

I - INTERACCIONES: GRAVITATORIA Y ELECTROMAGNÉTICA

I.0 – ¿Le deben interesar al óptico las interacciones gravitatoria y electromagnética? Comenzando desde cero.

I.1 - Cómo se comunica la naturaleza: Interacciones básicas.

I.2 - Campos de fuerzas: Gravitatorio, Electrostático.

I.2.a – Interacción gravitatoria

I.2.b – Interacción electrostática

I.2.c – Campo: gravitatorio, electrostático

I.2.d – Superposición

I.2.e – Líneas de campo

I.3 - Masa, peso, midiendo el campo gravitatorio. (opcional)

I.4 - Campo magnético. Imanes y cargas en movimiento.

I.4.a.- Imanes: polos, líneas de campo magnético

I.4.b.- Corrientes eléctricas

I.4.c.- Fuerza del campo magnético sobre una corriente

I.4.d.- Motor eléctrico

I.4.e.- Fuerza del campo magnético sobre cargas eléctricas

I.4.f.- Movimiento de una carga en un campo magnético

I.4.g.- Experimento de Ørsted. Campo magnético de una corriente eléctrica

Matemáticas: campo escalar y vectorial

Estamos acostumbrados a diferenciar dos tipos de interacciones, si empujo un libro fuera de la mesa este cae hacia el suelo, consideramos que estamos tocando el libro mientras lo estamos empujando y cuando este sale fuera de la mesa solo queda la fuerza de la Tierra, su peso, que lo atrae hacia el suelo, consideramos entonces que hay una fuerza sin que haya contacto, es una fuerza a distancia. Profundizaremos en este tipo de fuerzas que describiremos introduciendo el concepto de campo y también en qué significa “tocar”.

I.0 – ¿Le deben interesar al óptico las interacciones gravitatoria y electromagnética?

La interacción gravitatoria no tiene mucha relación con el oficio del óptico, como no sea el placer de saber la aceleración con la que puede caer por un hueco o el tiempo que tarda una gafa en llegar al suelo, pero la interacción electromagnética tiene que ver mucho con uno de los temas fundamentales de la óptica: la luz ¿Porqué dedicar parte de nuestro tiempo a estudiar la interacción gravitatoria? porque, como veremos más adelante, ambas interacciones tienen algunas similitudes, aprovecharemos que la interacción gravitatoria nos resulta más familiar, para introducir en paralelo la interacción electrostática que es más difícil de percibir que la gravitatoria, aunque pronto las grandes diferencias entre ambas interacciones nos harán continuar en solitario con los fenómenos eléctricos, sobre todo cuando se contemplan variaciones temporales que darán lugar al electromagnetismo.

Comenzando desde cero.

Si necesitas comenzar desde cero debes acudir a cualquier libro de primero de bachiller y planificar urgentemente con el profesor un plan de actividades, otra opción, que puede ser complementaria, es recurrir a algunas direcciones de Internet, como los enlaces que aparecen al final en el portal de la asignatura:

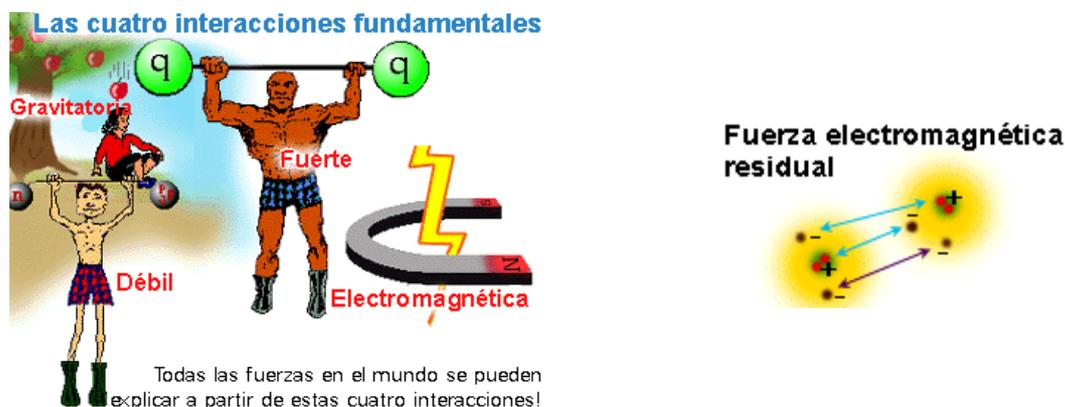
<http://webs.um.es/jmz/optica/>

I.1 - Cómo se comunica la naturaleza: Interacciones básicas.

Hasta donde hoy sabemos hay doce partículas elementales, es decir no conocemos que tengan estructura interna, y la materia conocida está formada únicamente por tres de ellas, el *quark up*, el *quark down* y el *electrón*, existen muchas más partículas pero no son estables, en cuanto a las fuerzas básicas de la Naturaleza, y hasta donde hoy sabemos, conocemos cuatro fuerzas básicas, *gravitatoria*, *electromagnética*, *fuerte y débil*, en los fenómenos que observamos habitualmente, los movimientos de la Tierra, la Luna, motores eléctricos, motores de explosión ... sólo intervienen las dos primeras, la *fuerte* interviene en las interacciones dentro de los protones y neutrones y la *débil* en proceso de decaimiento de partículas pesadas.

Fuerzas electromagnéticas

Los átomos, generalmente, tienen igual número de electrones y protones. Por lo tanto, son eléctricamente neutros ya que los protones positivos cancelan a los electrones negativos. ¿Qué hace que los átomos se unan para formar moléculas, si la mayoría de los átomos no tiene carga eléctrica neta?



Imágenes tomadas de *La Aventura de las Partículas*: <http://particleadventure.org/spanish/startstandards.html>

Recuerde que los átomos están hechos de componentes cargados. Las partes cargadas de un átomo pueden interactuar con las partes cargadas de otro átomo. Esto permite que los diferentes átomos estén ligados por un efecto llamado la *fuerza electromagnética residual*. Por lo tanto, la fuerza electromagnética es responsable de toda la química, y por lo tanto de toda la biología, y por lo tanto ¡de la vida misma!

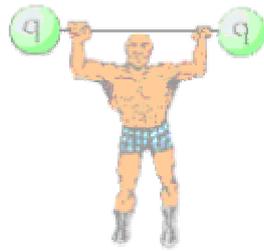
Tarea I.1.1

¿Qué sentencia es la más adecuada?

- La Física describe la Naturaleza de modo que puede predecir su comportamiento y modificarla (no sus reglas)
- La Física explica todos los fenómenos de la Naturaleza
- La Física nos permite entender todos los fenómenos de la Naturaleza
- La Naturaleza no sigue ningún tipo de reglas

Interacción fuerte

La fuerza entre partículas con cargas de color es muy fuerte y por eso se ganó el nombre de *fuerza fuerte*. Como esta fuerza mantiene unidos a los *quarks* para formar *hadrones*, sus partículas mediadoras son caprichosamente llamadas *gluones* por su éxito al "pegar" los *quarks* entre sí.



Imágenes tomadas de *La Aventura de las Partículas*: <http://particleadventure.org/spanish/startstandards.html>

Aún no hemos contestado la pregunta, si la **fuerza fuerte** sólo actúa para mantener unidos los **quarks**, ¿qué mantiene unido al núcleo? Los protones y neutrones, igual que todos los **hadrones**, son objetos de color neutro. Pero, recuerde que los **hadrones** están compuestos por **quarks**, cargados de diferentes colores, y así, los **quarks** con cargas de color de un protón pueden "pegarse" con los **quarks** con cargas de color de otro protón, aunque los propios protones sean de color neutro. Esto se llama la **interacción fuerte residual**, y es lo suficientemente fuerte como para contrarrestar la repulsión electromagnética entre los protones.

Interacción débil

Hay 6 tipos de **quarks** y 6 tipos de **leptones**. Entonces ¿por qué toda la materia estable del universo está formada sólo por los dos tipos de **quarks** menos masivos, el **up** y el **down**, y por el más liviano de los leptones cargados, el **electrón**? Las **interacciones débiles** son las responsables de que todos los **quarks** y **leptones** más pesados decaigan, para producir **quarks** y **leptones** más livianos. Cuando una partícula decae, ella desaparece y en su lugar aparecen dos o más partículas. La suma de las masas de las partículas producidas es siempre menor que la masa de la partícula original. Ésta es la razón por la cual la materia estable que nos rodea contiene sólo electrones y los dos **quarks** más livianos (**up** y **down**).

