ese motivo el comportamiento de la partícula es como la de un resorte que se comprime en forma de triángulos generando con esto radiación que depende de la vibración (temperatura), podríamos sugerir entonces que la masa es energía comprimida y esa podríamos considerarla como una definición.

Se podría pensar que la expresión del movimiento vibratorio no concuerda con la realidad, ya que si se introduce la velocidad que mantiene un electrón alrededor del núcleo atómico, el resultado nos indicaría que la partícula se encuentra a gran temperatura, por lo mismo todo el átomo y esto no sería un resultado coherente, ya que interpretaríamos que el átomo se esta derritiendo, pero la expresión anterior solo indica lo que le sucedería a la partícula si se encontrará libre, es decir fuera de la estructura de un átomo y libre de la acción de campos gravitacionales, eléctricos, magnéticos, etc., por lo tanto un electrón en un átomo cede la mayor parte de su energía debido a la influencia de los campos a los que se ve sometido y por el spin que pueda tener, restándole con esto vibración (temperatura) a la partícula, pero una partícula libre viajando en el vacío debe tener gran velocidad para reducir su temperatura, de lo contrario si mantuviera una velocidad de los niveles atómicos, esto nos indicaría que la partícula se encontraría caliente.

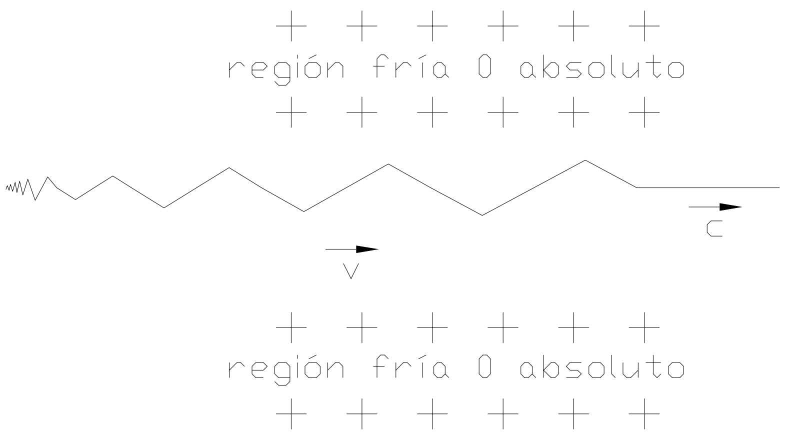
Entonces, si pretendiéramos frenar a una partícula, generaríamos calor, al igual que el calor generado en las balatas del sistema de frenado de un automóvil y de acuerdo con el movimiento vibratorio de las partículas libres, se podría obtener para el frenado de una partícula la siguiente expresión:

$$hf_1 = mc^2 - mv_1^{\ 2}$$
$$hf_2 = mc^2 - mv_2^{\ 2}$$
$$hf_2 - hf_1 = mc^2 - mv_2^{\ 2} - mc^2 + mv_1^2$$
$$h(f_2 - f_1) = mv_1^{\ 2} - mv_2^{\ 2}$$

Una partícula libre viajando a velocidades bajas se encuentra a elevada temperatura debido a su estado de compresión, de acuerdo con la sencilla conclusión:

$$mc^2 = hf + mv^2$$

La energía total que debe tener la partícula es $\mathbf{mc^2}$, la energía cinética tiene un valor pequeño a velocidades bajas, por tal motivo la mayor parte de la energía se mantiene en forma de vibración (temperatura) y al respecto, hablando de calor y temperatura, recordando una de las leyes de la termodinámica que explica que la transferencia de calor se efectúa del cuerpo o medio con mayor temperatura al de menor hasta conseguir un equilibrio térmico, podemos visualizar lo siguiente: si la vibración disminuye, la velocidad debe aumentar, es decir si la partícula libre atraviesa una región fría del espacio, debe manifestarse una transferencia de calor hasta lograr el equilibrio térmico de la partícula con el medio, por tal motivo la partícula deberá acelerar y por ilógico que parezca una partícula viajando a la velocidad de la luz se debe mantener a una temperatura del cero absoluto según nuestras deducciones, por tal motivo lo anterior sugiere que se construyan aceleradores de partículas usando medios fríos, tal vez este sea el motivo por el cual los superconductores, requieren de medios con temperaturas criogénicas para poder lograr menor resistencia al paso de los electrones y con esto lograr generar grandes campos magnéticos, los cuales son utilizados, en un caso específico, para la levitación magnética, que es usada exitosamente en el desarrollo de trenes que se desplazan a grandes velocidades, ya que no tocan los rieles, sino que permanecen suspendidos por levitación magnética, con lo cual no necesitan vencer a las fuerzas de fricción provocadas por el contacto con los rieles.



