

трические монополи (по-иному называемые зарядами), легко понять, как проводить соответствующие вычисления для магнитных монополей. Мы можем, например, выписать выражение для магнитного поля, которое должен был бы создавать единичный монополь. Действительно, электрическое поле, создаваемое отдельным зарядом q , — это радиальное поле, подчиняющееся закону обратных квадратов. Напряженность поля на расстоянии r от заряда равна

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2},$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2)$ — электрическая постоянная. Аналогично, индукция магнитного поля, создаваемого магнитным монополем, должна быть равна

$$B = \frac{\mu_0 q^*}{4\pi r^2},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$ — магнитная постоянная.

Вы, возможно, недоумеваете, откуда мы узнали, какова должна быть магнитная постоянная. Я выскажу без доказательства или объяснения (вы сможете узнать об этом больше в ходе вашего дальнейшего физического образования) утверждение о том, что существует любопытное соотношение

$$\sqrt{\frac{1}{\mu_0\epsilon_0}} = c,$$

связывающее электричество, магнетизм и оптику как части единой физики. На самом деле магнитная постоянная в единицах СИ определяется нашим выбором электрической постоянной и скоростью света, т.е. магнитная постоянная сама по себе не является экспериментально определяемой величиной. Вы уже знаете, например, что свет (или, в более общем случае, электромагнитное излучение) состоит из колеблющихся электрического и магнитного полей. Для наших проблем это означает, что у нас есть хорошая рабочая формула для магнитного поля, которое создавал бы магнитный монополь. Однако, как это ни печально и, может быть, удивительно, одинокий магнитный монополь никогда не был обнаружен. Но это не мешает нам поинтересоваться, каковы могли бы быть его свойства.

Свойства магнитного монополя

В 1904 году Дж. Дж. Томсон теоретически изучал движение электрона в окрестности магнитного монополя. Несомненно, он хотел понять, как он мог бы «узнать» магнитный монополь, если бы натолкнулся на него. Мы имеем большой опыт определения наличия электрических монополей (зарядов), и я напомню вам, как это делается. Мы просто выстреливаем некоторый заряд в сторону исследуемого и наблюдаем характерное отклонение первого.¹ Чтобы заметить присутствие магнитного монополя, мы также вообразим, что пробный магнитный заряд — движущийся электрический заряд — выстреливается в его сторону, но мы должны понимать, какого рода отклонения следует ожидать. Сила, испытываемая одним электрическим зарядом со стороны другого, направлена по прямой, соединяющей заряды; сила, испытываемая движущимся электрическим зарядом со стороны магнитного монополя, более сложна и потребует детального объяснения.

На рисунке 1 приведена схема вообразаемого эксперимента. Пусть

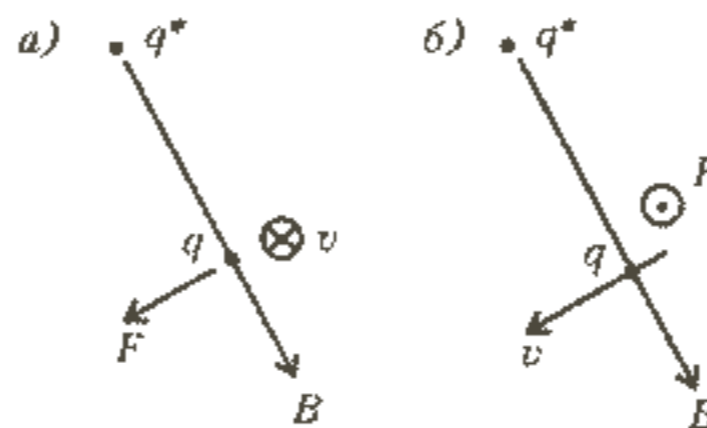


Рис. 1

пробный заряд q обладает начальной скоростью, равной v , и движется по направлению к неподвижному (закрепленному) монополю с «силой» полюса q^* . Мы можем проводить эксперименты с меняющимся прицельным расстоянием b , т.е. расстоянием между двумя прямыми, параллельными скорости заряда, причем

¹ Хотя я еще не упоминал об этом, мы можем также представлять гравитационное поле (поле тяготения) как результат действия гравитационного монополя (обычно называемого массой). Мы замечаем присутствие такого гравитационного полюса путем наблюдения движущейся пробной массы. В отличие от полюсов в электромагнетизме, отрицательных полюсов в гравитации не существует (не существует отталкивающей гравитационной силы).

одна проходит через монополь, а другая — через заряд. Все, что мы должны знать, — это выражение для силы, действующей на движущийся заряд в магнитном поле, а эта сила, разумеется, является хорошо известной силой Лоренца

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}).$$

Одно очевидное заключение, которое мы можем вывести, состоит в том, что при прицельном расстоянии $b = 0$ скорость будет параллельна одной из линий поля и сила, действующая на заряд, не возникнет. Заряд в конце концов столкнется с монополем. Это — крайне маловероятный сценарий, поэтому мы изобразили схематически движение нашего пробного заряда для ненулевых прицельных расстояний. При этом оказывается, что наш заряд движется под ненулевым углом к магнитным линиям поля. В специальном случае, когда скорость заряда составляет прямой угол с магнитными линиями поля, заряд должен двигаться по круговой траектории. Большинство старшеклассников изучают подобные проблемы и даже учатся вычислять радиусы кругового и спирального движений.

Наша задача отличается от вышеупомянутых по двум очень важным причинам. Поле монополя не однородно — его линии расходятся. Поэтому заряд постепенно входит в области все более и более сильного поля. Мы сможем лучше понять траекторию заряда, если разобьем его движение на два этапа. Рисунок 1 выявляет две существенные характеристики движения заряда. В любой момент можно представить скорость в виде векторной суммы двух составляющих — радиальной составляющей, параллельной линиям магнитного поля, и тангенциальной составляющей, перпендикулярной линиям поля. Первоначально движение будет в основном (хотя и не совсем) радиальным, поскольку заряд движется к монополю издалека с небольшим прицельным расстоянием. На рисунке 1, а начальная небольшая тангенциальная составляющая скорости заряда показана стрелкой, направленной за рисунок. Радиальная составляющая скорости не приводит к появлению силы. Сила же, действующая на заряд вследствие тангенциальной составляющей скорости, также тангенциальная.