

**ТОРШИН В.В.**

***Спиральные образования  
в природе и  
электродинамике***



**МОСКВА 2008**

**ТОРШИН В.В.**

***Спиральные образования  
в природе и  
электродинамике***

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЦП ВАСИЗДАСТ»

**МОСКВА 2008**

НО 2 МЗ/02  
УДК 621. 362.533.4/531.3

Рецензенты:

Академик Международной Академии наук информатизации при ООН, действительный член Центрального Дома ученых РАН, *Б.П. Бусыгин*.  
Профессор, *В.В. Морозов*.

**Торшин В.В.** «Спиральные образования в природе и электродинамике» – М.: ЦП ВАСИЗДАСТ, 2008, – с. 251.: ил.

**ISBN 591190 – 029 – 7**

В работе рассматриваются *спиральные* структуры, которые принимают различные объекты и явления природы. В этой работе делается попытка приоткрыть некоторую завесу тайны, окружающую этот удивительный *факт природы: почему образуются такого вида образования* и что лежит в основе механизма их создания. На примере явления «*торнадо*» показывается теснейшая взаимосвязь *спиральных образований с электромагнитными взаимодействиями*. Описывается *новый эффект генерации* постоянного электрического тока в *неподвижном проводнике, помещенном в спиралеобразное постоянное магнитное поле*. Указываются возможные области применения *эффекта генерации* в промышленности.

Для специалистов в области электродинамики, студентов, аспирантов, изобретателей.

Иллюстраций 122.

Библ. 16.

НО 2 МЗ/02  
УДК 621. 362.533.4/531.3

**ISBN 591190 – 029 – 7**

© Торшин В.В., 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Спиральных структур в природе, мы можем наблюдать достаточно много. Стоит только внимательно всмотреться в различные объекты природы, и можно легко убедиться, что спиралеобразную конфигурацию принимают те или иные явления природы. Первое, что приходит в голову это, например, вода, вытекающая из стеклянной воронки, водовороты на реке, явление «*торнадо*». Галактики, обладающие спиральными структурами, известны с древнейших времен, наконец, даже модель ДНК человека имеет вид двойной спирали. Примеры, которым соответствуют *спиральные структуры*, можно продолжать еще долгое время.

Однако ясного, четкого, ответа на вопрос, *почему образуются такого вида образования*, что лежит в основе механизма их создания, пока остается все еще открытым. В этой работе делается попытка приоткрыть некоторую завесу тайны, окружающую этот удивительный *факт природы*, поэтому основное внимание будет уделено *общему* механизму создания процесса формирования *спиральных структур* в различных объектах и явлениях природы.

И, как это ни странно звучит, наиболее вероятным ответом окажется теснейшая взаимосвязь *спиральных образований с электромагнитными взаимодействиями*. Это утверждение основывается на глубоком анализе отличных друг от друга явлений природы и обширного экспериментального материала, что и позволяет сделать вывод о близкой связи электродинамики со спиральными структурами для многих явлений природы. Данная работа как раз и посвящена такому подходу.

Чтобы наглядно представить, какому большому числу объектов и явлений природы присущи *спиральные структуры*, в *первой главе* описываются не только примеры, факты и явления, которые хорошо *известны* и существуют в природе, но и такие примеры, которые *не столь очевидны*, но также обладают спиралеобразной конфигурацией.

Во второй главе показывается, как законы электродинамики связаны с физикой образования различных спиральных структур. Эта глава излагается на примере типичной спиральной конфигурации - явления «торнадо».

Явление «торнадо» выбрано в качестве базового по целому ряду причин. Это природное явление до сих пор является большой загадкой. Как уже было упомянуто, *торнадо* является типичным спиральным динамическим образованием. Объяснению этого природного явления посвящено огромное количество научных работ, но до сих пор единого мнения на это явление не существует, а продолжающиеся ежегодно катастрофические разрушения от этого страшного явления, убедительно показывают, что веского ответа на вопрос о причинах происхождения этого катаклизма природы пока еще не найдено.

Но, пожалуй, главной причиной выбора именно «торнадо», а не другого объекта или явления следует считать то, что *торнадо* по своему механизму формирования, развития и спиралеобразной конфигурации, соответствует множеству других явлений и объектов окружающего мира. Вот с этой точки зрения, общности различных явлений или системной закономерности, до сих пор задача о причинах происхождения торнадо не рассматривалась. Поэтому во второй главе делается попытка вскрыть основные причины и условия возникновения этого страшного катаклизма природы именно с осознанием единства образования спиральных структур для различных явлений природы.

В третьей главе рассматривается роль электромагнитных взаимодействий в образовании различных спиральных структур. Главное внимание в этой главе уделено траекториям и формам движения электрических зарядов при электрических разрядах. На базе лабораторных экспериментов проводимых в рамках научных исследований электрических разрядов в различных средах, делается заключение о том, что конфигурация и траектория движения в канале разряда носит спиралеобразный характер. Сходство электрических разрядов,

проведенных в лабораторных условиях с настоящими *молниями*, позволило лучше уяснить природу этого природного явления.

Такой подход дал возможность по иному подойти к пониманию причин и условий происхождения «*торнадо*» и других спиралеобразных структур.

Так, на основе понимания движения зарядов как *спиралеобразного* движения не только в воздухе, но и *любом проводнике*, в *четвертой главе* описывается *новый эффект генерации* постоянного электрического тока в *неподвижном проводнике*, который был *открыт* в рамках научных экспериментов *со спиралеобразным постоянным магнитным полем*. Открытый эффект позволяет создавать новые многофункциональные датчики различного назначения для измерения широкого спектра физических параметров (усилий, давлений, температур, расхода, скорости жидкости и газов и др.). В *четвертой главе* приводятся характеристики эффекта генерации и описываются некоторые опыты, которые дают возможность полнее понять **спиралеобразность**, как одну из *системных закономерностей* природы.

Представленный материал позволяет несколько *по-иному* увидеть те очевидные окружающие нас предметы, объекты и явления, которые повседневно охватывают нас, наш мир, наконец, нашу Вселенную.

## ГЛАВА 1. СПИРАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ В ОКРУЖАЮЩЕМ МИРЕ.

Спиральных структур в природе, мы можем наблюдать достаточное множество. Внимательно вглядываясь в окружающий мир, нельзя не заметить какое громадное число всевозможных объектов принимают *винтовую* или *спиралеобразную* форму. Первое, что приходит в голову это вода, которая вытекая из стеклянной воронки, закручивается в спираль, водовороты на реке, различные выющиеся растения, обвивающие деревья в лесу, спиралеобразные галактики, известные еще с древнейших времен, такое разрушительное явление как «торнадо» или ураган в океане, наконец, даже модель ДНК человека имеет вид двойной спирали. Примеры, которым соответствуют *спиральные структуры*, можно продолжать и продолжать.