El proceso inverso requeriría del paso de una partícula libre por un medio caliente, entonces la partícula debería absorber calor y comenzar una mayor vibración, disminuyendo con esto su velocidad.

Remontándome a mi época de adolescencia, en aquel tiempo me preguntaba ¿qué le pasaría a un rayo de luz, si hipotéticamente lo pudiera dirigir hacia el centro del sol?, claro que para esto requeriría estar muy cercano a él, de ahí lo hipotético. Sería el rayo capaz de atravesar a la estrella o ¿qué le pasaría?, esos eran mis cuestionamientos, ahora la respuesta parece haberme llegado, de acuerdo con nuestras ecuaciones, el rayo de luz se comenzaría a frenar de forma vibratoria y se crearía un partícula másica, la cual se le identificaría de acuerdo a los niveles de vibración que tomará, el rayo de luz sería entonces absorbido por el sol en forma de partícula.

Los rayos emitidos por el sol y que llegan a nuestro planeta, al ser absorbidos por nuestro cuerpo, nos hacen sentir una sensación de elevación de temperatura, se manifiestan en forma de calor, probablemente lo que este sucediendo es que los impactos de la radiación con los átomos que forman nuestro cuerpo, provoquen un frenado en ellos y los hagan zigzaguear, haciendo vibrar tanto a nuestras moléculas como al mismo rayo, generando así calor. Si el impacto se da en una superficie con ciertas características, podríamos pensar que el rayo comenzará a zigzagear con una frecuencia que provocará que este se comporte como una partícula con masa, esto se podría deber a que las distancias atómicas de la superficie concordaran con las amplitudes que requiere el movimiento vibratorio para verse como partícula.

Ahora retomando el tema principal y volviendo a la ecuación que nos ha hecho divagar unos instantes:

$$mc^2 = hf + mv^2$$

¿Qué le sucedería a la partícula si es sometida a la acción de un campo gravitacional?, para introducir el efecto de este último en la ecuación se procede de la siguiente manera:

$$h = h_0 + v_{z0}t \pm \frac{1}{2}gt^2$$

Ecuación usada para la altura o profundidad. Si el origen coincide con el punto de partida, entonces **h = 0**

$$h = v_{z0}t \pm \frac{1}{2}gt^2$$

Para la velocidad:

$$v_z = v_{z0} \pm gt$$

Si el objeto tiene una velocidad inicial cero, entonces:

$$v_z = gt$$

Estas ecuaciones son utilizadas para un movimiento acelerado en caída libre por el efecto de un campo gravitacional, el signo negativo se usa cuando el objeto es lanzado en contra del campo gravitacional, es decir si aviento una pelota, piedra, etc., hacia arriba, entonces la gravedad desacelera al cuerpo con la consecuente disminución de velocidad, en el caso contrario se usa el signo más cuando arrojáramos una pelota, piedra, etc., en el sentido del campo gravitacional, por tal motivo el cuerpo sería acelerado con el consecuente aumento de velocidad.

Entonces una partícula que se encontrará sometida a la acción de un campo gravitacional sería acelerada y la ecuación del movimiento vibratorio se modificaría como sigue:

$$mc^2 = hf + m(v_{z0} + gt)^2$$

Estamos haciendo uso del caso en el que la partícula se encuentra acelerando en dirección hacia la fuente del campo gravitacional. Posteriormente se explicará porque se ha usado este caso.

Desarrollando:

$$mc^2 = hf + m(v_{z0}^2 + 2v_{z0}gt + g^2t^2)$$

$$mc^2 = hf + mv_{z0}^2 + 2mg(v_{z0}t + \frac{1}{2}gt^2)$$

Si la partícula desciende hasta unirse a la fuente que produce el campo gravitacional, se tiene:

$$mc^2 = hf + mv_{z0}^2 + 2mgh$$

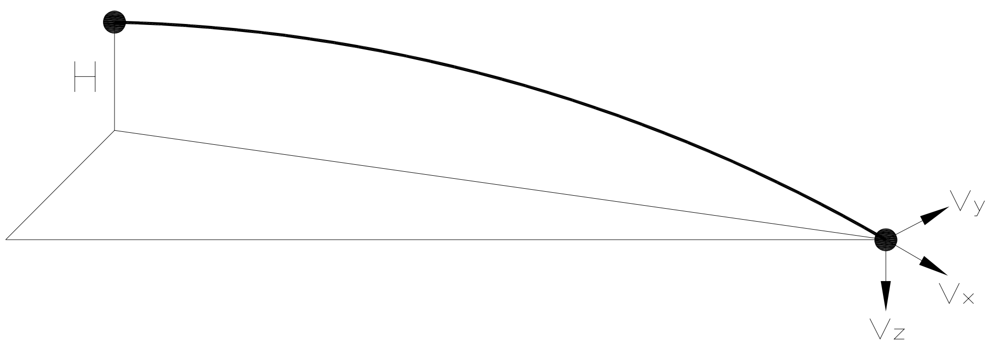
Cambiaremos h por H para no confundirla con la constante de Planck

