

Первая общая характеристика движения нашего пробного заряда теперь ясна. По мере приближения к монополю движение превращается из поступательного (близкого к прямолинейному) во вращательное (вокруг узкого пучка линий поля). При этом должен иметь место переход кинетической энергии поступательного движения в кинетическую энергию вращательного движения, поскольку магнитное поле не совершает работы. Действительно, сила Лоренца, действующая на движущийся заряд, всегда перпендикулярна скорости заряда, поэтому она не может изменить величину скорости (а только направление). Заряд, который первоначально двигался по направлению к монополю, замедляет приближение к нему, приобретая одновременно вращательное движение. Так как поле растет по мере приближения заряда к монополю, этот эффект проявляется все больше и больше, пока заряд не приобретает чисто вращательное движение и не перестает приближаться к монополю. Хотя у заряда вначале была в основном радиальная скорость, в конечном итоге он будет иметь чисто тангенциальную скорость.

На рисунке 1, б мы изобразили силу, изменяющую тангенциальную составляющую скорости в магнитном поле. В данном случае сила направлена из рисунка. Таким образом, здесь проиллюстрирована вторая общая характеристика движения нашего заряда: по мере того как заряд приобретает вращательное движение вокруг одной из линий поля, отталкивание между зарядом и монополем растет, что должно привести к обратному превращению вращательного движения в поступательное, но теперь в направлении, противоположном тому, откуда он прилетел.

Объединяя все это, можно сказать, что наш заряд будет приближаться к монополю, закручиваясь все больше и больше вокруг одной из линий поля и испытывая отталкивание при этом закручивании. В некоторой точке заряд будет совершать только вращательное движение и, под действием все еще присутствующего отталкивания, начнет удаляться, двигаясь по спирали вокруг той же линии поля. В конечном итоге мы ожидаем, что заряд вернется обратно, двигаясь к нам с той же скоростью, которую мы ему первоначально придали. Это движе-

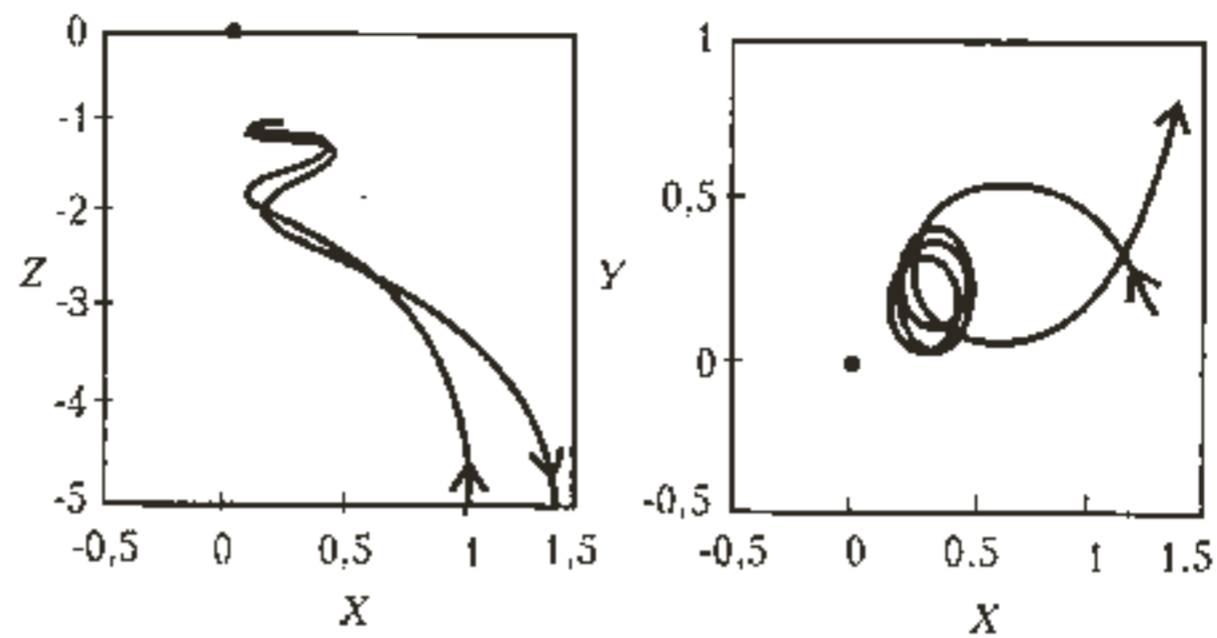


Рис.2. Компьютерные расчеты траектории электрического заряда около магнитного монополя

ние не ограничивается случаем чисто радиального поля, как только что рассмотренное поле монополя. Любое сильно расходящееся магнитное поле будет отражать движущийся заряд таким же образом.