Однако ясного, четкого, ответа на вопрос, *почему формируются такого вида образования*, что лежит в основе механизма их создания, пока не существует. Конечно, есть большое число научных объяснений отдельных явлений, но общего всеобъемлющего ответа для всех типов *спиральных образований* пока еще нет. Попытаемся приоткрыть некоторую завесу тайны, окружающую этот удивительный факт природы, и прежде всего, уделим особое внимание *именно механизму создания* процесса формирования спиральных структур в различных предметах и явлениях природы.

Но, прежде всего, рассмотрим примеры существующих явлений и предметов, которые представляют собой *винтовую или спиралеобразную форму*. Такой подход даст возможность показать некоторую *общность* в совершенно разных объектах природы. Предлагаемый краткий обзор позволит передать не только очевидные и существующие в природе явления, но и такие, которые не столь очевидны, но которые также обладают *спиралеобразной* конфигурацией.

Итак, начнем постепенно представлять спиралеобразные структуры объектов, и, прежде всего *структур флоры*. Это наиболее хорошо изученная сфера с древнейших времен и колоритные фотографии таких формирований послужит хорошим началом для дальнейшего изложения материала. Кроме того, такой выбор основывается еще на одном немаловажном соображении.

Все, что растет из почвы, дает пищу человеку и животным, и в конечном итоге воздействует не только на климат, но и на экологию земной атмосферы, т.е. несет непосредственное влияние на среду обитания и жизнь человека. Известно, что растения дают кислород для человека, вот почему особенно важно понять механизмы произрастания и роста именно растений. Вот почему обзор *спиральных структур* мы начинаем именно с растений совершенно разного типа и класса, но которые несут в себе главное обстоятельство – *винтовую, спиралеобразную* конфигурацию роста.

Большинство фотографий представлены автором, однако, если фотографии получены из других источников, ссылки на авторов приводятся обязательно. Кроме этого, поскольку автор не является специалистом в области ботаники, то заранее просит извинения, за неточности в квалификации того или иного вида или типа дерева или растения. Однако, осознавая это, автор постарался представить наиболее известные растения или деревья, известные практически любому человеку. Главная цель в выборе того или иного типа объекта, как уже отмечалось, была задача показать общность *спиралеобразной* формы роста и развития растения или дерева.

На рис. 1.1-1.3 представлено несколько типичных вьющихся растений - лиан. Известно, что этот класс растений (например, виноград) очень распространен в природе и является наиболее ярким представителем *спиралеобразной формы* роста растений. Как видно из рисунка 1. 1, боковые отростки лианы переплелись, друг с другом в форме двойной спирали.





Рис. 1.1. Переплетающие спиральные ветви типичной лианы

Центральный ствол этого дерева целиком состоит из *пучка* сплетенных друг с другом отдельных веток, которые полностью образуют спиралеобразный клубок.

На рисунках 1. 2 и 1. 3 показан другой небезынтересный случай, когда ветви лиан расположены настолько близко, что образуют плотный ствол дерева без каких – либо промежутков. На рис. 1.3 показан наиболее яркий представитель класса лиан, многолетний ствол целого дерева с сочной спиралеобразной структурой.

Вглядываясь в эти фотографии, поражаешься теми могучими силами, которые заставляют так изгибаться отдельные ветви, чтобы они в конечном итоге образовали единый ствол настоящего дерева, скрученный *в спираль* (рис. 1.2, 1.3). Существуют, конечно, и целый ряд других фотографий вьющихся растений, которые наглядно показывают, как могут

небольшие растения обвиваться по спирали вокруг толстого ствола дерева.

Так, на рис. 1.4 представлена одна из таких фотографий, где хорошо видно, как тонкий стебель вьюнка обвивает толстый ствол пальмы, образуя вокруг пальмы типичную спираль.



Рис. 1.2. Сплошной ствол спиралеобразной лианы с ответвлениями

Однако не только стебель вьюнка способен закручиваться в спираль. Если внимательно приглядеться к стволу самой пальмы, то нельзя не заметить, что «мохнатая» часть пальмы сама имеет *спиралеобразный* узор вокруг своего ствола. «Волосы» пальмы также структурируются в спираль, поднимаясь постепенно к кроне пальмы. Это можно увидеть, если внимательно посмотреть на ствол пальмы, фотография которой представлена на рис. 1.5.



Рис. 1.3. Фотография яркого представителя класса лиан, образующего настоящее спиралеобразное дерево.



Рис. 1.4. Тонкий стебель вьюнка обвивает ствол пальмы по спирали

На рисунке 1.5 представлен увеличенный фрагмент части ствола пальмы, а стрелками условно обозначены направления шага спирали волосков «шубы» пальмы.



Рис. 1.5. Фрагмент ствола пальмы. «Шуба» из волосков пальмы закручена в спираль.

До сих пор мы рассматривали так называемые *очевидные спиралеобразные* формы развития растительности, которые

очень характерны для класса лиан или вьющихся растений. Но кроме очевидных спиралеобразных конфигураций существуют еще большое множество *неочевидных* растений и деревьев, которые также обладают *спиралеобразной формой* роста.

Покажем этот вид растений и убедимся, насколько многообразна природа спиралей. На рис. 1.6 изображена небольшая 3-х летняя обыкновенная сосна.

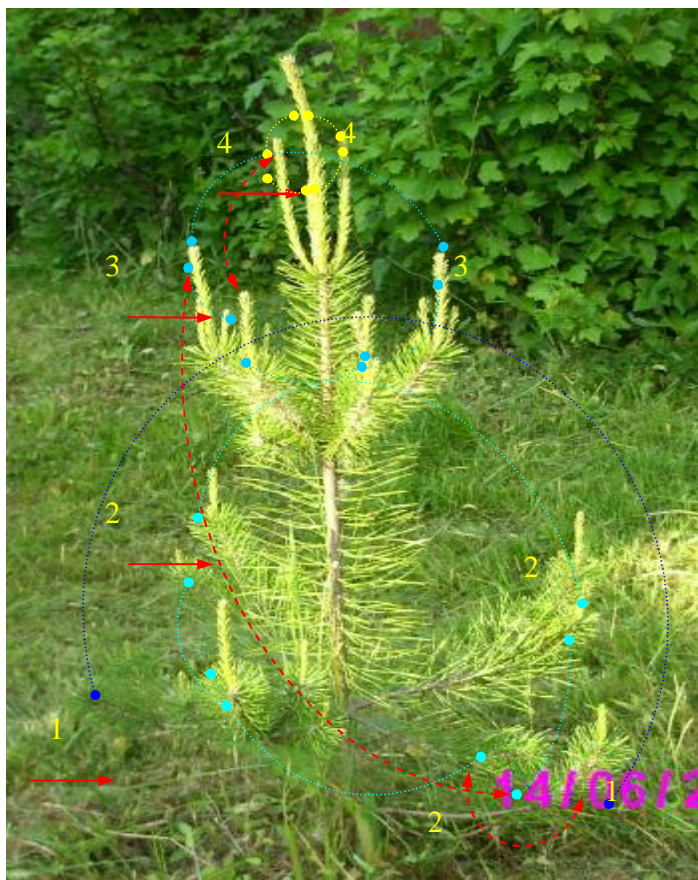


Рис. 1.6. Спиралеобразное развитие сосны обыкновенной.