$$mc^2 = hf + mv_{z0}^2 + 2mgH$$

Una partícula puede tener movimiento en cualquier dirección dentro de un espacio tridimensional por tal motivo:

$$\vec{v}_{(x,y,z)} = (v_x, v_y, v_z)$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$



$$mc^2 = hf + mv^2$$

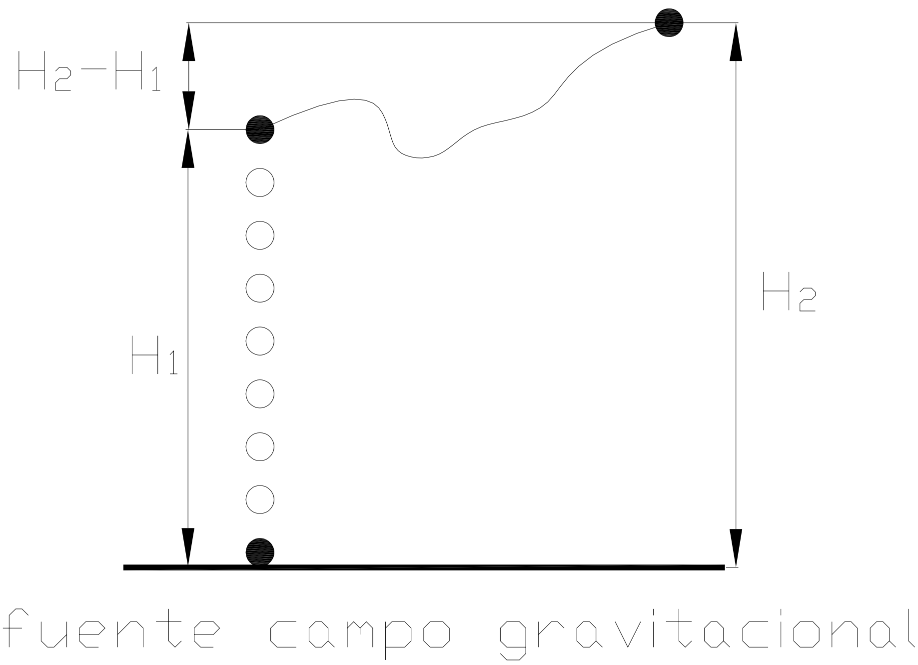
$$mc^2 = hf + m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)$$

$$mc^2 = hf + m(v_x^2 + v_y^2 + (v_{z0} + gt)^2)$$

$$mc^2 = hf + m(v_x^2 + v_y^2 + v_{z0}^2 + 2v_{z0}gt + g^2t^2)$$

$$mc^2 = hf + mv^2 + 2mgH$$

El tercer término corresponde a la energía potencial, pero en un múltiplo de 2, de acuerdo con la filosofía del movimiento vibratorio y se ha agregado a la ecuación en forma de sumando. Sabemos que una energía potencial por definición es el trabajo necesario para llevar a un objeto desde el punto de origen del campo gravitacional hasta una distancia separada de su centro "x", entonces, en este caso, la energía 2mgH, representa el trabajo necesario para despegar o mover una partícula desde la fuente del campo gravitatorio hasta el punto de su ubicación, es ese el motivo, por el cual en el desarrollo de la ecuación se uso el caso en el que la partícula va en dirección al campo gravitacional y se usa el valor que tendría la altura o en este caso la profundidad hasta donde debiera tocar la partícula la fuente gravitacional. Se puede también tomar niveles de referencia, en cuyo caso la energía potencial estará dada por el valor calculado mediante el uso de la diferencia de alturas.



De acuerdo con el resultado obtenido ante la presencia de un campo gravitacional para la energía de una partícula, pareciera que el comportamiento de ésta quisiera seguir la siguiente tendencia:

$$mc^2 = \sum_{i=1}^{n} E_i$$

Sospechando, de acuerdo a la forma en que se han dado las cosas y aunque en ninguno de mis análisis anteriores he encontrado un motivo para pensar que las partículas debieran mantener un giro sobre su propio eje, me refiero al famoso spin de las partículas, creo que si hubiera que tomarlo en cuenta, este sería el momento más adecuado, por tal motivo siguiendo la inercia de la ecuación podríamos decir que:

$$mc^2 = hf + mv^2 + 2mgH + E_{spin}$$

Pero, de acuerdo a la tendencia de la misma ecuación, la energía del spin debiera ser tomada de la siguiente forma:

$$mc^2 = hf + mv^2 + 2mgH + 2E_{spin}$$

De lo cual podríamos reescribir:

$$mc^2 = hf + 2\sum_{i=1}^{n} E_i$$

Entonces:

$$mc^2 = hf + mv^2 + 2mgH + 2E_{spin} + \ldots\ldots + 2E_n$$

En estos momentos se hace notorio que todas las ecuaciones de energía en sus extremos deben ser igual **mc²,** y ahora estamos en condiciones de explicar lo que sucedió con el análisis del primer artículo, para la ecuación de fuerzas que nos condujo a una ecuación de energías para el equilibrio de un átomo:

$$\left(\frac{q_e q_p}{4\pi\varepsilon_0 r^2} + G\frac{m_e m_p}{r^2}\right)\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{m_e v_e^2}{r} = 0$$

$$\left(\frac{q_e q_p}{4\pi\varepsilon_0 r} + G\frac{m_e m_p}{r}\right)\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) - m_e v_e^2 = 0$$

La ecuación en su extremo es concordante con el valor mc^2, pero el problema que tuvimos en ese momento, es que no la podíamos igualar a cero, la situación es que nos hacían falta energías, como se puede determinar ahora, pero de todas formas, el valor que se encontró para la disminución de la velocidad de giro del electrón sigue inalterable:

$$v_e = v_{e0}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Ya que cualquier valor de fuerzas absolutas debe ser agregado dentro del paréntesis afectado por la función: $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$ como se explicó en el artículo del movimiento vibratorio con la siguiente modificación:

$$\left(\frac{q_e q_p}{4\pi\varepsilon_0 r^2} + G\frac{m_e m_p}{r^2} + \ldots\ldots + F_{an}\right)\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{m_e v_e^2}{r} = 0$$

Y que se puede derivar en una ecuación para energías potenciales:

$$\left(\frac{q_e q_p}{4\pi\varepsilon_0 r} + G\frac{m_e m_p}{r} + ... + E_{pn}\right)\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) - m_e v_e^2 = 0$$

Como se puede ver las energías también dependen del factor $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$, incluso hasta la energía vibracional parece ser está dominada por el mismo término:

$$hf = mc^2(1 - \frac{v^2}{c^2})$$

Y de la cual hemos llegado hasta las deducciones importantes del presente capítulo.

El término $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$ nos indica que existen fuerzas y energías absolutas y a su vez fuerzas y energías dinámicas que dependen de la velocidad, aunque no se puede saber si se conocen todas las fuerzas y energías que existen en la naturaleza, pero si podríamos asegurar con un alto grado de precisión que cada una de ellas deben aparecer en pares, es decir si existe una fuerza nuclear, está debe tener una parte absoluta y otra parte dinámica, lo mismo debe suceder para una energía del spin, este debe tener una parte absoluta y otra dinámica, de esta manera si hubiéramos seguido está filosofía en el pasado únicamente hubiera sido necesario conocer las fuerzas o energías absolutas y automáticamente hubiéramos encontrado sus fuerzas dinámicas, por ejemplo para la fuerza eléctrica, solo hubiera sido necesario multiplicarla por este término y hubiéramos encontrado la fuerza magnética que corresponde a la parte dinámica del par, posteriormente los experimentos hubieran comprobado la deducción.

Para poder definir de forma completa la expresión:

$$mc^2 = hf + 2\sum_{i=1}^{n} E_i$$

Sería necesario descubrir todas las energías existentes en la naturaleza y por ejemplo aplicarla en el comportamiento de las partículas dentro de la estructura de los átomos, pero para otras aplicaciones donde están bien definidas las energías que actúan se puede completar la ecuación usando solo la cantidad necesaria de términos.

Si la energía total de una partícula es una constante y esa constante es igual a **mc^2**, entonces la partícula no reconoce el estado en que se encuentra o la posición, por tal motivo:

$$mc^2 = hf_i + 2\sum_{i=1, j=1}^{n} E_{ij}$$

$$mc^2 = hf_1 + mv_1^2 + 2mgH_1 + 2E_{1spin} + ... + 2E_{1n}$$

$$mc^2 = hf_2 + mv_2^2 + 2mgH_2 + 2E_{2spin} + ... + 2E_{2n}$$

$$hf_1 + mv_1^2 + 2mgH_1 + 2E_{1spin} + .. + 2E_{1n} = hf_2 + mv_2^2 + 2mgH_2 + 2E_{2spin} + .. + 2E_{2n}$$

Que podría describir por analogía con el principio de Bernoulli la energía de una partícula en cualquier estado y posición.