Interacción gravitatoria

Las partículas que poseen masa se atraen, esta interacción es conocida como **Interacción gravitatoria**. ¡Parece mentira que toda la materia que conocemos en nuestro entorno esté formada por tan solo tres partículas y que las interacciones entre ellas vengan descritas tan solo por cuatro tipos de fuerzas! Y de estas fuerzas, dos son las que nos afectan más directamente en nuestra vida cotidiana, las **gravitatorias** y las **electromagnéticas**.

Tarea I.1.2

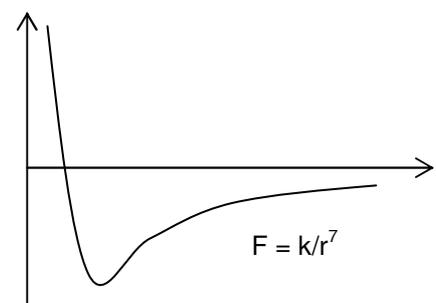
De las cuatro interacciones básicas de la Naturaleza comenta cuales son de corto alcance y cuales de largo alcance.

Para saber más:

<http://particleadventure.org/spanish/startstandards.html>

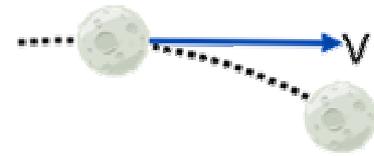
Las fuerzas moleculares nunca han sido explicadas satisfactoriamente sobre la base de la mecánica clásica; se necesita de la mecánica cuántica para entenderlas razonablemente. Sin embargo, empíricamente, la fuerza entre átomos es como se ilustra esquemáticamente en la figura en que se representa la fuerza entre átomos en función de la distancia r entre ellos. Para todas las moléculas cuyo centro de cargas positivas coincida con el de las negativas la fuerza, para una distancia grande resulta atractiva como se aprecia en la figura.

Feynman, *FÍSICA*, Vol. I, **12-3 Fuerzas moleculares**



1.2 – Campos de fuerza: Gravitatorio, Electrostático.

Vamos a introducir las interacciones gravitatoria y electrostática simultáneamente porque, como veremos, existen similitudes formales entre ambas. Las interacciones gravitatorias nos resultan más familiares que las eléctricas, por lo que el realizar un planteamiento paralelo nos hará más llevadera la introducción del campo eléctrico que resulta más abstracto.



1.2.a – Interacción gravitatoria

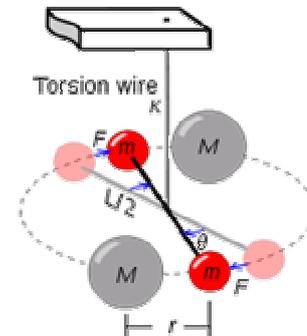
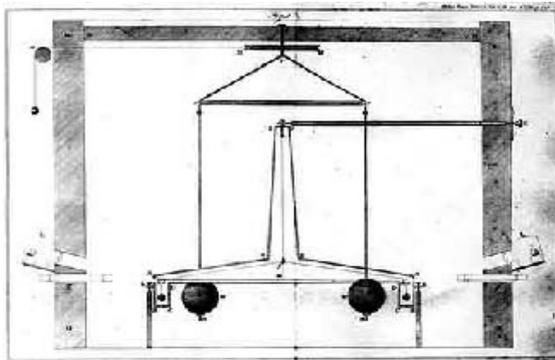
Comencemos con la interacción gravitatoria. Podemos proponer que los cuerpos en la superficie de la Tierra son atraídos por ella, en la segunda mitad del siglo XVII Newton planteaba si estas fuerzas son de la misma naturaleza que las que actúan entre los cuerpos celestes. Comparando la caída de los cuerpos sobre la superficie de la Tierra con la caída de la Luna hacia la Tierra propuso una ley de gravitación universal en la que se postula que las masas de los cuerpos se atraen con una fuerza que es inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias:



$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{d^2} \mathbf{u}_r \quad G = 6.672 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ Kg}^{-2}$$

Las letras en negrita representan vectores

En la que m_1 y m_2 son las masas de los cuerpos que se suponen puntuales, y d la distancia entre sus “centros”. El vector fuerza tiene la dirección de la recta que une las masas y sentido de atracción entre ellas.¹



*En 1789 Cavendish mide G utilizando una balanza de torsión
Imagen tomada de: http://en.wikipedia.org/wiki/Cavendish_experiment*

Esta expresión se conoce como “*Ley de Gravitación Universal*” y hasta donde hoy sabemos todas las masas del universo interactúan siguiendo esta regla de la Naturaleza. En 1789 Cavendish mide G convirtiéndose así en el primer hombre que mide la masa de la Tierra. La masa es una propiedad de las partículas elementales que forman la materia que conocemos, que son los electrones y los quarks. En el siguiente enlace se muestra una simulación con la que se puede investigar la interacción entre dos masas:

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/gravity-force-lab>

¹ Para saber sobre cómo actúan las fuerzas sobre los cuerpos:
http://webs.um.es/jmz/www_movimiento/newton/newton.html

Tarea I.2.1

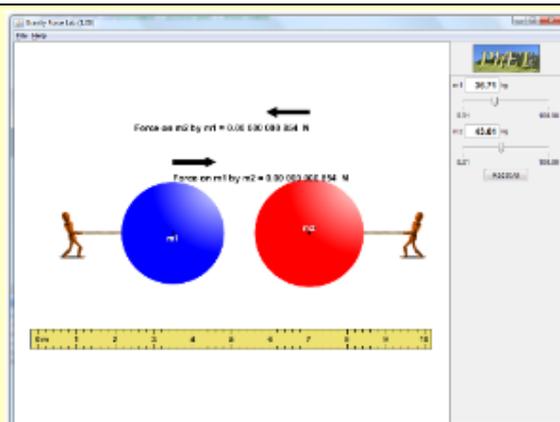
a) Describe la experiencia

b) ¿Qué parámetros podemos modificar?

c) Planifica y ejecuta las experiencias posibles

d) ¿Qué podemos deducir?

e) Describe los resultados utilizando simbología matemática



¿Porqué no hacemos esta experiencia en el laboratorio?

Tarea I.2.2

¿Porqué se atraen las masas?

Tarea I.2.3

¿Cómo se atraen las masas?

Tarea I.2.4

Teniendo en cuenta la ley de la dinámica de Newton y que la distancia, a efectos gravitatorios, entre la Tierra y los objetos en su superficie se toma el radio de la Tierra ¿qué podemos hacer con la expresión de la ley de gravitación universal?

a) Nada porque la ley de la gravitación universal sólo sirve para calcular las fuerzas entre los objetos celestes.

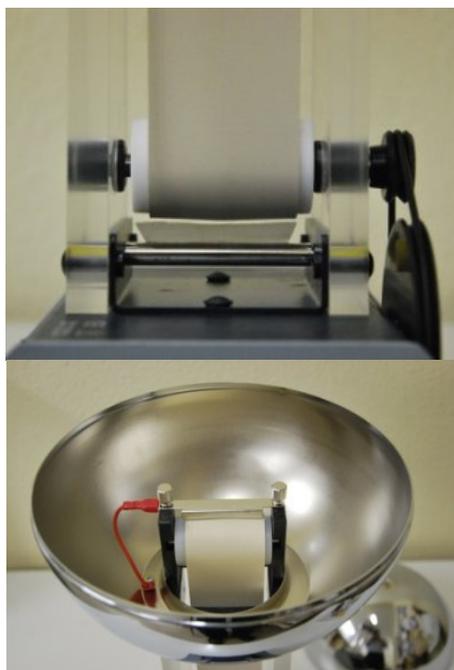
b) La ley de la dinámica de Newton, teniendo en cuenta la fuerza de atracción de la Tierra, nos permite obtener directamente la velocidad con que caen los objetos.

c) Aplicando la ley de la dinámica de Newton, a la fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos, obtenemos que estos caen con una aceleración de 9.8 m/s^2

I.2.b – Interacción electrostática

Todos los cuerpos se encuentran formados por partículas que poseen carga eléctrica, el hecho de que no percibamos habitualmente interacciones eléctricas, y sí gravitatorias, siempre nos podemos caer, es debido a que en el caso de las masas todas se atraen, y en el caso de las cargas hay de dos tipos, todos tenemos el mismo número de cargas de ambos tipos por lo que sus efectos normalmente se anulan.