В зависимости от номера ряда веток (1-4, рис. 1.6) идущих от ствола, каждая ветка последующего слоя повернута относительно предыдущего ряда на некоторый угол. Таким образом, получается, что каждая последующая веточка соответствующего ряда поворачивается относительно оси ствола на некоторый угол и в целом образует *неявную* спираль. На рисунке 1.6 стрелками обозначены связи между рядами веток. Таким образом, начиная с первого слоя поворот, совершается на 360 градусов, а далее *спираль поднимается* постепенно до 4 ряда веток.

Чтобы показать более явственную картину спиралеобразного роста сосны, на рис. 1.7 показана фотография сосны, сделанная с вертикального ракурса.

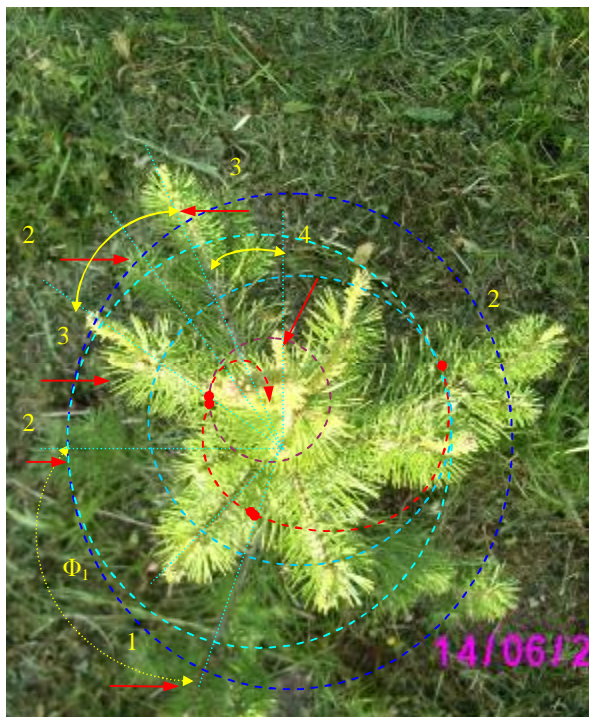


Рис. 1.7. Спиральное развитие сосны, вид сверху.

В действительности, такое изображение (рис.1.7) позволяет увидеть *очевидную* спираль. Хотя в рассматриваемом случае такой спиралеобразное развитие сосны не так *очевиден*, как это имело место для лиан, но в действительности этот факт происходит в природе для любой сосны, ели, березы и других деревьев. Слои обозначены пунктирами разного цвета, образуя эллипсы.

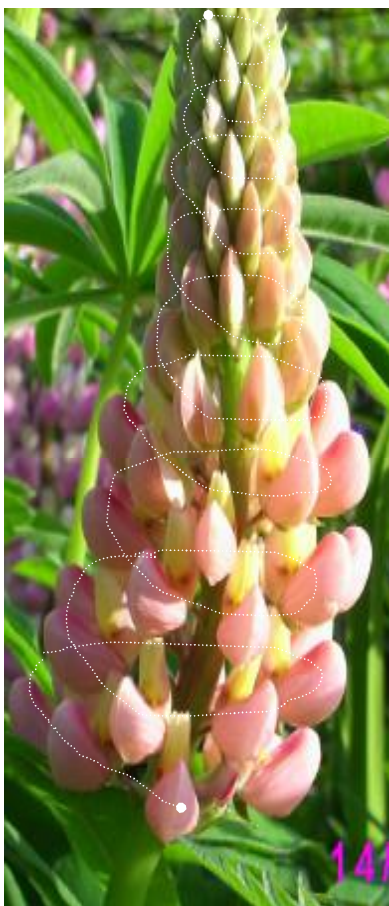
На фотографии (рис.1.7) лучами, исходящими от оси сосны обозначены ветви соответствующего ряда, а **спираль** начинается от первого ряда ветвей и заканчивается центральным побегом, берущим свое начало из последнего четвертого ряда. На рисунке 1.7 показаны углы поворота каждого ряда относительно предыдущего, один из углов, в качестве примера, обозначен как угол  $\Phi_1$ .

Не только деревьям, но и многим цветкам различных растений присуща способность, создавать спиральные структуры. Для большей наглядности, рассмотрим две фотографии цветка – люпина, который показаны на рис. 1.8. Этот красивый цветок с многочисленными разноцветными чашечками также образует *спиралеобразную* конфигурацию.

*Каждый* последующий ряд цветков (рис. 1.8 а, б), начиная с нижнего ряда, *смещен* относительно нижнего ряда на некоторый угол, образуя таким способом своеобразную шапку из отдельных соцветий, а в целом также как и сосна, неявную спираль вокруг своей оси.

Можно привести еще много растений, которые также обладают *неочевидной* спиралеобразной формой роста, например, обыкновенная крапива, лечебный цветок алоэ, лесной папоротник и т. д. и т. п. По сути, *все* перечисленные *растения идентичны по форме роста* ветвей рассмотренным примерам, поэтому дальнейшего представления не нуждаются. Главный вывод из приведенных примеров заключается в возможности показа некоторой *общности* для совершенно разных типах растений, а именно, в том, что все вышеупомянутые растения обладают свойством расти *спиралеобразно*.





а)



б)

Рис. 1.8. Цветок люпин; а) – фото в профиль, б) – вид сверху

А вот ответ на главный вопрос, *почему* они так развиваются, остается пока открытым и нам предстоит еще ответить на него.

В первом приближении представляется такое объяснение факта *спирального развития* растений. Назовем его *фактором приобретения максимальной энергии* при развитии растения.