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + H = cons\tan te$$

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + H_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + H_2$$

El principio de Bernoulli es la parte fundamental de la mecánica de fluidos y en este caso, en la ecuación que se presenta solo se están representando las energías que normalmente proporcionan la mayor aportación como son la energía debida a la presión, la energía cinética y la energía potencial, pero en un estudio más exacto se deben agregar la totalidad de las energías, incluso aspectos termodinámicos como entalpías y energías internas.

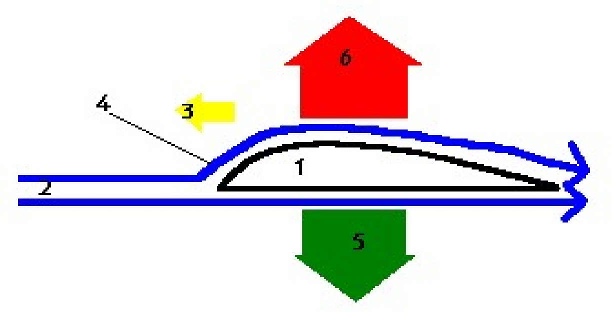
Dentro de las aplicaciones del principio de Bernoulli encontramos el cálculo de la potencia de las bombas para mover fluidos como: agua, derivados del petróleo, etc., donde es necesario determinar las presiones y los gastos que se requieren, para lo cual se agregan a la ecuación las energías que se generan por la pérdidas de fricción en las tuberías, pérdidas por accesorios (válvulas, codos, reducciones, etc.) y la energía requerida de la bomba.

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + H_1 + \sum H_{bomba} - \sum H_{pérdidas} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + H_2$$

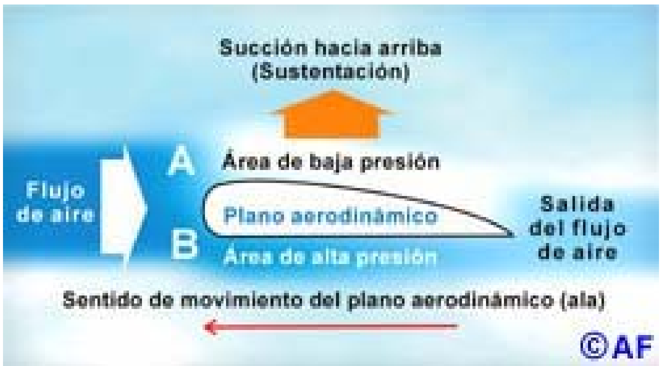
Normalmente en vez de energías se simplifican los términos, dividiéndolos entre la densidad, la gravedad y el volumen para dejarlo en alturas, de ahí que comúnmente se hable de la **H** de la bomba y no de la potencia o energía de la misma.

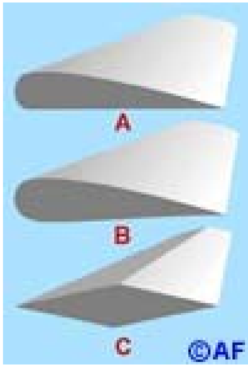
Una de las aplicaciones más relevantes de este principio, es el cálculo de la fuerza de sustentación de las alas de un avión, en este caso solo intervienen los siguientes términos:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g}$$



Esquema de sustentación





$$P_2 = P_1 + \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2)$$

1. Corte de ala visto de costado. Del lado izquierdo apreciamos el borde de ataque, este es redondeado. A la derecha esta el borde de salida y este es afilado.

2. Corrientes de aire.

3. Dirección de vuelo.

4. Corrientes de aire: El aire corre mas rápido sobre un ala, o plano aerodinámico, que debajo de ella. Esto se debe a que la superficie curva del plano aerodinámico es mas larga (del borde de ataque al de salida) que la inferior. El aire que corre sobre el ala tiene que viajar una distancia mayor que el aire que corre por debajo, por lo que su velocidad debe ser mayor.

5. Peso.

6. Fuerza de sustentación: La presión del aire disminuye con la velocidad. Al pasar sobre el ala el aire se mueve más rápido y tiene menos presión que al pasar por debajo. Esta diferencia tira del ala hacia arriba creando la fuerza de sustentación que permite a la nave elevarse.

Existen infinidad de aplicaciones para el principio de Bernoulli, nunca acabaríamos si pretendiéramos enunciar todas, incluso no es el motivo de fondo de las explicaciones de este libro, aunque se creyó prudente mencionar estos dos ejemplos anteriores.