Podemos hacer experiencias en las que se muestra también que las interacciones entre las cargas vienen dadas por una expresión totalmente similar. La carga eléctrica es una propiedad de las partículas elementales que forman la materia que conocemos, que son los electrones y los quarks. Aunque las fuerzas eléctricas son comparativamente más fuertes que las gravitatorias, no podemos tomar una cantidad de carga y enfrentarla a otra con la facilidad con la que tomamos un kilogramo de hierro y lo enfrentamos a otro kilogramo. Coulomb (1736 – 1806) consiguió realizar esta experiencia utilizando una balanza similar a la de Cavendish



Si frotamos diferentes objetos podemos observar algunos efectos de interacción electrostática, se desprende de este hecho que las cargas tienen afinidades diferentes en diferentes materiales. En 1931 se le ocurrió al físico norteamericano Robert Van de Graaff construir una máquina en la que se optimizaba este fenómeno de electrificación por rozamiento.

Esta máquina se basa en una propiedad de los conductores, que no justificaremos, por la que si una carga se encuentra en el interior de un conductor esta se mueve a su superficie. Mediante esta máquina podemos conseguir una cantidad de carga razonable para realizar experiencias.

Vídeo de cómo funciona el generador de Van de Graaf:
<http://www.youtube.com/watch?v=l2G0ldTWGQU>

La interacción entre cargas nos lleva a una expresión similar a la interacción gravitatoria, la fuerza varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las cargas.

Las expresiones para la interacción gravitatoria entre dos masas puntuales y la electrostática entre dos cargas puntuales son formalmente idénticas por lo que las propiedades básicas derivadas de las expresiones matemáticas también serán iguales, en ambos casos la fuerza disminuye con el cuadrado de la distancia y la fuerza tiene la dirección de la recta que une las partículas. El sentido de estas fuerzas difiere, en el caso de las masas estas siempre se atraen, en el caso de las cargas eléctricas nos encontramos con la necesidad de distinguir dos tipos de cargas al observar que las cargas que pertenecen a un grupo se repelen pero si son de distinto grupo se atraen.

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d^2} \mathbf{u}_r \quad K = 1/(4 \pi \epsilon_0) = 8.99 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$

Donde a q_1 y q_2 las llamamos cargas eléctricas, la carga eléctrica es una propiedad de las partículas elementales que forman la materia, que son los electrones y los quarks, en unidades internacionales se mide en culombios, un culombio es la carga que situada a un metro de distancia de otra igual interacciona con una fuerza de un newton, esta expresión es conocida como la ley de Coulomb en honor a su descubridor.



Simulación: http://webs.um.es/jmz/IntroFisiCompu/ejs/Ejemplos/drawables/fuerza_electrostatica.html

En la imagen se observa la representación gráfica de la fuerza que ejerce una carga sobre otra que podemos desplazar.

¿Qué hace que en la naturaleza, y en la tecnología, las interacciones gravitatorias y las eléctricas intervengan de modo tan diferente? Tres son los principales factores que las diferencian:

- Las cargas eléctricas pueden ser de dos tipos que denominamos como *positivas* y *negativas*, las del mismo signo se repelen mientras que de signos opuestos se atraen y en el universo existe la misma cantidad de carga de signo positivo como negativo, un cuerpo en general es neutro por lo que no apreciamos interacciones eléctricas entre ellos, mientras que todas las masas se atraen.
- Otra diferencia se encuentra en la intensidad de las fuerzas, mucho mayor para las eléctricas para las mismas escalas.
- Por último, si estudiamos situaciones en que se produzcan variaciones temporales los comportamientos gravitatorios y eléctricos dejan de tener similitudes. Si se observan las cargas en movimiento aparece una nueva interacción, la magnética, mientras que la interacción entre las masas no varía, que nosotros sepamos apreciar, si estas se mueven. El hecho de tener en cuenta variaciones temporales en los campos eléctricos y magnéticos nos abre un mundo nuevo que nos llevará al electromagnetismo, a la luz.

Las fuerzas electrostáticas, comparadas con las gravitatorias son cuantitativamente menores, en las tareas II.1, II.2 y II.3 se pueden ver ejemplos en los que se puede apreciar qué

entendemos por “cuantitativamente menores”. A pesar de estas consideraciones sobre la intensidad de las fuerzas gravitatorias y eléctricas, en nuestro entorno en general prevalecen las interacciones gravitatorias frente a las eléctricas porque los cuerpos que nos rodean tienen el mismo número de cargas positivas como negativas y sus efectos se compensan mientras que las interacciones gravitatorias siempre se suman y su acción gobierna el movimiento del Sistema Solar, de nuestra Galaxia y del Universo.

Tarea I.2.5

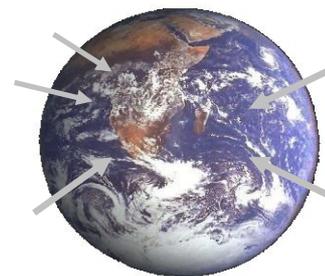
¿Porqué predomina la fuerza gravitatoria frente a la eléctrica en las interacciones astronómicas?

Otro aspecto relevante es el comportamiento dinámico de las partículas elementales, estas partículas, que constituyen los átomos de los objetos que nos rodean y también nosotros mismos ¿se comportan como nuestro sistema solar? ¿podemos tratarlas con la mecánica newtoniana? Pensemos en dos moléculas de oxígeno de nuestra atmósfera, colisionan entre sí y con otras moléculas ¿se comportan las partículas que las forman como dos sistemas solares que colisionasen? Las estructuras atómicas que constituyen las moléculas son mucho más estables que los sistemas planetarios, su comportamiento ya no viene descrito por las leyes de Newton sino por la Mecánica Cuántica. El conocimiento del comportamiento de los electrones en estructuras sólidas compuestas por muchos átomos nos ha llevado a la utilización de conductores eléctricos hasta los chips de los ordenadores, teléfonos móviles... pasando por el transistor.

I.2.c – Campo: gravitatorio, electrostático

Una forma de describir estas interacciones es introduciendo el concepto de campo. Nosotros utilizaremos la palabra *Campo*, para hacer referencia a magnitudes que se encuentran definidas en cada punto del espacio, por ejemplo, campo de temperaturas, en todos los puntos del espacio podemos definir la temperatura en ese punto, campo gravitatorio, eléctrico.... En general no tiene sentido hablar de *Campo* sin ponerle ningún adjetivo.

Una masa es atraída con la misma fuerza por la Tierra siempre que se encuentre a la misma altura, supongamos que es 1 Kg., y que nos encontramos en la superficie de la Tierra, la fuerza con que la Tierra la atrae la llamamos *Campo Gravitatorio* en los puntos de la superficie terrestre y la representamos por el vector:



$$\vec{g}$$

Para calcular la fuerza que la Tierra ejerce sobre cualquier otra masa m en su superficie, basta con multiplicarla por el valor del campo gravitatorio en ese punto:

$$\vec{F} = \vec{g} * m$$

En general el campo gravitatorio de una masa esférica como la Tierra en un punto alejado d de su centro lo definimos como;

$$\vec{G} = G \frac{M_T}{d^2} \vec{u}_r$$

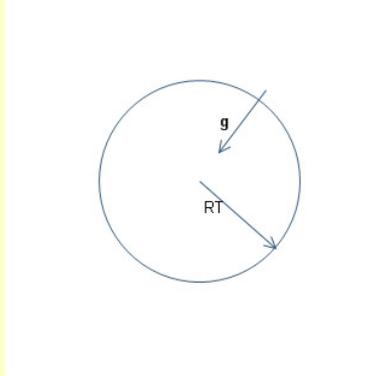
Tarea 1.2.6

¿Cómo podemos detectar la existencia de campo gravitatorio en un punto?

Tarea: 1.2.7

En la imagen se muestra la Tierra y el campo g que esta crea en su superficie.

a) Dibuja el campo en un punto situado a una altura igual al radio de la Tierra sobre esta



b) ¿Qué masa tendríamos que poner en ese punto para que la fuerza con que la Tierra lo atrae resulte igual a su peso en la superficie de la Tierra?

Campo electrostático

En el caso de la interacción electrostática la forma de definir campo eléctrico en un punto es la siguiente, la fuerza que ejerce la carga uno sobre la carga dos la podemos expresar como:

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q_1}{d^2} \mathbf{u}_r * q_2$$
A diagram showing two point charges, q_1 and q_2 , represented as blue dots. A vector labeled 'd' points from q_1 to q_2 .