Действительно, если обратиться к рисункам 1.6 – 1.8, то нельзя не увидеть то обстоятельство, что каждая последующая ветвь сосны или цветок люпина в последующем ряду должны получить *максимальное количество энергии* от солнца.

Если бы ветки располагались непосредственно друг над другом, то любая верхняя веточка или цветок, расположенная выше, забирали бы значительную долю солнечной энергии у нижерасположенной ветви или цветка. Такое состояние привело бы к снижению скорости развития всего дерева или растения в целом. Однако природа слишком умна, чтобы допустить такой казус. Именно в соответствии с *фактором приобретения максимальной энергии* всем деревом в целом (как системой), а не отдельной его составляющей (веткой или цветком, как подсистемы) и состоит *целесообразность развития* и роста растения по *спиральной траектории*.

Конечно это, грубое, на первый взгляд, приближение к тайне развития и роста растений, однако если отбросить всякую предвзятость, то можно заметить в природе такие явления как поворот растений и цветков к солнцу по мере его продвижения по своей обычной дневной траектории. Первое что приходит на ум это, например, растение *подсолнух*, чашечки которого в течение дня следуют за солнцем, чтобы получить *максимальное количество энергии*. Конечно, именно поэтому это растение и получило свое название *подсолнух*. На этом же принципе - *факторе приобретения максимальной энергии* - работают все созданные человеком солнечные батареи. Ввиду этого, *введенный* нами *фактор* не является столь уж фантастичным для еще одного из многих объяснений *спиралеобразного развития растений*.

До сих пор мы анализировали флору. Но кроме флоры имеется еще целый ряд природных явлений, которым также свойственна *спиралеобразная форма развития*. Небезынтересно взглянуть какие еще природные создания обладают таким свойством. И в первую очередь, конечно, следует обратиться к космическим объектам – галактикам.

В чем сходство галактик и деревьев? *Спиралеобразные галактики* известны с древнейших времен. И деревья развиваются с древнейших времен. Но главное подобие состоит в том, что и те и другие развиваются относительно медленно, практически незаметно для глаза. То есть процессы фактически *квазистатические* естественно относительно жизни одного (дерева) или многих (галактики) поколений людей (исключая конечно цветочные культуры или растения).

Посмотрим, как в далеком космосе развиваются спиралеобразные формирования. Соблюдается ли и там *принцип целесообразия* распространения максимальной энергии? Для начала далеко ходить не будем. Проанализируем лучи нашего Солнца.

Известно, что существует корпускулярно-волновая теория света, согласно которой свет является одновременно и частицами и волной. Но если следовать нашей логике, то прямые лучи не могут существовать, поскольку каждая впереди летящая частица (так называемые фотоны) тормозила бы частицу, следующую за ней. Это означает, что частицы должны колебаться, чтобы не мешать последующим, продвигаться вперед. Допустим, они колеблются, но как? В каких плоскостях происходит такое колебание?

Естественно напрашивается ответ: чтобы обеспечить *фактор максимального переноса* энергии, частицы должны двигаться *спиралеобразно*! Для каждого цвета в спектре обычного белого цвета давно подсчитаны частоты колебаний и приводятся в любом школьном справочнике. Но то, что колебания могут совершаться *по спирали* не написано, ни в одном учебнике.

Приведем несколько примеров спиралеобразных галактик. На рис. 1.9 представлены три спиралеобразные галактики. На нижней фотографии квадратом обозначено месторасположения нашего Солнца. Снимки взяты из журнала в Интернете по адресу: <http://www.sciencedaily.com>.

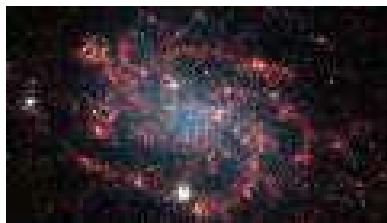


Рис. 1.9. Спиралеобразные галактики

Кроме спиральных галактик, изображенных на рис. 1.9, существует еще одна *спиралеобразная форма*, но уже не отдельной галактики, а возможно всей Вселенной. Так, в статье «Возможно, у нашей Галактики не четыре, а всего два спиральных "рукава"», опубликованной 04 июня 2008 года, на научном сайте «membrana.ru» Юрием Ильиным, сообщается об открытии, сделанном в Агентстве NASA совместно с Калифорнийским технологическим институтом.

В соответствии с этим сообщением, американские ученые опубликовали колоссальных размеров снимок нашей Галактики, сделанные инфракрасным орбитальным телескопом Spitzer. Мозаика составлена из 800 тысяч отдельных изображений,

полученных с помощью инфракрасного массива камер (infrared array camera) и многодиапазонным фотометром (multiband imaging photometer), которыми оборудован телескоп. Приведем только две из большого числа фотографий, которые представлены на рис. 1.10.

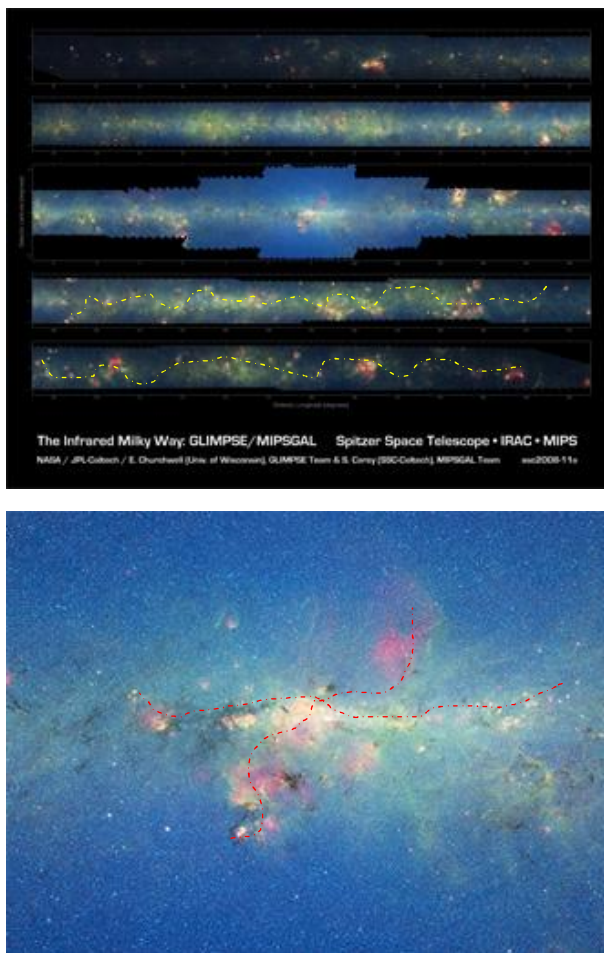


Рис. 1.10. Мозаика, составленная из снимков нашей Галактики, сделанных телескопом Spitzer и центр нашей Галактики в инфракрасном диапазоне

Как отмечается в комментариях к изображению, зелёные области обозначают скопления органики - полициклических ароматических углеводов, синий цвет на снимках соответствует излучению звёзд, красный - разогретой пыли и газам. Регионы, в которых происходит активное формирование новых звёзд, представлены как переплетения красного и жёлтого. Данный снимок вызвал удивление у астрономов: получившаяся картина не вполне соответствовала прежним представлениям о структуре Млечного пути.