Volviendo al tema que nos interesa de la energía de una partícula:

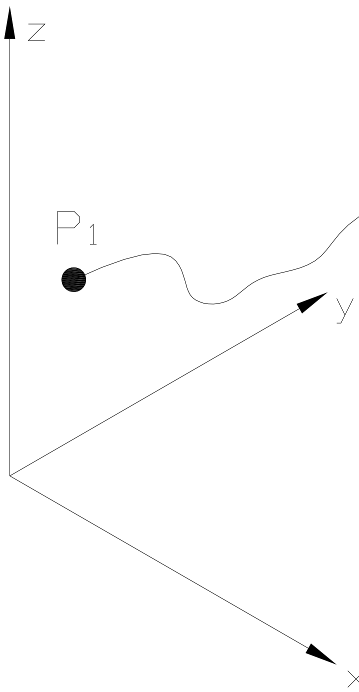
$$mc^2 = hf_i + 2\sum_{i=1,j=1}^{n} E_{ij}$$

$$hf_1 + mv_1^2 + 2mgH_1 + 2E_{1spin} + .. + 2E_{1n} = hf_2 + mv_2^2 + 2mgH_2 + 2E_{2spin} + .. + 2E_{2n}$$

La semejanza que guarda con el principio de Bernoulli es asombrosa y se ha llegado a ella de forma natural, nunca se pensó en el principio de Bernoulli para comenzar a construir la ecuación, simplemente su resultando es concordante y análogo, de tal forma esperamos que las aplicaciones sean productivas, ya que si el principio de Bernoulli nos ayudo a elevar aviones, esperaríamos que este principio, de ser válido, nos ayude a realizar cosas más sorprendentes.

Definitivamente, si se realizará un análisis más profundo y detallado, este último principio de la energía de una partícula debiera absorber al citado principio de Bernoulli, ya que un fluido está compuesto de átomos y estos a su vez de partículas, por tal motivo debe poder expresar con la adición de más variables y en un sentido más complejo el movimiento de los fluidos.

Esquemáticamente para ejemplificar lo que nos representa el principio de la energía total de una partícula, podríamos describir la trayectoria de una partícula desde un punto P1 hasta un punto P2 como se muestra en la figura:



Ahora para probar la potencia de la ecuación le haremos algunas pruebas, de tal forma imaginemos una partícula que se desplaza bajo la influencia de un campo gravitacional, entonces su representación queda de la siguiente forma:

$$mc^2 = hf_1 + mv_1^2 + 2mgH_1 + 2E_{1spin} + ... + 2E_{1n}$$
$$mc^2 = hf_{21} + mv_2^2 + 2mgH_2 + 2E_{2spin} + ... + 2E_{2n}$$

Pero si la partícula alcanza la velocidad de la luz, entonces todas las demás energías automáticamente se deberán hacer cero, es decir no hay vibración, un resultado lógico, de acuerdo con el movimiento vibratorio, tampoco puede existir el spin, ya que a la velocidad de la luz, la partícula no puede tener ningún otro movimiento más que el desplazamiento, giros no son permitidos (el vector resultante de la velocidad de la partícula rebasaría la velocidad de la luz), otro tipo de energías que tal vez desconocemos se deben hacer cero también, pero la energía que no podemos eliminar es la originada por el campo gravitacional, entonces algo debe pasar con la partícula a esta velocidad, analicemos:

$$mc^2 = mv_1^2 + 2mgH_1$$

$$mc^2 = mv_2^2 + 2mgH_2$$

Generalizando:

$$mc^2 = mv^2 + 2mgH$$

Nuevamente, no se puede dar el valor de **c** a la velocidad, ya que el campo gravitacional tiene una energía definida y no es igual a cero, por tal motivo algo le debe estar pasando a la partícula que viaja a la velocidad de la luz.

Simplificando la ecuación se puede eliminar la masa, de lo cual:

$$c^2 = v^2 + 2gH$$

Por tal motivo podemos despejar a la sospechosa velocidad

$$v^2 = c^2 - 2gH$$

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

Ya que la gravedad es igual a:

$$g = G\frac{M}{r^2}$$

Y

$$H = r$$

Podemos reescribir la ecuación como sigue:

$$v = c\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$

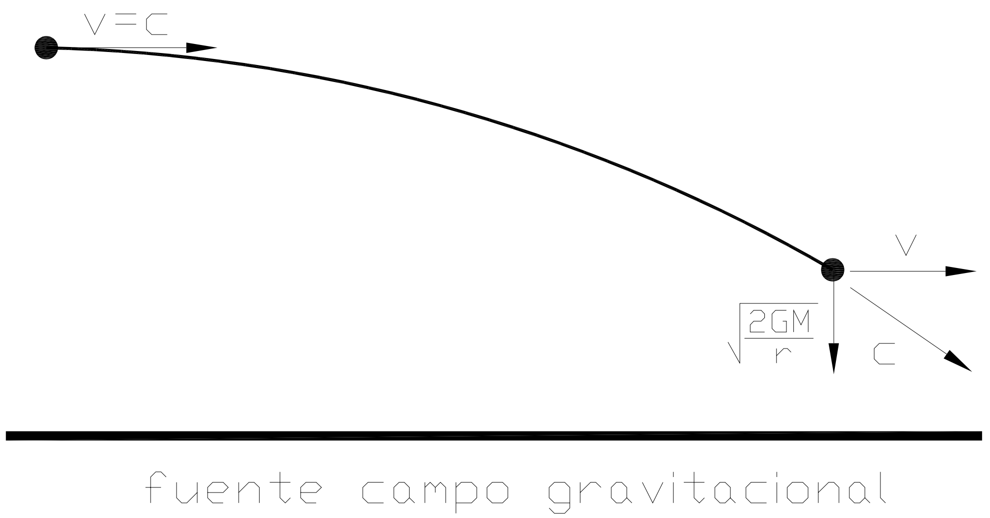
De la cual podríamos concluir que el tiempo:

$$t = t_0 \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$

Pero el tiempo no es el motivo de nuestra discusión, aunque se ha colado de manera sorpresiva dándonos a entender que la teoría general de la relatividad apoya nuestro análisis, ya que este resultado es el mismo de la dilatación del tiempo de forma gravitacional mostrado en la famosa teoría.

Retomando el problema de la velocidad, solo podemos pensar que una partícula viajando a la velocidad de la luz, que incluso debe ser una partícula muy semejante a un fotón o un fotón mismo, debe desviarse por la acción del campo gravitacional para poder mostrar un comportamiento como el encontrado:

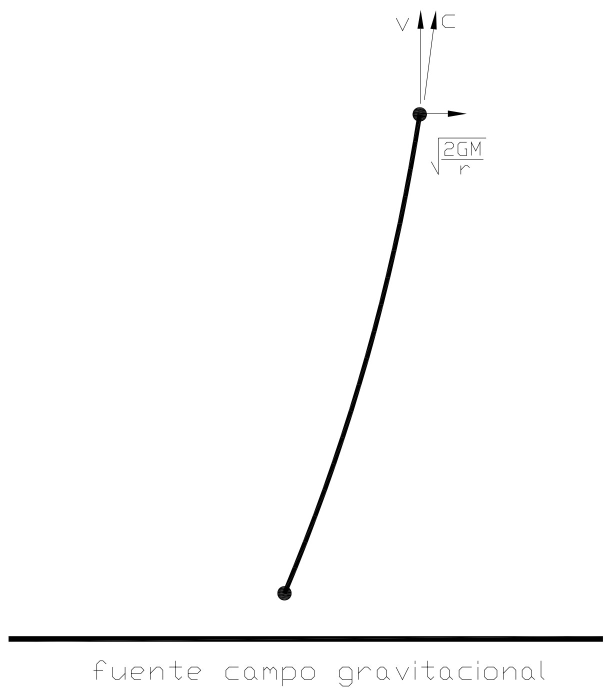
$$v = c \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$



Nuevamente parece ser que la teoría general de la relatividad desea impulsar nuestras conclusiones, está vez el planteamiento nos lleva a visualizar una aparente atracción de una partícula viajando a la velocidad de la luz por un campo gravitacional, aquí no es necesario pensar si la partícula carece de masa o no, todo es cuestión de energías y nada más.

$$mc^2 = mv^2 + 2mgH$$

Otro ejemplo muy similar sería si emitimos un rayo de luz desde la superficie de la tierra de forma vertical (paralelo al campo gravitacional, pero en sentido opuesto).



El rayo de luz no puede disminuir su velocidad **c**, por tal motivo busca un camino para mantener esa velocidad y abandona la tierra con una trayectoria parabólica, de acuerdo con:

$$v = c\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$

En el primer ejemplo, la velocidad representa a la velocidad en el eje x, ya que la trayectoria propuesta es la única trayectoria que podría seguir una partícula viajando a la velocidad de la luz bajo la influencia de un campo gravitacional parecido al que provocaría una masa esférica, como podría ser un planeta y que muestra un movimiento a seguir como el mostrado en la figura que se presento para este caso.

$$v_x = c\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$

En el segundo ejemplo la velocidad representa a una velocidad en y:

$$v_y = c\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$

Después de lo anterior mostrado, haremos notorio que humildemente la ecuación del movimiento vibratorio se las ha apañado para darnos una vez más resultados satisfactorios, ya que de ella se ha derivado todo, desde hace un buen rato en el transcurso de este libro, parece ser que busca se le otorgue algún grado de credibilidad consiguiendo una palomita más.

$$hf = mc^2(1 - \frac{v^2}{c^2})$$

En la teoría de la relatividad (especial y general) se maneja el tema del tiempo como una de las consecuencias de mayor importancia de la misma, para entender mejor el significado del tiempo es necesario entender que el tiempo es un concepto ligado a la libertad de movimiento, es decir, los relojes de manecillas miden el tiempo de acuerdo al movimiento circular de estás, el cual para estos relojes está determinado por la velocidad angular de las manecillas, por tal motivo si un artefacto de este tipo disminuyera o incrementara su velocidad angular, podríamos pensar que algo le sucedió al tiempo.