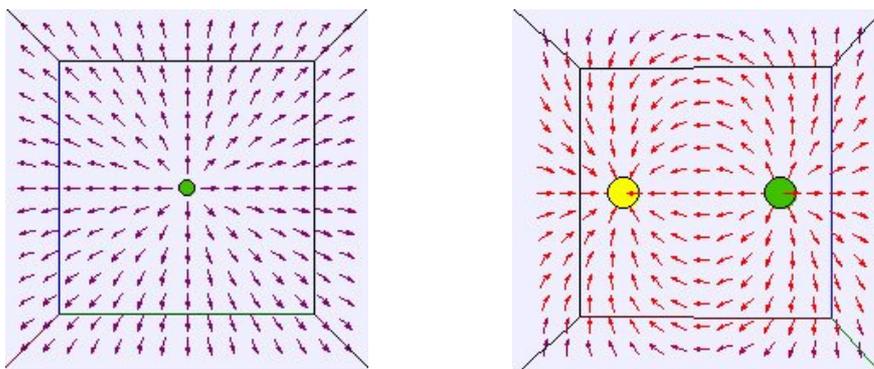
si en lugar de q_2 pusiéramos otra carga la expresión sería la misma pero sustituyendo simplemente la parte final en la que aparece la carga, hay una parte de la expresión que sólo depende de la carga uno y del punto del espacio en el que se encuentre la otra carga, a esta parte la llamamos campo de la carga uno que crea en el punto que se considere

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q_1}{d^2} \mathbf{u}_r$$

con lo que la fuerza que ejerce la carga uno sobre la dos la podemos escribir como:

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} q_2$$

Campo electrostático: representación



En la imagen se observa una representación de la dirección y sentido del campo en una retícula de puntos para una carga y para dos cargas de signos opuestos.

Análogamente definimos anteriormente campo gravitatorio, sin embargo el cálculo del campo gravitatorio no tiene tanta relevancia como el eléctrico, ello es debido a que este último ofrece muchas más posibilidades dado que hay dos tipos de cargas y a que con cargas que ocupan muy poco lugar se pueden conseguir estructuras muy complejas. Además el comportamiento de las cargas en los materiales es muy variado, pensemos un poco en los componentes de los teléfonos móviles.

Tarea 1.2.8

¿Cómo podemos detectar la existencia de campo eléctrico en un punto?

1.2.d – Superposición

Si hubiera más cargas que actuaran sobre la carga dos, sus fuerzas se superpondrían, esta es una propiedad importante que simplifica el estudio de los campos eléctricos, el campo eléctrico debido a un conjunto de cargas es la suma de los campos eléctricos de cada carga como si no existieran el resto.

$$\vec{E} = \sum_{i=0}^N \vec{E}_i$$

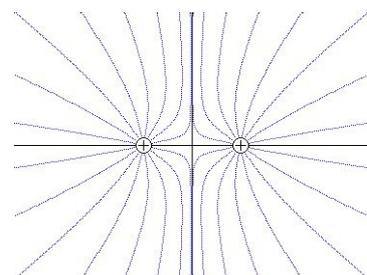
Debemos resaltar que nos encontramos ante una suma de vectores.

1.2.e – Líneas de campo

Líneas tangentes en cada punto al campo, las líneas del campo nacen en las cargas positivas y terminan en las negativas, una flecha indica hacia las cargas negativas. Cuando en una imagen veamos líneas de campo que no tienen principio o fin en dicha imagen en algún lugar debe haber cargas positivas en donde comiencen o cargas negativas en donde terminen. El campo de una carga puntual es radial, el campo de dos cargas depende de si las dos son de igual signo o de signos opuestos.

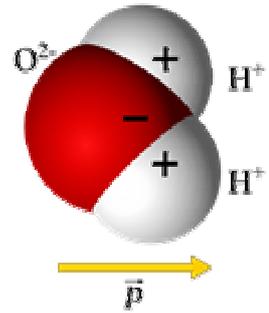
Podemos ver la representación del campo de dos cargas en:

http://home.att.ne.jp/gold/kamikawa/physics/electricfield/elefi_e.htm



Dipolo eléctrico. (opcional)

Hay una estructura de cargas sencilla pero especialmente interesante, el dipolo eléctrico. El dipolo eléctrico está formado por dos cargas iguales y de sentido opuesto, esta distribución es importante porque todos los cuerpos se encuentran formados por cargas eléctricas de signos opuestos, en el caso de los materiales aislantes, al ser sometidos a campos eléctricos estos actúan sobre las cargas positivas en un sentido y sobre las negativas en sentido opuesto por lo que átomos y moléculas se deforman ligeramente dando lugar a dipolos. Puede ser que la estructura de las moléculas que constituyen un material, sin necesidad de un campo eléctrico externo, estén formando dipolos debido a que el centro de las cargas positivas no coincide con el centro de las cargas negativas, se dice que son materiales polares, uno muy característico es el agua.



Momento Dipolar. (opcional)

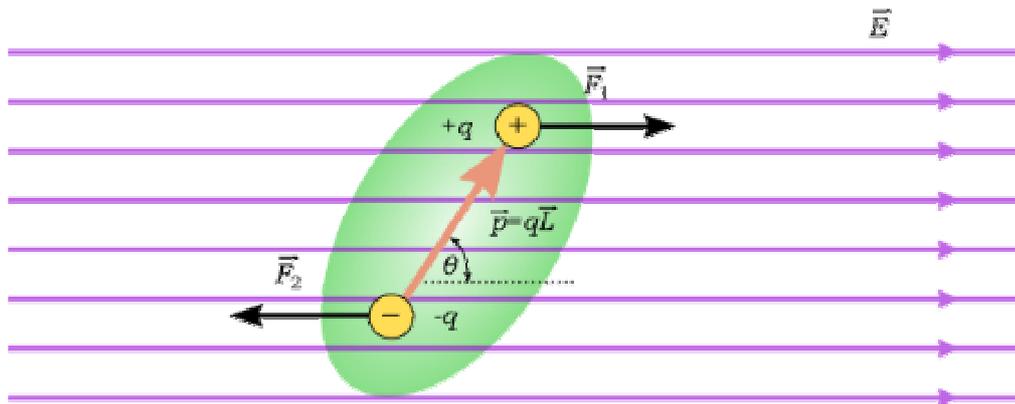
Un campo eléctrico uniforme ejerce un par de fuerzas sobre el dipolo que tiende a orientarlo en la dirección y sentido del campo.

$$N = q E L \text{ sen } \theta = | q \mathbf{L} \wedge \mathbf{E} |$$

donde $\mathbf{E} \wedge \mathbf{L}$ es el producto vectorial del campo por el vector que va de la carga negativa a la positiva. Al producto $q \mathbf{L}$ se le llama momento dipolar \mathbf{p} . Podemos escribir el par que el campo ejerce sobre el dipolo:

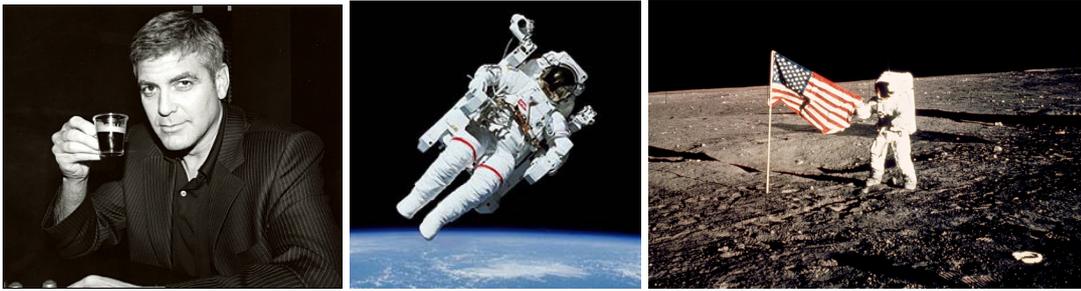
$$\mathbf{N} = \mathbf{p} \wedge \mathbf{E}$$

Mediante el símbolo \wedge indicamos producto vectorial que significa que el producto de los dos vectores es otro vector, perpendicular a ambos, cuyo módulo es el producto de los módulos por el seno del ángulo que forman y el sentido el del sacacorchos.



I.3 - Masa, peso, midiendo el campo gravitatorio. (opcional)

Hemos visto en el capítulo precedente que las partículas que forman nuestros cuerpos y todos los objetos que observamos tienen la propiedad de poseer la propiedad que llamamos masa, m , por la que si actuamos con una fuerza sobre un objeto este se acelera, esta aceleración es proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la citada propiedad, la masa. También sucede que todas las masas se atraen, la fuerza con se atraen depende de sus masas y de la distancia entre ellas.