Астроном Роберт Бенджамин из Университета штата Висконсин в Уайтуотере в интервью *New Scientist* и вовсе высказал предположение, что у нашей Галактики не четыре, как предполагалось до сих пор, а всего *два больших спиральных рукава*. Бенджамин считает, что рукава, которые он предлагает считать "малыми", состоят преимущественно из пыли и газов и содержат лишь очень небольшое количество звёзд, в то время, как два других рукава содержат и газ, и звёзды в больших количествах. Помимо основных "рукавов", согласно современным представлениям, Млечный путь обладает несколькими меньшими "отростками", в одном из которых, кстати, располагается Солнечная система. В Интернете можно подробно ознакомиться с этой информацией по адресу [www.spitzer.calltch.edu/Media/releases/](http://www.spitzer.calltch.edu/Media/releases/). Несколько позднее, покажем сходство формы скоплений, показанных на фотографиях, сделанных с помощью телескопа Spitzer с фотографиями подлинных молний и фотографиями зоны электрического разряда, сделанными в лабораторных условиях.

Но вернемся опять на Землю. Человек тоже имеет в своей основе *спиральные* образования, а именно его модель ДНК представляет собой двойную спираль. Покажем одну из моделей ДНК человека, чтобы убедиться в этом, давно уже принятым мировым научном сообществе факте. Такая модель изображена на рис. 1.11.

Как видно на рисунке 1.11, модель состоит из двух спиралей, расходящихся в определенной зоне. Это так называемая ВИЧ- спираль человека пораженного этой болезнью.

Диаметр двойной спирали ДНК  
20 ангстрем



Рис. 1.11. Одна из моделей ДНК человека.

На этом рисунке обозначены размеры, и шаг двойной спирали. Модель взята из медицинского сайта в Интернете по запросу по поиску: ДНК человека. По такому запросу можно найти тысячи разнообразных моделей, но понравилась именно эта модель, с возможностью расщепления одной двойной спирали на четыре.

Поскольку была упомянута модель ДНК человека, нельзя не привести еще ряд примеров образования *спиральных структур* в других, казалось бы, совершенно разных и далеких друг от друга объектах. Эта информация еще раз показывает, как далеко распространяются *спиральные* формирования.

Учёные готовятся встретить жизнь в недрах Солнца. Учёные собираются найти генетический код в полярных сияниях. Учёные ищут разум в газопылевых дисках. Учёные вот-вот найдут гены у люминесцентной лампочки. Что это? Скажете, заголовки "жёлтых" газет? Ничего подобного! В самом деле, этими необычными утверждениями могут скоро запестреть научные журналы. Конечно, если подтвердится одно недавнее открытие. Эта информация получена с сайта <http://www.mpe.mpg.de>.

Обычная плазма — это ионизированный газ, который является квазинейтральным. Иначе говоря, плазма представляет собой "набор" из ионов и электронов. Их электрический заряд в сумме нейтрален, поэтому плазма не заряжена. Она имеет необычные свойства, взаимодействует с внешними магнитными полями и является проводящей средой.

Плазму называют четвёртым состоянием вещества — помимо твёрдого, жидкого и газообразного состояния. На первый взгляд, плазма — это что-то редкое и экзотическое, однако это неверное представление. По некоторым оценкам, из неё состоит до 99% Вселенной, так как она собирает основную часть галактик, звёзд, межзвёздного газа.

Но физиков интересует не столько обычная плазма, сколько более сложный случай — так называемая *пылевая плазма*. Так вот в этой пылевой плазме недавно нашли необычные *спиралеобразные* структуры, напоминающие ДНК человека. Пылевая плазма отличается от "просто плазмы" наличием пылинок — крошечных частиц диаметром от 10 до 100 нанометров. Впервые пылевую плазму в лабораторных условиях в 1920-х годах наблюдал Ирвинг Лэнгмюр (Irving Langmuir), нобелевский лауреат по химии, который собственно и предложил ввести в научный обиход слово "плазма".

Но с тех пор плазма с пылью внутри практически никого не интересовала. Только немного она привлекала астрономов, ведь космическую плазму засоряют самые разные частицы: от звёздной пыли до тех, что входят в состав колец Сатурна. Тяга к пылевой плазме у учёных снова возникла в середине 1980-х годов в связи с развитием технологий создания микросхем.



Одним из важных условий разработки в ряде производственных процессов была герметичность — точнее, полное ограничение доступа пыли к заготовке. Это было связано с тем, что в определённых случаях попадание микрочастиц приводило к порче чипа. Однако оказалось, что при создании микросхем посредством плазменного травления — метода, использующего поток плазмы для распыления подложки — от пыли избавиться очень трудно. Экспериментаторы винили в этом пыль, попадавшую снаружи в камеру, где происходит травление. Когда же они стали прикладывать больше усилий для очистки внешнего помещения, это не особенно помогло.

Долгое время никто не мог понять — в чём дело, пока внутри камеры не направили луч лазера и не увидели, что пыль возникает в результате самого процесса травления и попадает в плазму. При этом частицы со временем в ней слипаются, и вместо нанометровых размеров они приобретают микрометровые масштабы. А это уже губительно для микроустройств. На рис. 1.12 показана пылевая плазма под воздействием лазера.

Большинство опытов по исследованию пылевой плазмы проводится в земных лабораторных условиях. На рис. 1.12 показан такой лабораторный снимок пылевой плазмы. Здесь от неё исходит голубоватое свечение, а красный луч — это лазер, в котором хорошо заметны пылевые частицы (фото с сайта <http://www.mpe.mpg.de>). На фотографии хорошо видны образующиеся структуры пылинок, которые с виду напоминают *спиральную конфигурацию*, причем, как вокруг лазерного луча, так и в отраженной трубке над ним.