Un reloj de extremada exactitud ha sufrido un atraso, su dueño se percata del hecho y decide llevarlo a reparación, para lo cual busca al mejor relojero habido y por haber del planeta, este relojero que debe contar con una experiencia y capacidad impresionante, pasado un tiempo ha sido localizado. Una vez enterado del problema el cirujano del tiempo decide revisar el artefacto, pero antes emite sus comentarios, expresando lo siguiente: Debido a lo preciso de este reloj, pueden ser dos causas las que han provocado su atraso; una de ellas por la cual las manecillas del reloj pudieron haber disminuido su velocidad angular sería una falla del complicado mecanismo, la otra causa es un poco más compleja, pero de ser esta segunda la falla, no habría que hacerle nada al reloj, ya que el motivo de su atraso (disminución de la velocidad angular de las manecillas) fue provocado por algún viaje llevado a cabo en un artefacto móvil de gran velocidad o un ascenso o descenso como escalar una montaña (efecto relativista), una vez expresado lo anterior, el gran relojero comienza su trabajo, para lo cual al termino de su revisión emitirá un veredicto.

Al hablar de libertad de movimiento nos referimos a la cantidad de energía disponible para ese movimiento, mediante el cual nos basamos para medir el tiempo, ya que finalmente no solo las manecillas de un reloj nos pueden ayudar para este fin, también puede ser la arena de un reloj de arena cayendo por gravedad o de manera más sofisticada un pulso o una vibración.

Si queremos recurrir a una vibración para poder medir la libertad de movimiento, entonces haremos uso nuevamente de nuestra ecuación protagonista en este capítulo:

$$mc^2 = hf_i + 2\sum_{i=1,j=1}^{n} E_{ij}$$

Usémosla ahora de la siguiente forma:

$$hf_i = mc^2 - 2\sum_{i=1,j=1}^{n} E_{ij}$$

$$hf = mc^2 - mv^2 - 2mgH$$

En este caso, no conocemos que forma podrían tener las energías provocadas por un spin o algún otro fenómeno y pensaremos que la partícula no se encuentra bajo la influencia de campos eléctricos y magnéticos, por tal motivo la usamos con los tres términos de energía que se han mostrado y también pensaremos que la partícula no tiene spin, por tal motivo:

$$\frac{hf}{m} = c^2 - v^2 - 2gH$$

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

La velocidad vibracional está expresada de la siguiente forma:

$$V_V = \sqrt{\frac{hf}{m}}$$

Por lo tanto:

$$V_V = c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2} - \frac{2gH}{c^2}}$$

La cual define la libertad de movimiento que tendría una vibración y con la cual nos podríamos basar para medir el tiempo y de la cual fácilmente podemos ver que:

Cuando no exista presencia de un campo gravitacional, solamente el desplazamiento, la ecuación se reduce a:

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

Si solo actúa el campo gravitacional:

$$V_V = c\sqrt{1 - \frac{2gH}{c^2}}$$

O

$$V_V = c\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$

Si existe un campo gravitacional y un desplazamiento que tiene una componente perpendicular a él:

$$V_V = c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}-\frac{2gH}{c^2}}$$

O

$$V_V = c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}-\frac{2GM}{rc^2}}$$

Y de aquí podríamos obtener los factores que influyen en las dilataciones del tiempo, ya que como explicamos, el tiempo depende de la libertad de movimiento.

En el desarrollo de este último análisis se hace notorio lo siguiente:

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

$$hf = mc^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}-\frac{2gH}{c^2}\right)$$

$$hf = mc^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}-\frac{2GM}{rc^2}\right)$$

Por lo tanto nuestra ecuación para el movimiento vibratorio se hace más completa y nos deja ver que existen más factores que la deben afectar como pueden ser campos eléctricos, magnéticos, temperatura, etc., y por lo mismo el tiempo debe ser afectado por las mismas variables, por lo tanto:

$$t = t_{(v,g,E,B,T,..,x)}$$

Finalmente la ecuación para la energía de una partícula ha derivado en ecuaciones que tratan de concordar con la teoría general de la relatividad y probablemente puedan ir más allá, intentando con esto dar muestras de su veracidad y mantiene una forma análoga con el principio de Bernoulli:

$$mc^2 = hf_i + 2\sum_{i=1,j=1}^{n} E_{ij}$$

Para su validación sería necesario comprobarla mediante la experimentación, pero puede ser un punto de partida en la construcción de una idea más completa, que nos ayude a explicar la teoría general de la relatividad y los fenómenos físicos de forma más sencilla.