

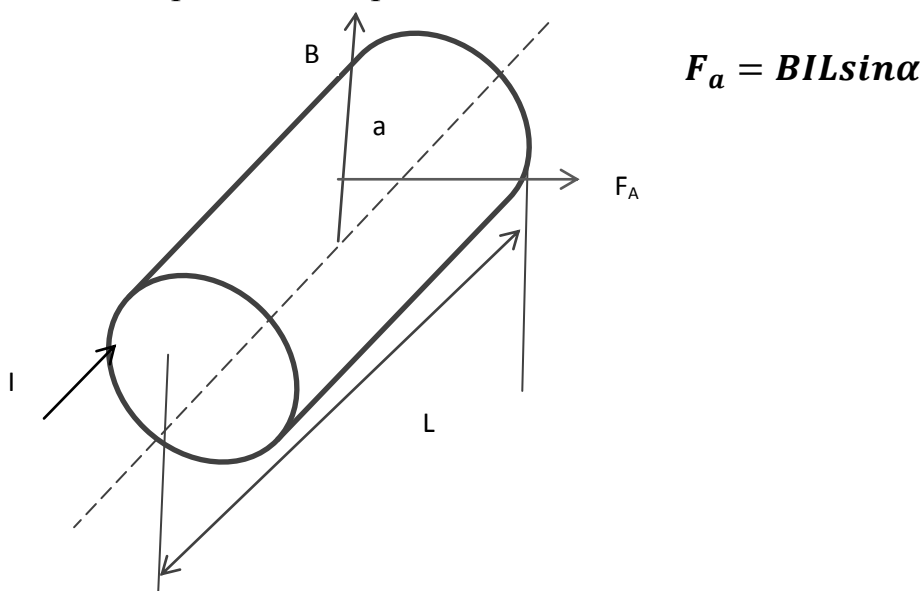
Тема: Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Решение задач по теме "Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле".

Движение заряженных частиц в магнитном поле. Сила Лоренца

Заглянем сегодня с вами в нутрь проводника с током и узнаем, почему же сила Ампера действует на проводник с током.

Вспомним то, что мы с вами уже знаем.

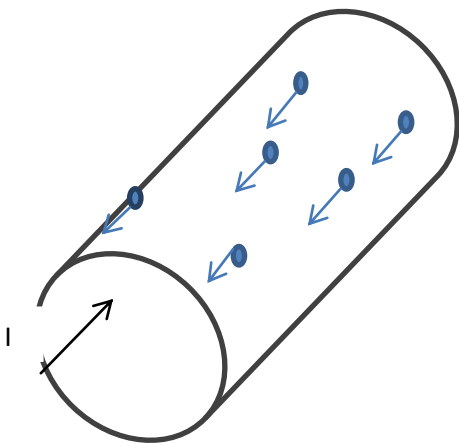
Если проводник находится в магнитном поле, на него действует сила Ампера. Изобразим этот проводник



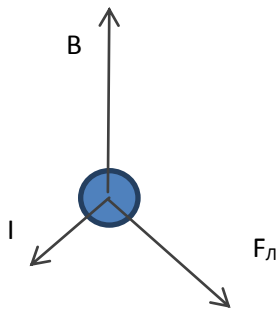
Чем отличается проводник с током от того же самого проводника без тока? (движением заряженных частиц)

Значит сила Ампера возникает только при направленном движении заряженных частиц в магнитном поле.

Опишем то что происходит в проводнике подробнее.



На электроны внутри проводника действует сила Ампера, только она значительно меньше для каждого электрона чем для всего проводника.



Сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле называется силой Лоренца.

Значит сила Ампера это равнодействующая всех сил Лоренца внутри проводника.

Пусть концентрация носителей свободного заряда в проводнике есть n , а q – заряд носителя. Тогда произведение $n q v S$, где v – модуль скорости упорядоченного движения носителей по проводнику, а S – площадь поперечного сечения проводника, равно току, текущему по проводнику: $I = n q v S$.

Выражение для силы Ампера можно записать в виде: $F = qnS\Delta l v B \sin \alpha$.

Так как полное число N носителей свободного заряда в проводнике длиной Δl и сечением S равно $n S \Delta l$, то сила, действующая на одну заряженную частицу, равна

$$F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha$$

Угол α в этом выражении равен углу между скоростью \vec{v} и вектором магнитной индукции \vec{B} .