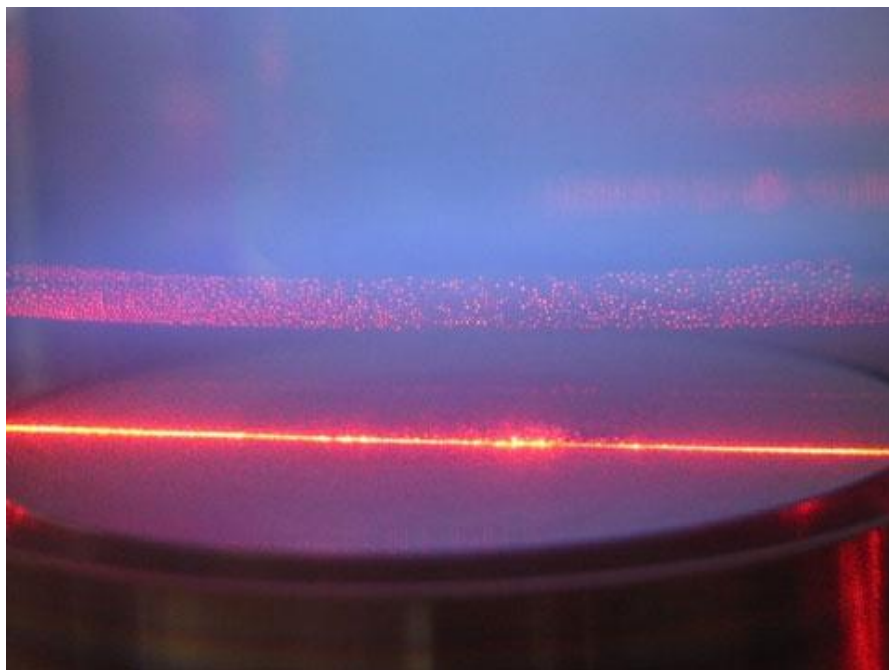


Рис. 1.12. Пылевая плазма при просвечивании пылевого пространства лучом лазера.

Уникальным исключением является эксперимент "Плазменный кристалл" (Das Plasmakristall-Experiment), уже много лет, проводящийся на Международной космической станции. Автор концепции эксперимента — Грегор Морфилль (Gregor E. Morfill), профессор Института внеземной физики Макса Планка (Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik). Подробную информацию об этих экспериментах можно найти на сайте <http://www.mpe.mpg.de>.

Оказалось, что действительно мельчайшие пылинки действительно организуются *в спираль*, напоминающую *двойную спираль ДНК*. Вот что сообщается в информации на указанном сайте в Интернете. Каково же было удивление Морфилля и его коллег, когда они увидели, что в результате компьютерного моделирования произошло не то, что бывает в реальных условиях! По итогам их опыта оказалось, что плазменная кристаллизация привела не к возникновению регулярно распределённых в пространстве гранул, а к формированию длинных цепочек из пылинок.

Интересно, что эти *цепочки сами собой* (?!!!) *закручиваются в спирали*. К тому же, они стабильны и способны к *взаимодействию друг с другом*. Это довольно-таки странно и, можно сказать, подозрительно, ведь, как заметили исследователи в *статье*, опубликованной в "Новом журнале физики" (New Journal of Physics) по адресу <http://www.iop.org/EI/abstract/>, такие особенности обычно характерны для организации живой материи. В частности, для ДНК...

В этой опубликованной статье приводятся и самая существенная для нас информация. *Спиральные структуры*, как, оказалось, могут эволюционировать со временем, становясь устойчивее. Кроме того, *спирали при определённых параметрах плазмы могут притягиваться друг к другу — несмотря на то, что их заряд одинаков. А ещё они способны создавать собственные копии*. На рис. 1.13 показан механизм такого взаимодействия.

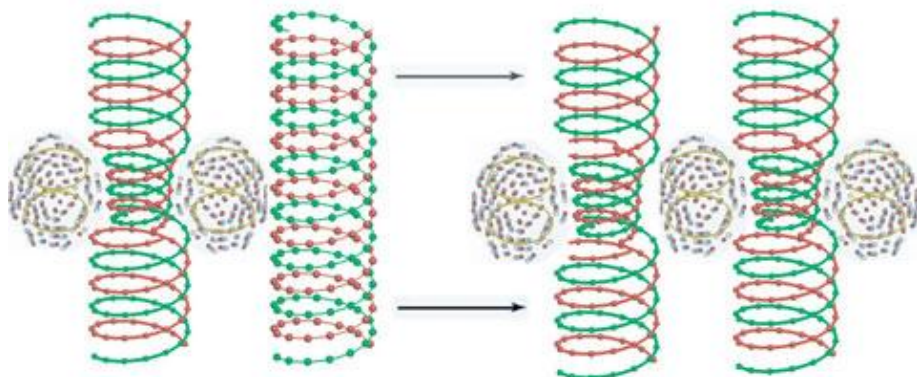


Рис. 1.13. Взаимодействие спиральных структур.

Процесс создания копии спирали подразумевает существование промежуточного вихря частиц, который возникает рядом с углублением в одной спирали и создает новое углубление на другой (иллюстрация Tsytoich V.N. et al.). Ещё интереснее то, что *части спиралей*, могут пребывать в *двух устойчивых состояниях с разными диаметрами*. А так как на одной спирали может помещаться *множество отрезков с разными сечениями*, то они, очевидно, могут и передавать, таким образом, информацию. Конечно, надо не забывать о том, что такие "ДНК" (их нельзя назвать молекулами, так как в их состав входят не атомы, а более крупные пылевые частички) не могут существовать сами по себе без плазмы. Тем не менее, не исключено, что в ходе дальнейших компьютерных экспериментов они могли бы эволюционировать в более сложные структуры.

Есть над, чем задуматься. Ведь пылевая плазма возникает довольно часто в природе, и было бы довольно неожиданно обнаружить молекулы, сравнимые с ДНК, скажем, в каком-нибудь экстравагантном звёздном хвосте, сообщается на

научном сайте по адресу (<http://www.membrana.ru>). Понятно, что компьютерные условия отличаются от естественных условий. Но всё же...

Приведем еще один пример *спиральной* структуры вещества, без которого не было бы жизни на земле. Как это не звучит парадоксально, таким веществом является *обыкновенная вода*, правда при определенных условиях. Вот какая информация содержится в сообщении на сайте <http://www.unl.edu>. Если поместить обычную воду внутрь нанотрубок, то при определённых условиях её молекулы выстроятся таким образом, что будут напоминать *спирали молекулы ДНК*. На рис. 1.14 изображена такая компьютерная модель *спиральной* структуры молекул воды.