En las imágenes vemos a George Clooney en tres situaciones diferentes, tomando café poco antes de emprender su ansiado viaje a la estación Espacial Internacional para darse un paseo espacial, y posteriormente en la Luna. Previamente George se había pesado en una báscula dando como resultado una lectura de 80 quilos.

¿Qué podemos decir de la masa y el peso de George en cada una de estas situaciones? Cuando se pesa en la balanza de la farmacia esta balanza mide la fuerza con la Tierra atrae a su masa, a esta fuerza la llamamos peso y es la misma fuerza con la que George atrae a la Tierra, cuando decimos en lenguaje familiar que pesa 80 quilos, en lenguaje científico, utilizando las unidades adecuadas significa que pesa 80 kilopondios, el kilopondio lo definimos como la fuerza que la Tierra ejerce sobre un kilogramo situado en su superficie, y por lo tanto podemos decir que George tiene una masa de 80 kg. El kp no es una unidad del Sistema Internacional, la unidad de fuerza en el SI la deducimos de la expresión fundamental del movimiento de Newton en cuyo honor la denominamos así, un Newton es la fuerza que aplicada a una masa de un kg le comunica una aceleración de un metro por segundo cuadrado.

Tarea I.3.1

¿Cuánto pesa un kilo? Podemos deducir la relación entre kp y N, 1 kp = 9.8 N.

Cuando se encuentra a 360 km de la superficie de la Tierra, la fuerza con que le atrae, excluido su aparatoso traje de paseo, será menor que cuando se encontraba en la superficie de la misma y vale:

$$F = G \frac{M_T * m_G}{(R_T + h)^2} = 6.67 * 10^{-11} \text{ N kg}^{-2} \text{ m}^2 \frac{6 * 10^{24} \text{ kg} * 80 \text{ kg}}{[(6.4 + 0.36) * 10^6 \text{ m}]^2} = \frac{3201.6 * 10^{13}}{45.7 * 10^{12}} \text{ N} = 700 \text{ N}$$

Aproximadamente unos 70 kp, en términos familiares ha “adelgazado” unos 10 kilos. Para calcular la distancia gravitatoria de un cuerpo, como en el caso de una persona, a otro esférico, como la Tierra, debemos medir la distancia de aquel al centro de la esfera.

Tarea I.3.2

Complete el siguiente enunciado: En la superficie de la Tierra, el peso de un objeto

- a) es el mismo que la masa del objeto.*
- b) es la fuerza gravitatoria de la Tierra sobre el objeto.*
- c) tiene el mismo valor independientemente de la altitud sobre la superficie de la Tierra.*
- d) tiene el mismo valor independientemente de la masa del objeto.*

Masa: es la propiedad de las partículas que forman los cuerpos por las que estos se atraen y tienen inercia (se necesita una fuerza para modificar su estado de reposo o movimiento)

Tarea I.3.3

¿Porqué las partículas poseen masa?

Peso aparente

Entra en la EEI, se quita el traje de paseo y se toma otro café.

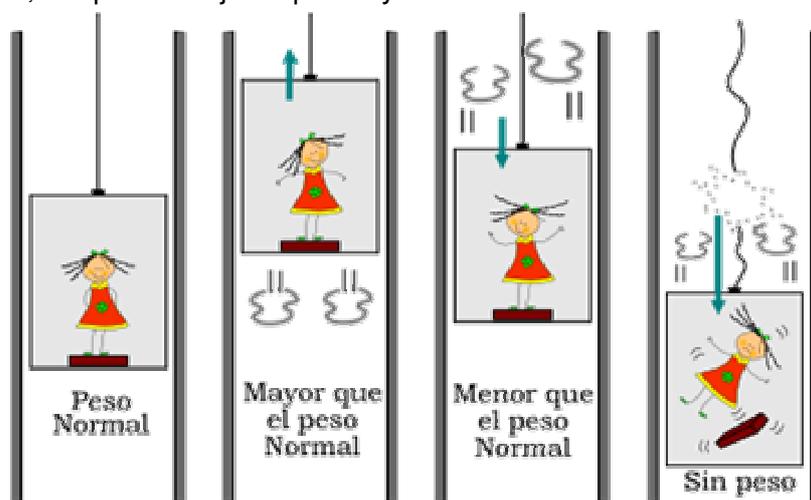


Imagen tomada de las páginas de Joseph F. Alward, PhD Dpt of Physics U of the Pacific
<http://sol.sci.uop.edu/~jfalward/physics17/chapter4/chapter4.html> (enlace caducado)

Tarea I.3.4

¿Debería tomar George alguna precaución al tomar el café o el tomar el café en la EEI sería algo similar a la foto de su café en casa?

Quando un cuerpo se encuentra en un objeto acelerado, se llama peso aparente a la fuerza que ejerce el cuerpo sobre el objeto, las personas que se encuentran en la estación espacial si tienen peso, si continuamos llamando peso a la fuerza que la Tierra ejerce sobre un objeto

Tarea I.3.5

¿Son útiles en la estación espacial las básculas de farmacia similares a la utilizada por George para pesarse en la Tierra?

La situación de George en la EEI es similar a la de la niña en el ascensor cuando se rompe el cable, niña, báscula y ascensor caen con la misma aceleración, la báscula marcará cero.

La masa de la persona permanece invariable en las tres situaciones, es una propiedad de las partículas que configuran la persona, independientemente de dónde esta se encuentre.

En la siguiente dirección

<http://es.youtube.com/watch?v=LP9OLX3I64I>
se puede ver un vídeo en el que un avión realiza un vuelo de caída libre.

En la imagen se aprecia la medida nula de la balanza.



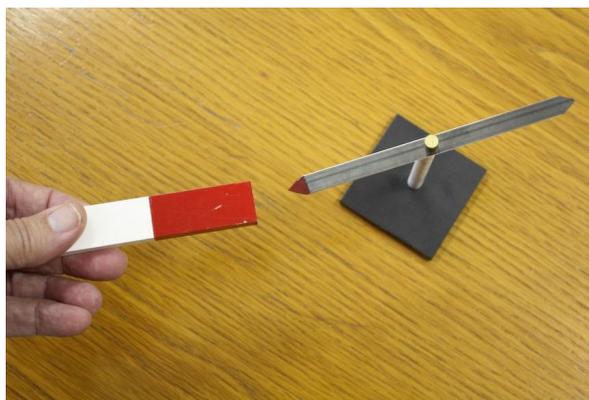
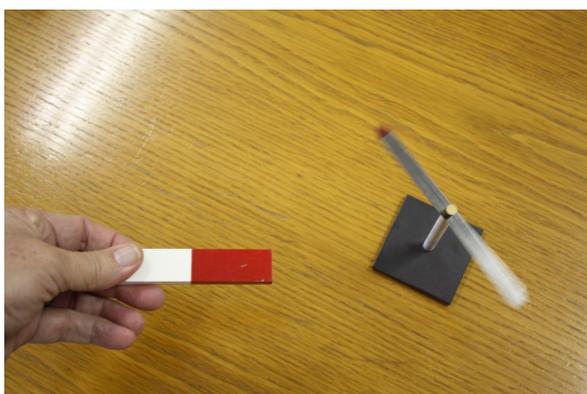
Juegos gravitatorios:

<http://www.caosyciencia.com/ideas/articulo.php?id=230209>

I.4 - Campo magnético. Imanes y cargas en movimiento.

I.4.a.- Imanes: polos, líneas de campo magnético

En este apartado vamos a poner de manifiesto las interacciones magnéticas que, como veremos, tienen dos fuentes: los imanes y las corrientes eléctricas. Desde hace siglos se conoce la existencia de los imanes, decimos que interactúan debido al campo magnético que generan. Una de sus características es que para su descripción necesitamos diferenciar dos tipos de "polos" que llamamos *Norte* y *Sur*, los polos iguales se repelen y los distintos se atraen, esto nos recuerda a la interacción entre cargas pero en este caso hay una diferencia importante, nadie se ha encontrado con un polo aislado de su opuesto.



Tarea I.4.1

¿Porqué los imanes interaccionan?

¿Cómo interaccionan los imanes?

Líneas de Campo: Líneas tangentes en cada punto al campo, las líneas del campo salen del polo norte y entran por el polo sur.