Важно: сила Лоренца максимальна, если $\alpha = 90^\circ$

Сила Лоренца равна нулю, если $\alpha = 0^\circ$ или $\alpha = 180^\circ$

Как определить направление силы Лоренца?

Направление силы Лоренца, действующей на положительно заряженную частицу, так же, как и направление силы Ампера, может быть найдено по правилу левой руки или по правилу буравчика. Взаимное расположение векторов \vec{v} , \vec{B} и $\vec{F}_{\text{л}}$ для положительно заряженной частицы показано на рис. 1.

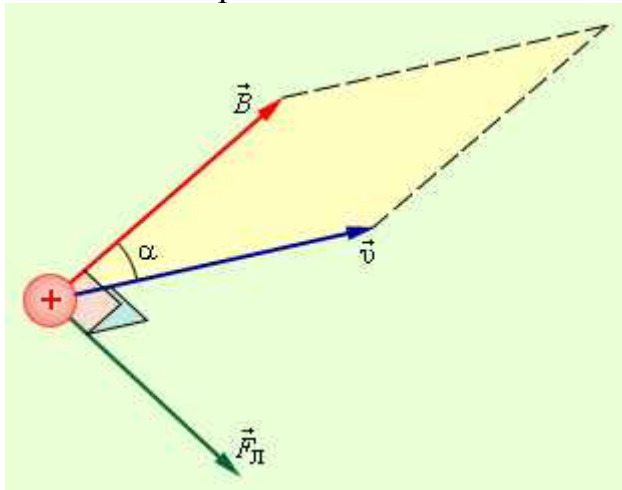


Рисунок 1. Взаимное расположение векторов

Сила Лоренца направлена перпендикулярно векторам \vec{v} и \vec{B}

При движении заряженной частицы в магнитном поле сила Лоренца работы не совершает. Поэтому модуль вектора скорости при движении частицы не изменяется.

Если заряженная частица движется в однородном магнитном поле под действием силы Лоренца, а ее скорость лежит в плоскости, перпендикулярной вектору \vec{B} то частица будет двигаться по окружности радиуса

$$R = \frac{mv}{qB}.$$

Сила Лоренца в этом случае играет роль центростремительной силы (рис. 1.18.2).

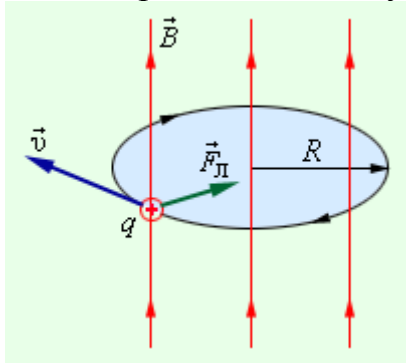


Рисунок 2. Круговое движение заряженной частицы в однородном магнитном поле
Период обращения частицы в однородном магнитном поле равен

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Это выражение показывает, что для заряженных частиц заданной массы m период обращения не зависит от скорости v и радиуса траектории R .

Угловая скорость движения заряженной частицы по круговой траектории

$$\omega = \frac{v}{R} = v \frac{qB}{mv} = \frac{qB}{m}$$

называется *циклотронной частотой*. Циклотронная частота не зависит от скорости (следовательно, и от кинетической энергии) частицы. Это обстоятельство используется в циклотронах – ускорителях тяжелых частиц (протонов, ионов). Принципиальная схема циклотрона приведена на рис. 3.

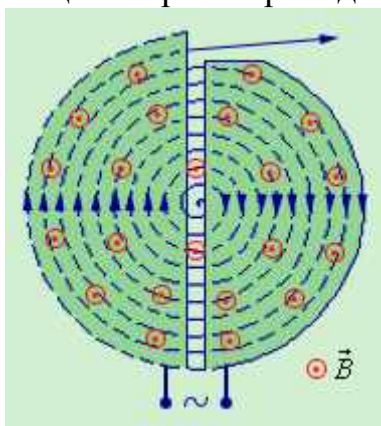


Рисунок 3. Движение заряженных частиц в вакуумной камере циклотрона

Между полюсами сильного электромагнита помещается вакуумная камера, в которой находятся два электрода в виде полых металлических полуцилиндров (*дуантов*). К дуантам приложено переменное электрическое напряжение, частота которого равна циклотронной частоте. Заряженные частицы инжектируются в центре вакуумной камеры. Частицы ускоряются электрическим полем в промежутке между дуантами. Внутри дуантов частицы движутся под действием силы Лоренца по полуокружностям, радиус которых растет по мере увеличения энергии частиц. Каждый раз, когда частица пролетает через зазор между дуантами, она ускоряется

электрическим полем. Таким образом, в циклотроне, как и во всех других ускорителях, заряженная частица ускоряется электрическим полем, а удерживается на траектории магнитным полем. Циклотроны позволяют ускорять протоны до энергии порядка 20 МэВ.