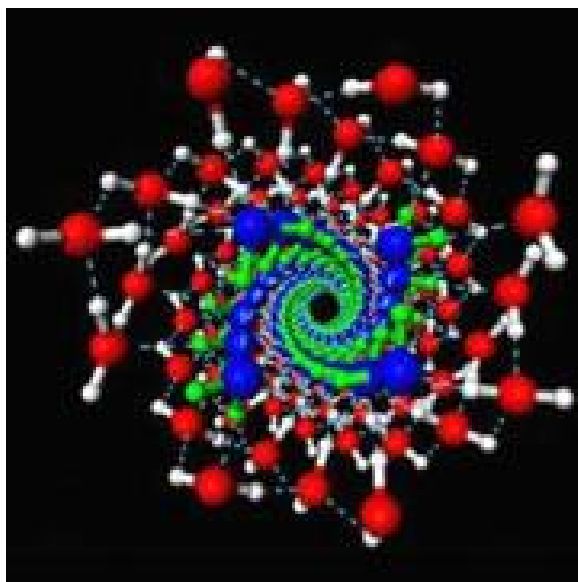


Рис. 1.14. Спиральная структура молекул воды в нанотрубке.

К этому неожиданному выводу пришли исследователи из университета Небраски в Линкольне (University of Nebraska–Lincoln) во главе с профессором Сяо Чэн Цзэном (Xiao Cheng Zeng). Учёные задумали построить модель поведения воды внутри нанотрубок при помощи суперкомпьютера. В ходе этого эксперимента исследователи попытались выяснить, что произойдёт с молекулами воды при высоком давлении и понижении температуры до -23 градусов по Цельсию. Каково же было удивление учёных, когда они узнали, что при таких условиях молекулы самостоятельно выстраиваются в спиральные "лесенки", очень напоминающие спиральную структуру ДНК.

"Это было крайне неожиданно, — говорит профессор Цзэн. — Мы думали, что лёд просто приобретёт форму трубчатой структуры, которые раньше наблюдались внутри углеродных нанотрубок". Это необычное состояние оказалось возможным именно при определённом наборе параметров. Диаметр нанотрубок должен составлять 1,35-1,9 нанометра, а давление — достигать 40 тысяч атмосфер. В этом случае слой молекул воды образовал двойную стенку. Внутренняя стенка состоит из четырёх "нитей" молекул воды, а внешняя — тоже из четырёх нитей, но двойных (этим она очень напоминает двойную спираль ДНК).

При иных условиях лёд в нанотрубках представляет собой просто "внутренние" трубки безо всяких спиралей. Цзэн и его коллеги уже несколько лет занимаются изучением льда внутри нанотрубок. "Я надеюсь, что эта модель окажется верной", — комментирует профессор своё открытие. По мнению учёного, проверить это возможно с помощью

экспериментальных исследований на основе инфракрасной спектроскопии или рассеяния нейтронов.

До сих пор мы рассматривали и анализировали медленно текущие, практически *квазистационарные спиралеобразные конфигурации*. Однако в природе существуют и сверхбыстрые, *динамические спиральные структуры*. Одним из таких разрушительных видов спиралей является явление **«торнадо»** (рис. 1.15), фото с сайта по адресу: <http://www.spynet.ru>.



Рис. 1.15. Явление «Торнадо»

Этот вид спиралей требует особого анализа, поскольку до сих пор ясной картины и модели *торнадо* не существует, а бедствия, которое наносит это разрушительное явление сравнимо с маленькой войной. Именно поэтому явлению «*торнадо*» мы уделим особое внимание во второй главе.

Масштабы разрушения, вызываемые этим явлением можно оценить, если посмотреть на фотографию (рис. 1.16). Фотографии (рис. 1.16), одна среди многих сделанных Майком Тайсом (Mike Theiss), и опубликованы на сайте <http://www.UltimateChase.com>.



Рис. 1.16. Последствия «Торнадо»

Скорости ветра достигают сотни километров в час и на своем пути торнадо легко переворачивают тяжелые автомобили и полностью разрушают дома и строения.

Помимо торнадо, существует еще одно природное явление, которое также обладает страшной разрушительной силой и носит *быстропротекающий динамический* характер. Это явление - *электрическая молния*. Молния также обладает *спиралеобразной* формой. Чтобы доказать такое утверждение,



этому явлению мы также уделим особое внимание в специальных главах, а обширным экспериментальным материалом и моделированием процессов электрических разрядов в лабораторных условиях подтвердим этот, на первый взгляд неочевидный факт. Сейчас же покажем в качестве примера типичную молнию, характер которой очень напоминает *спиралеобразную форму*. Эта молния изображена на рис. 1.17 (фото с сайта по адресу: <http://www.trinixy.ru>).



Рис. 1.17. Спиралеобразная молния.

Подведем некоторые итоги. Мы рассмотрели и оценили целый спектр явлений и объектов, которые были взяты *из совершенно разных* областей окружающего мира. Как видно из этого небольшого вступительного материала и отдельных разобранных фрагментов различных объектов, *каждое* отмеченное явление или объект имеет одну и ту же характерную черту или *общность*. А, именно, все проанализированные явления несут в себе *подобный спиралеобразный* характер развития, роста или распространения. Причем этот характер не зависит от скорости изменения или движения отдельных составляющих.

И *динамические и квазистатические* явления *характеризуются* одним и тем же главным признаком – *спиральной конфигурацией развития*, несмотря на все многообразие явлений.

По сути, уже исходя только из этого небольшого вводного материала, можно сделать следующий важный вывод. **Спираль** является *неотъемлемой частью* любого известного процесса или явления природы, иначе говоря, можно констатировать, что *спираль - общее свойство* материи, такое же как электрическое, гравитационное и магнитное поля.

Такое осмысление роли *спиралеобразных* структур, позволило создать *иной принцип генерации постоянного электрического тока в неподвижном проводнике*, используя только *спиралеобразное постоянное магнитное поле*. Этому *новому генератору* электрической энергии будет посвящена специальная глава.

Итак, мы закончили вступительную часть, посвященную примерам *спиральных* структур в окружающем нас мире. Поскольку *основной целью* нашего исследования является поиск *общего механизма создания спиральных* структур для разных объектов и явлений природы, перейдем к решению тех основных задач, которые кратко были затронуты в этой вводной главе.

Осознание *спирали (спиральной конфигурации)* как одной из основных *форм* существования и развития материи, возможно, позволит установить тесную взаимосвязь *спиральных формирований с электромагнитными процессами*.

Тогда на вопрос, *почему в основе совершенно далеких друг от друга явлениях и объектах природы образуется именно спираль*, а не прямая линия, квадрат, круг или любая другая геометрическая фигура, будет получен ясный ответ. А это в свою очередь объяснит многие еще малопонятные явления и закономерности окружающего нас мира.