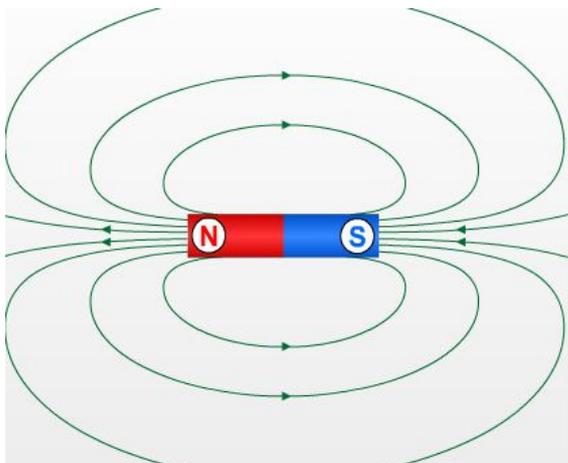


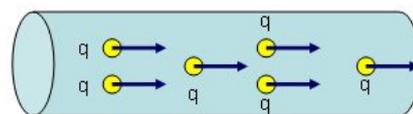
Imagen tomada de SUPERCOMET. Módulo Magnetismo



Vídeo sobre campos magnéticos de imanes:
<http://es.youtube.com/watch?v=V9v2KBJXyc0&feature=related>

1.4.b.- Corrientes eléctricas

Si pudiéramos observar dos cargas eléctricas estas interactúan de acuerdo con la expresión de Coulomb, tal como vimos en el apartado 1.2 - *Campos: Gravitatorio, Electromagnético*, pero si además estas cargas se mueven respecto a nosotros observaríamos una fuerza que es perpendicular a sus velocidades y que denominamos **magnética**. A las cargas en movimiento las denominamos **corrientes eléctricas**.



Las corrientes eléctricas son cargas en movimiento

Las cargas eléctricas en movimiento, corrientes eléctricas, generan campos magnéticos.

También podemos observar fuerzas magnéticas sobre cargas en movimiento, corrientes eléctricas, si las ponemos en presencia de ciertos materiales magnéticos, imanes.

Tarea 1.4.2

¿Porqué las cargas eléctricas en movimiento generan campos magnéticos?

a) Porque son como imanes pequeños

b) No sabemos porqué

c) Porque las cargas eléctricas también interactúan gravitatoriamente

d) Porque todas las cargas eléctricas interactúan

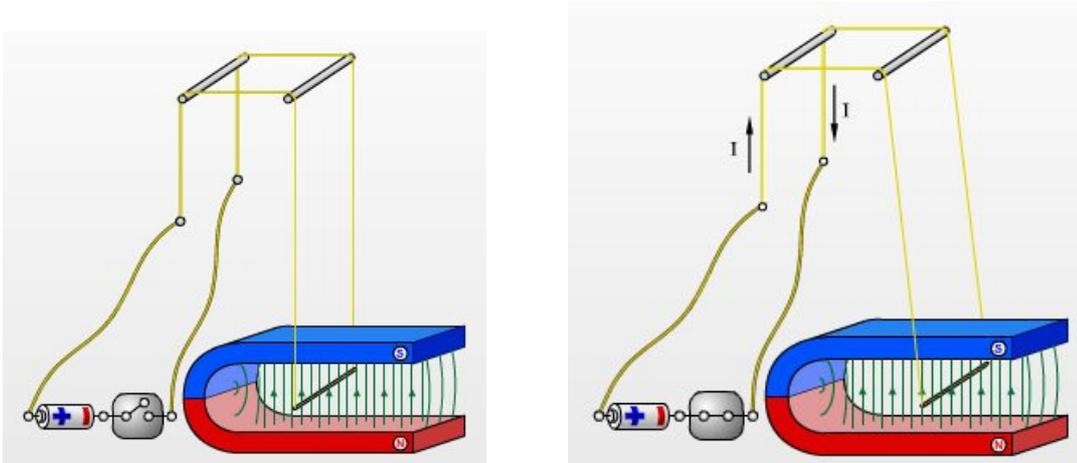
Tarea 1.4.3

¿Cómo podemos detectar la existencia de campo magnético en un punto?

1.4.c.- Fuerza del campo magnético sobre una corriente

No sabemos **porqué** interaccionan dos imanes ni **porqué** interaccionan con las corrientes eléctricas, ni **porqué** interaccionan estas entre si, pero si podemos saber **cómo** es esta interacción. Concretamente, en este apartado, vamos a **describir cómo** interactúa un campo magnético con una corriente y, en el apartado 1.4.e, **cómo** interactúa con cargas eléctricas. Primero realizaremos una descripción en términos coloquiales lo más precisa posible, y luego trataremos de expresarla mediante símbolos muy escuetos, símbolos matemáticos que han demostrado una eficacia extraordinaria.

En las imágenes se muestra una situación práctica de lo anteriormente expuesto. Cuando hacemos pasar una corriente eléctrica por un conductor que se encuentra en un campo magnético aparece una fuerza perpendicular a la corriente y al campo.



Al cerrar el circuito pasa una corriente por el conductor que se encuentra dentro del campo magnético
Imágenes creadas con las animaciones de SUPERCOMET: <http://online.supercomet.no/>

Si invertimos el sentido de la corriente se invierte el sentido de la fuerza. En el caso de corrientes eléctricas rectilíneas la fuerza sobre un conductor de longitud l se puede escribir:

$$\vec{F} = I \vec{l} \wedge \vec{B}$$

Donde I es la intensidad de la corriente y \vec{l} un vector cuyo módulo es la longitud del conductor y su dirección y sentido el de la corriente eléctrica. Con el símbolo \wedge representamos el producto de dos vectores que se llama producto vectorial² cuyo resultado es otro vector perpendicular a ambos.

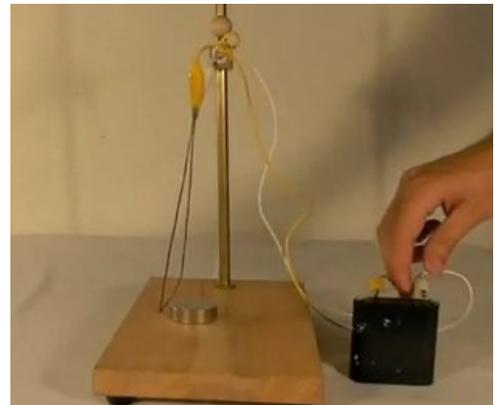


Imagen tomada de <http://youtube.mosem.no/> Pohl experiment

Para encontrar la dirección y sentido del producto vectorial de dos vectores se puede utilizar la “Regla de la Mano Derecha” que se muestra en la imagen.

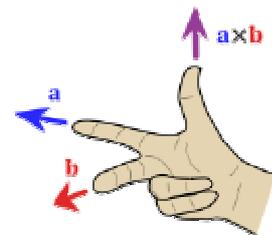


Imagen tomada de http://en.wikipedia.org/wiki/Cross_product

² Ver: <http://www.fisica-basica.net/David-Harrison/castellano/Vectors/CrossProduct/CrossProduct.html>
<http://www.phy.syr.edu/courses/java-suite/crosspro.html>

Tarea I.4.4

¿Porqué interaccionan los imanes con las corrientes eléctricas?

¿Cómo interaccionan los imanes con las corrientes eléctricas?

I.4.d.- Motor eléctrico

Podemos aprovechar este hecho para conseguir mover, de modo eficaz, un conductor por el que pase una corriente. Para ello utilizamos un dispositivo como se muestra en la imagen. Vemos un imán de herradura con el polo norte en la parte superior y el sur en la parte inferior que crea un campo magnético prácticamente constante entre sus brazos y que representaremos por el vector \vec{B} , las líneas de este campo salen del polo norte y entran al polo sur.

Un generador de corriente continua alimenta una espira rectangular cuyos extremos se conectan a unos semicírculos que deslizan sobre unas escobillas que se encuentran unidas al generador. Esta disposición hace que el sentido de la corriente en la espira cambie, si esta espira gira, cada medio giro. Sobre el conductor que aparece en la parte superior en la imagen aparece una fuerza perpendicular al conductor por el que pasa la corriente y al vector campo magnético, su sentido será hacia atrás, sobre el otro brazo la fuerza será hacia delante.