Пространственное движение заряда изображено на рисунке 2 в виде проекции его траектории на две плоскости. Начальная скорость заряда направлена по оси Z , начальное положение заряда в точке $x = 1, y = -5$, а монополь помещен в начало координат. Переменные по осям — это безразмерные величины, используемые для описания движения заряда. Рисунок 2, а представляет вид движения заряда «сверху» в плоскости X, Z . Заметьте, как заряд изменяет свое поступательное движение на вращательное, сначала медленно и затем быстрее и быстрее по мере увеличения интенсивности поля. Рисунок 2, б показывает вид движения заряда, если смотреть от начала «силовой» линии. Заряд первоначально приходит к нам из рисунка и достигает точки, где его движение становится чисто круговым. Силы отталкивания затем посылают его назад в направлении $-Z$, опять заменяя его вращательное движение на поступательное. Спиральное движение заряда вокруг радиальной линии поля ясно видно на двух показанных проекциях.²

Проблема Томсона 1904 года состоит в том, что в простейшем варианте

² Я не могу считать полностью своей идеей построения этих компьютерных рисунков. В 1988 году я читал лекцию о монополях Канадской команде для Международной Олимпиады по физике. Один из членов команды, Дэвид Хогг, послал мне несколько аналогичных компьютерных рисунков, которые он сделал в физической компьютерной лаборатории Массачусеттского технологического института. Мне всегда приятно, когда мой бывший студент становится моим учителем.

предполагается возможность обстреливать электронами неподвижный монополь. Решение такой задачи несомненно дало бы нам некоторое понимание свойств монополя, но мы имеем значительно больше шансов встретить монополь,двигающийся зигзагообразно мимо нас, чем натолкнуться на монополь, стоящий на месте. Нам придется стать немного более изобретательными в наших идеях, чтобы обнаружить монополи, но сначала полезно осознать, что мы можем понять многое в природе, используя наши понятия физики монополей.

Магнитные монополи в природе

Заголовок этого раздела несколько обманчив, поскольку магнитные монополи не существуют (или, по крайней мере, ни один из них не был обнаружен). Тем не менее, наше изучение физики монополей позволит нам понимать природу лучше. Чтобы убедиться в этом, давайте сначала исследуем поле, созданное магнитным диполем. На рисунке 3 изображен магнитный диполь, и мы хотим вычислить величину поля на рассто-

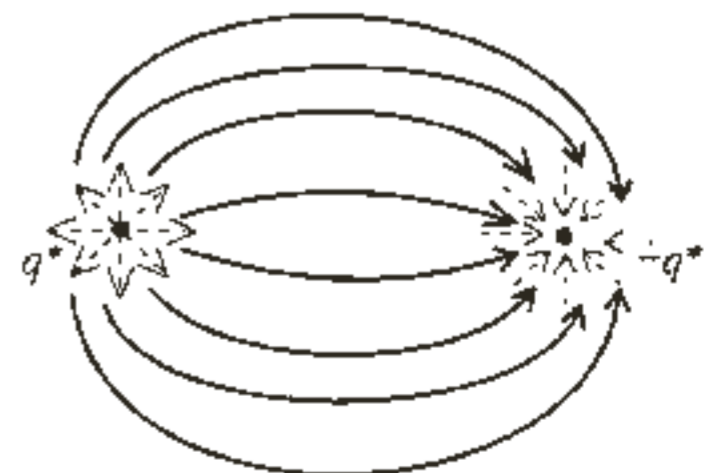


Рис.3. Магнитное поле (сплошные линии) диполя, которое является суперпозицией двух радиальных полей (пунктирные линии), окружающих каждый отдельный полюс