Однородные магнитные поля используются во многих приборах и, в частности, в масс-спектрометрах – устройствах, с помощью которых можно измерять массы заряженных частиц – ионов или ядер различных атомов. Масс-спектрометры используются для разделения изотопов, то есть ядер атомов с одинаковым зарядом, но разными массами (например, ^{20}Ne и ^{22}Ne). Простейший масс-спектрометр показан на рис. 1.18.4. Ионы, вылетающие из источника S, проходят через несколько небольших отверстий, формирующих узкий пучок. Затем они попадают в селектор скоростей, в котором частицы движутся в скрещенных однородных электрическом и магнитном полях. Электрическое поле создается между пластинами плоского конденсатора, магнитное поле – в зазоре между полюсами электромагнита. Начальная скорость заряженных частиц направлена перпендикулярно векторам \vec{E} и \vec{B}

Если скорость частицы имеет составляющую вдоль направления магнитного поля, то такая частица будет двигаться в однородном магнитном поле по спирали. При этом радиус спирали R зависит от модуля перпендикулярной магнитному полю составляющей v_{\perp} вектора \vec{v} а шаг спирали p – от модуля продольной составляющей v_{\parallel} (рис. 5).

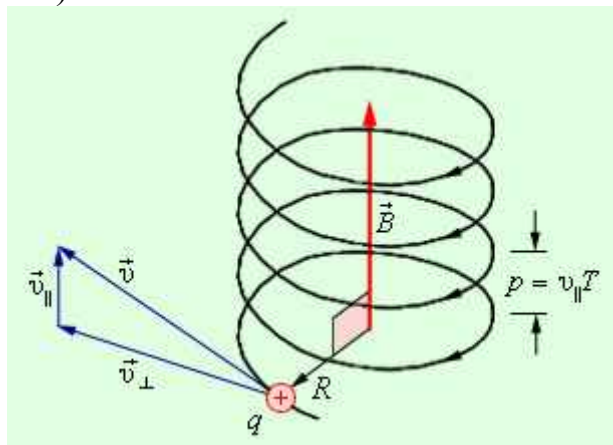


Рисунок 5. Движение заряженной частицы по спирали в однородном магнитном поле

Таким образом, траектория заряженной частицы как бы навивается на линии магнитной индукции. Это явление используется в технике для магнитной термоизоляции высокотемпературной плазмы, то есть полностью ионизированного газа при температуре порядка 10^6 К. Вещество в таком состоянии получают в установках типа «Токамак» при изучении управляемых термоядерных реакций. Плазма не должна соприкасаться со стенками камеры. Термоизоляция достигается путем создания магнитного поля специальной конфигурации. В качестве примера на рис. 1.18.6 изображена траектория движения заряженной частицы в магнитной «бутылке» (или ловушке).