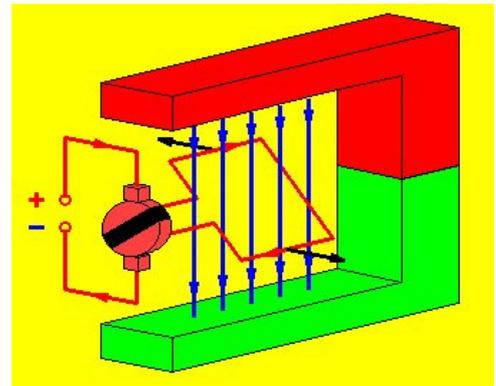
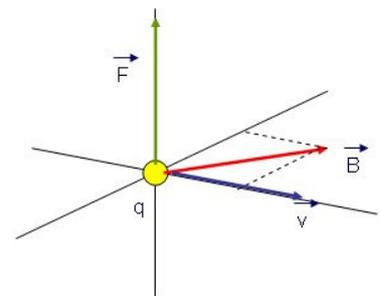


Imagen tomada de la Simulación de Water Fendt: http://www.walter-fendt.de/ph14s/electricmotor_s.htm

I.4.e.- Fuerza del campo magnético sobre cargas eléctricas

La corriente eléctrica son cargas en movimiento, expresemos la fuerza del campo magnético sobre las corrientes, en términos de la carga. En la imagen se observa una carga que lleva una velocidad y que se encuentra dentro de un campo magnético, se observa una fuerza que es perpendicular a los vectores velocidad y campo, el sentido viene dado por la regla del sacacorchos, además su módulo depende del ángulo que forman estos vectores.



La experimentación nos lleva a describir la interacción entre campo magnético y carga en movimiento mediante la expresión:

$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B} \quad |\vec{v} \wedge \vec{B}| = v B \text{ sen } \alpha$$

Esta expresión se conoce como **Fuerza de Lorentz** y el producto de vectores que la describe se llama producto vectorial y se indica con el símbolo \wedge .

Tarea I.4.5

¿Porqué un campo magnético ejerce una fuerza sobre las cargas eléctricas?

¿Cómo es la fuerza que ejerce un campo magnético sobre las cargas eléctricas?

Una diferencia cualitativa importante respecto a las fuerzas gravitatorias y eléctricas vistas hasta ahora, es que la fuerza depende de la velocidad de la partícula que como sabemos es un concepto relativo, es decir, depende del sistema desde el que se observa la experiencia.

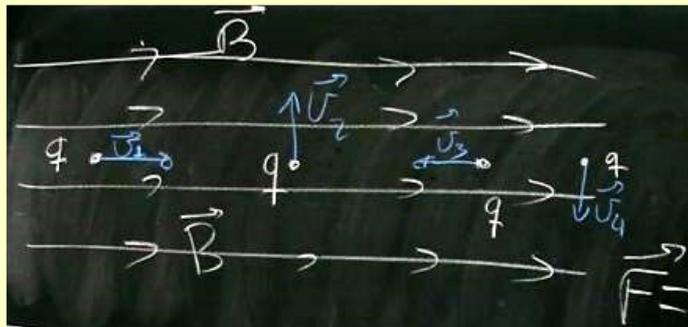
Tarea I.4.6

Cuál de las siguientes expresiones es correcta:

- a) Si la dirección de la velocidad de la carga y del campo magnético son perpendiculares la fuerza es máxima.
- b) Si la dirección de la velocidad de la carga y del campo magnético son iguales pero de sentido opuesto la fuerza es máxima.
- c) Si la dirección de la velocidad de la carga y del campo magnético son iguales la fuerza es cero.
- d) Un campo magnético ejerce una fuerza perpendicular al mismo si la velocidad de la carga es cero.

Tarea I.4.7

Obtener la fuerza que ejerce el campo magnético sobre la carga q en cada uno de los siguientes casos:

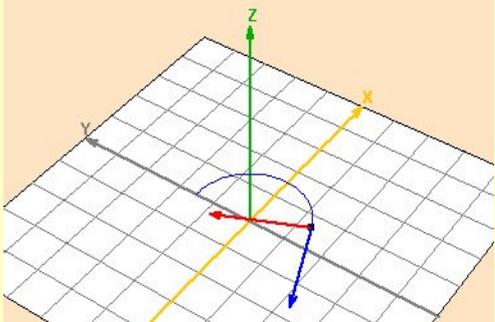


- 1) Carga con velocidad v_1
- 2) Carga con velocidad v_2
- 3) Carga con velocidad v_3
- 4) Carga con velocidad v_4

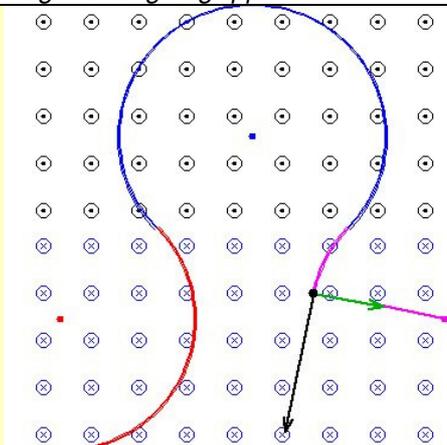
I.4.f.- Movimiento de una carga en un campo magnético

¿Qué trayectoria seguirá una carga en el interior de un campo magnético? Podemos explorar este fenómeno mediante varias simulaciones:

<http://surendranath.tripod.com/Applets/Electricity/MovChgEleMag/MovChgEleMagApplet.html>

<p>Tarea I.4.8 En la imagen una carga con velocidad en el plano X Y, se encuentra en un campo magnético uniforme en la dirección Z y sentido hacia arriba, comenta la figura.</p>	
--	--

<http://surendranath.tripod.com/Applets/Electricity/MovChgMag/MovChgMagApplet.html>

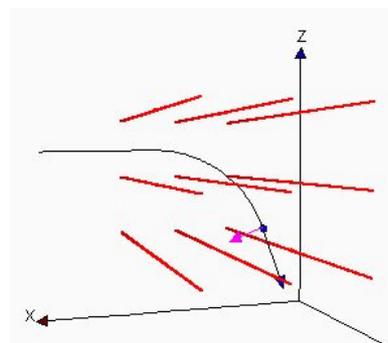
<p>Tarea I.4.9 Comenta la figura.</p>	
--	---

Se pueden realizar otras experiencias del movimiento de una carga en un campo magnético uniforme en simulaciones en las que podemos modificar la orientación del campo, la posición, velocidad y el valor de la carga visualizando la trayectoria de la carga en cada caso.

Podemos encontrar una simulación en tres dimensiones en el enlace:

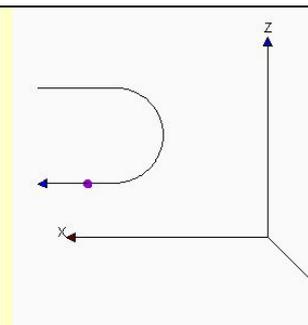
http://webs.um.es/jmz/IntroFisiCompu/ejs/Ejemplos/drawables3D/carga_campoB.html

En la imagen se muestra la ventana de una experiencia realizada con dicha simulación, en ella observamos la trayectoria de una partícula con carga negativa que penetra en una región con un campo magnético uniforme, la velocidad se representa mediante una flecha en la dirección de la trayectoria y la fuerza que ejerce el campo magnético se visualiza mediante una flecha perpendicular a la trayectoria.



Tarea I.4.10

Una carga negativa, con velocidad representada por el vector de la imagen, realiza la trayectoria que se muestra. Enuncia una suposición razonable de porqué ha realizado esa trayectoria.



Tarea I.4.11

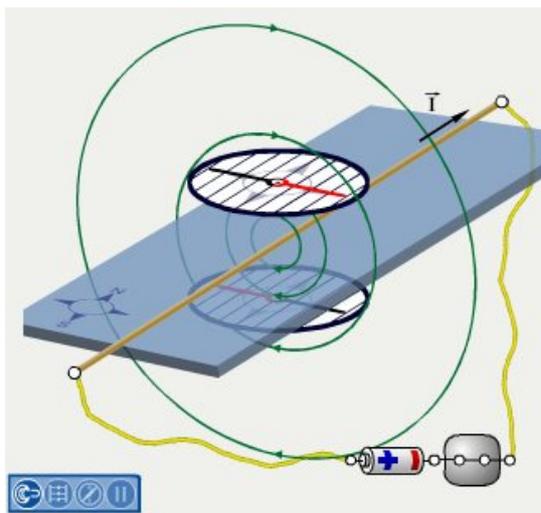
En la experiencia de Pohl un campo magnético creado por un imán ejerce una fuerza sobre una corriente eléctrica ¿podríamos mover un imán con una corriente eléctrica?