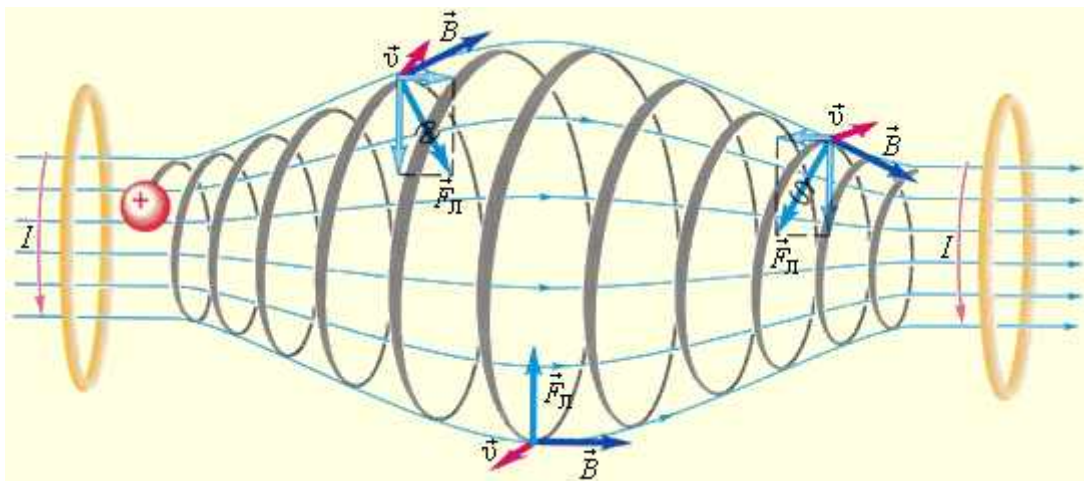


Рисунок 6.Магнитная «бутылка». Заряженные частицы не выходят за пределы «бутылки». Магнитное поле «бутылки» может быть создано с помощью двух круглых катушек с током

Аналогичное явление происходит в магнитном поле Земли, которое является защитой для всего живого от потоков заряженных частиц из космического пространства. Быстрые заряженные частицы из космоса (главным образом от Солнца) «захватываются» магнитным полем Земли и образуют так называемые радиационные пояса (рис. 1.18.7), в которых частицы, как в магнитных ловушках, перемещаются туда и обратно по спиралеобразным траекториям между северным и южным магнитными полюсами за времена порядка долей секунды. Лишь в полярных областях некоторая часть частиц вторгается в верхние слои атмосферы, вызывая полярные сияния. Радиационные пояса Земли простираются от расстояний порядка 500 км до десятков земных радиусов. Следует вспомнить, что южный магнитный полюс Земли находится вблизи северного географического полюса (на северо-западе Гренландии). Природа земного магнетизма до сих пор не изучена.

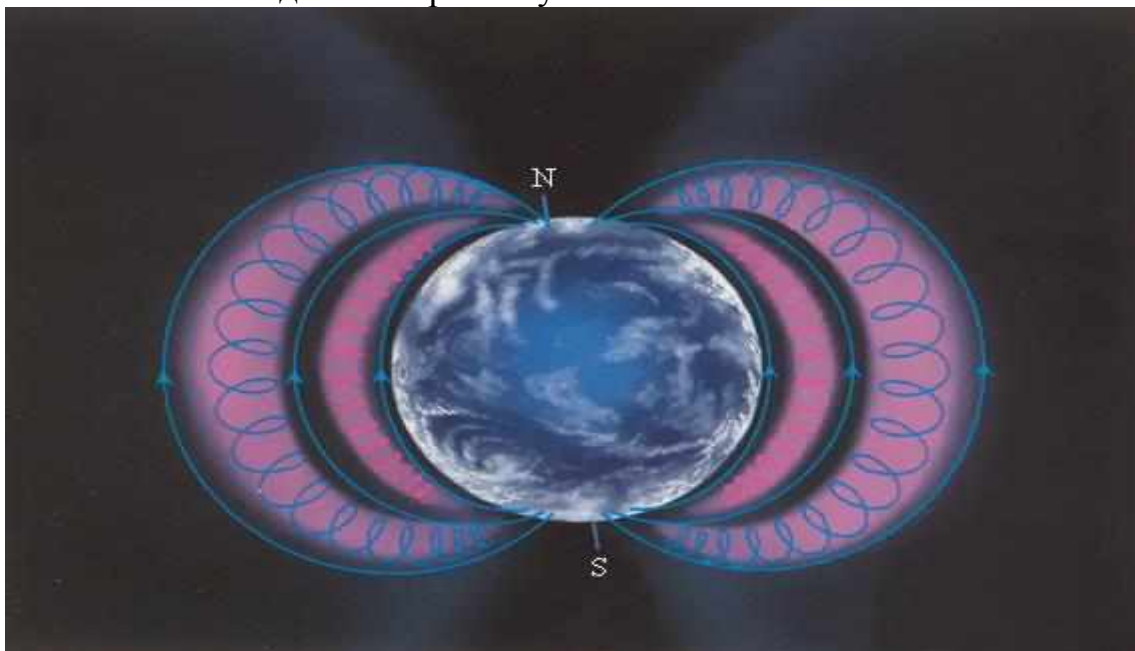


Рисунок 7. Радиационные пояса Земли. Быстрые заряженные частицы от Солнца (в основном электроны и протоны) попадают в магнитные ловушки радиационных поясов. Частицы могут покидать пояса в полярных областях и вторгаться в верхние слои атмосферы, вызывая полярные сияния