I.4.g.- Experimento de Ørsted. Campo magnético de una corriente eléctrica

Hay dos fuentes de campo magnético, los imanes y las corrientes eléctricas. Si ponemos brújulas alrededor de una corriente rectilínea estas se orientan como se muestra en la figura.

Las líneas de campo magnético las dibujaremos tangentes a la dirección en que se posiciona una brújula en ese punto.³

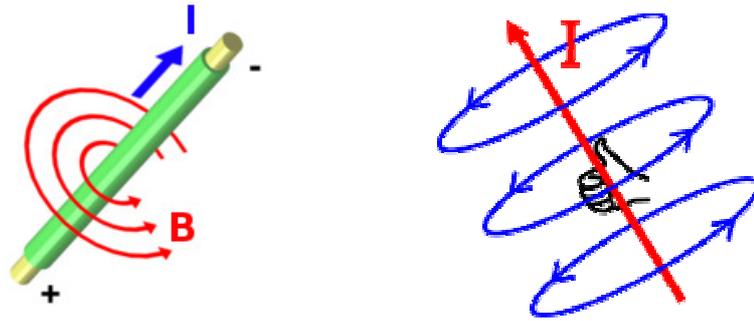
Esta experiencia la realizó el danés Ørsted a comienzos de 1820 al percatarse que unas brújulas se reorientaban al pasar corriente eléctrica por unos conductores que se encontraban en sus proximidades. Encontró así una de las “Reglas de juego de la Naturaleza”: las cargas en movimiento, una corriente eléctrica, producen un campo magnético capaz de interactuar con los imanes.



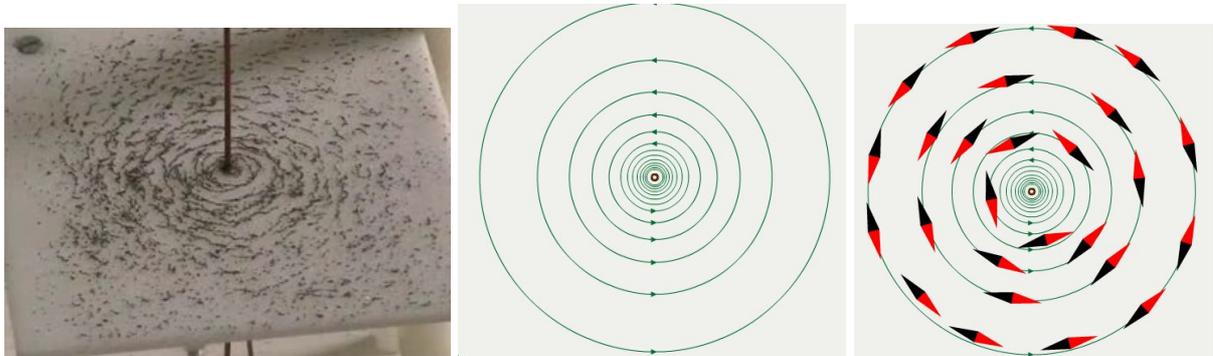
Si ponemos brújulas alrededor de una corriente eléctrica rectilínea observamos cómo se orientan perpendicularmente a dicha corriente, establecemos que una corriente eléctrica rectilínea crea un campo magnético cuyas líneas son círculos concéntricos con la recta que define el conductor, el sentido es tal que lo podemos conocer siguiendo la “regla de la mano derecha”, situamos el pulgar en la dirección y sentido de la corriente, la posición natural del resto de los dedos nos indicará la dirección y sentido de las líneas del campo magnético.

Dada la dificultad de dibujar en tres dimensiones se suele adoptar una regla por la que una corriente que “salga” del papel perpendicularmente al mismo se representa por un punto y si “entra” por una x.

³ Ver animación en el capítulo de magnetismo en: <http://online.supercomet.no/>



En la imagen posterior vemos una representación de una corriente que sale del papel perpendicularmente al mismo con la representación de las líneas de campo magnético, que son circunferencias concéntricas al conductor y su sentido, de acuerdo con la regla de la mano derecha, el contrario a las agujas del reloj. Para visualizar las líneas de campo magnético podemos utilizar brújulas como se muestra en la imagen de la derecha, las brújulas se orientan de modo que las líneas de campo entren por el polo sur y salgan por el norte. Se pueden utilizar limaduras de hierro en un plano vertical a la corriente como en la primera imagen.



La primera imagen está tomada del vídeo en el que se recoge una experiencia de laboratorio:
<http://es.youtube.com/watch?v=V9v2KBjXyc0&feature=related>

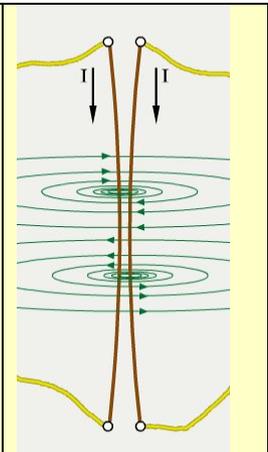
Tarea I.4.12

¿Qué aspectos de la interacción magnética entre imanes y corrientes son similares y cuales son diferentes comparadas con las interacciones gravitatorias y electrostáticas?

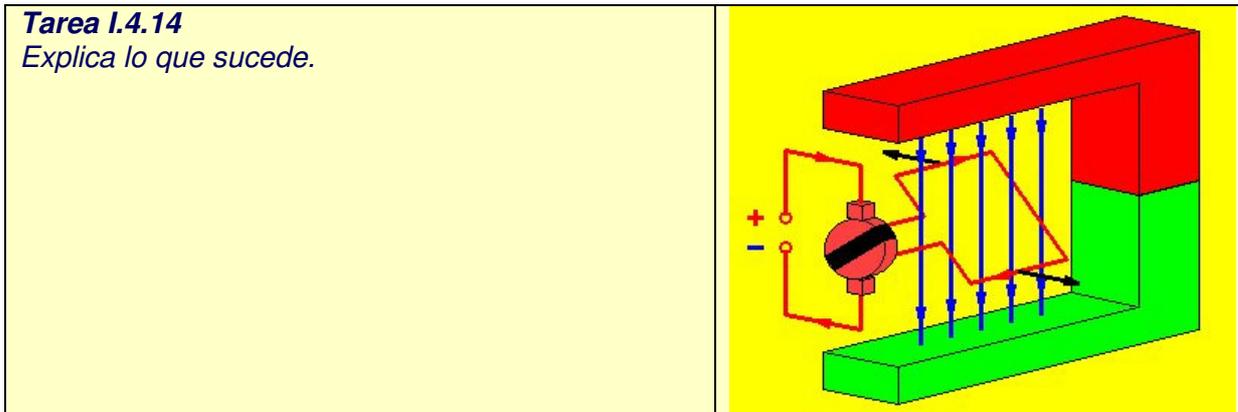
Tarea I.4.13

¿Qué sucederá si ponemos dos corrientes rectilíneas paralelas?

¿Qué sucederá si invertimos el sentido de una de las corrientes?



Se hace pasar una corriente eléctrica, cuyo sentido se representa por unas flechas rojas, por una espira que se encuentra situada en un campo magnético tal como muestra la imagen.



http://colos.inf.um.es/Cursos/Walter/phs/electricmotor_s.htm

ALGUNAS CUESTIONES

- Explica, cualitativamente, cuál es el peso de una persona de masa $m = 80 \text{ kg}$, si esta se encuentra en la Estación Espacial Internacional a 400 km sobre la superficie de la tierra. ¿Qué se entiende por peso aparente?
- En la ecuación fundamental de la dinámica, $\mathbf{F} = m \mathbf{a}$, donde \mathbf{F} y \mathbf{a} son vectores, enumerar al menos cuatro tipo de fuerzas que puedan utilizar esta expresión.
- En qué se parecen y en qué se diferencian las interacciones gravitatorias y electrostáticas. Exprésalo verbal y analíticamente.
- ¿Porqué se engloban las interacciones eléctrica y magnética en la interacción electromagnética? Pon un ejemplo para clarificar este hecho.
- Comenta qué se entiende por campo eléctrico en un punto. Escribe su expresión.
- Las líneas de campo eléctrico de dos cargas ¿son iguales en todos los casos? Dibuja las líneas de campo eléctrico de dos cargas eléctricas en todas las circunstancias.
- ¿Cuál es la importancia de los dipolos?
- ¿Qué fuerza sufre la carga q con velocidad \mathbf{v} en el interior del campo magnético uniforme \mathbf{B} ? Justifica tu respuesta.