## ГЛАВА 2. О ПРИЧИНАХ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ «ТОРНАДО»

Первой нашей задачей будет объяснение механизма создания явления «торнадо». Мы выбрали ее в качестве первой по целому ряду причин. Это природное явление до сих пор является большой загадкой. Как уже было упомянуто в первой главе, *торнадо* является типичной *спиральной динамической структурой*. Объяснению этого природного явления посвящено огромное количество научных работ, но до сих пор единого мнения на это явление не существует, а продолжающиеся ежегодно катастрофические разрушения от этого страшного явления, убедительно показывают, что убедительного ответа на вопрос о причинах происхождения этого катаклизма природы пока еще не существует.

Явление «торнадо» несет в себе целый клубок задач из совершенно разных областей наук. Здесь присутствуют *термодинамические, химические, гидравлические, гравитационные, электрические, магнитные* и другие процессы. Вот почему научных объяснений такое большое количество. Каждый ученый в своей научной области пытается объяснить это явление с его точки зрения.

Однако, как мы показали, *спиралеобразной* конфигурации соответствует множество явлений и объектов окружающего мира. Вот с этой точки зрения, *общности различных явлений*, до сих пор *задача о причинах происхождения торнадо не рассматривалась*. Ввиду этого мы разберем это явление с осознанием именно *единства* образования *спиральных структур* для различных явлений.

Кроме этого, все живое на Земле очень тесно связано с электрическим и магнитным полями нашей планеты. Явление «торнадо» так же, как мы увидим в дальнейшем, тесно взаимосвязано с этими полями. Когда это произойдет, тот час будет видна взаимосвязь *любой спиральной структуры объекта или явления с электромагнитным полем Земли*, и не только.

А если можно обнаружить такую *явную* связь, то можно и ответить на поставленный в предыдущей главе вопрос: почему образуется *спираль*? Вот почему в этой главе делается еще одна попытка объяснить механизм возникновения «торнадо». Причем основной акцент направлен на такие законы физики, которые связаны с *электродинамикой*, т. е. с электрическими и магнитными полями Земли. В этом основное отличие от традиционных объяснений явления «торнадо».

Вот в основном те главные причины, которые побудили нас выбрать явление «торнадо» в качестве первого. Итак, приступим.

## 2.1 Электричество в атмосфере.

Прежде чем непосредственно переходить к объяснению обстоятельств возникновения явления «торнадо», вначале рассмотрим такой важный вопрос как *электричество в атмосфере* Земли. В последующем мы будем неоднократно отходить от прямой линии изложения причин формирования «торнадо». Это сделано потому, что объяснить в двух словах такое сложное явление как *торнадо* без объяснения некоторых физических понятий практически невозможно.

Известно, что Землю пронизывают электрические силовые линии, поскольку Земля окружена электрическим и магнитным полем. В воздухе имеется вертикальное электрическое поле  $E$  величиной 100В/м. *Знак поля отвечает отрицательному заряду земной поверхности.* На практике это означает, что над любой поверхностью Земли (будь то суша или море) с каждым метром электрический потенциал возрастает на 100В по мере подъема над этой поверхностью. Как показывают измерения, с увеличением высоты поле продолжает существовать, правда становится слабее и на высоте около 50км уже еле заметно, так, что большая часть изменения потенциала приходится на малые высоты. Вся разность потенциалов между поверхностью земли и верхом атмосферы составляет почти 400000В [1].

Убедиться, что потенциал существует можно несколькими способами. Например, если расположить изолированный проводник на какой-то высоте над землей и не трогать его до тех пор, пока он не приобретет потенциал воздуха. Если оставить этот проводник на довольно длительное время, то, несмотря на низкую проводимость воздуха, заряды потекут (или стекнут) на проводник, уравнив его потенциал с потенциалом воздуха на этой высоте. Если опустить этот проводник к земле, то можно измерить изменение потенциала. Другой, более быстрый способ определения потенциала заключается в использовании обыкновенного ведра с водой. Если в ведре имеется небольшая течь, то, вытекая, вода будет уносить излишек заряда и ведро быстро приобретет потенциал воздуха. Потенциал же ведра можно будет измерить с помощью электрометра.

На рис. 2.1 показано распределение потенциала по высоте без человека (а) и с участием человека (б).

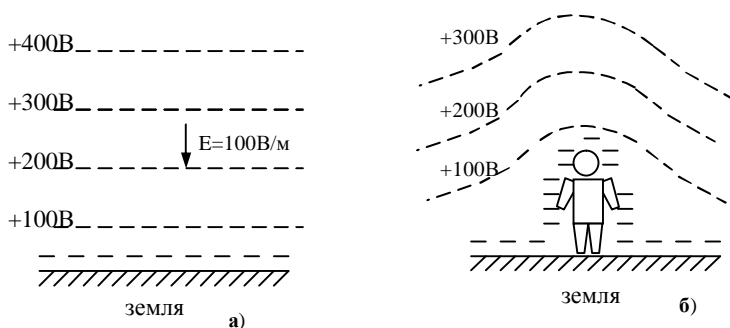


Рис. 2.1. Распределение потенциала

а) – над землей, б) – около человека, стоящего на ровном месте.

Поскольку человек стоит на земле, то он образует с землей эквипотенциальную поверхность, так что разность потенциалов между пятками и макушкой очень маленькая по причине высокой проводимости тела человека, вследствие этого эквипотенциальное поле (обычно параллельное земле)

несколько изменится, и будет выглядеть так, как это показано на рис. 2.1б. [1].

Воздух не идеальный изолятор, поэтому *от неба к земле всегда протекает электрический ток. Величина этого тока очень небольшая и составляет приблизительно  $10^6$  мкА* [1]. Возникает справедливый вопрос, почему атмосфера имеет проводимость и откуда проистекает этот ток? Этот вопрос очень важен для понимания и объяснения процессов, происходящих в атмосфере при возникновении явления «торнадо». На этот счет имеется множество теорий и разъяснений, но до конца пока этот вопрос является достаточно открытым.

Большинство ученых склонно считать, что проводимость атмосферы связана с *ионами*. Среди молекул воздуха имеются такие молекулы, например кислород, у которого имеется лишний электрон, а иногда и, наоборот, у него отсутствует электрон, т. е. образуется *ион* кислорода. Ионы, благодаря своему электрическому полю притягивают другие молекулы, и становится микроскоплением ионов, которые дрейфуют вверх и вниз, создавая микротоки. Каким же образом образуются таинственные *ионы*?

Первоначально считалось, что ионы создаёт радиоактивность Земли, поскольку было известно, что радиоактивные вещества ионизируют воздух, делая его проводящим. Такое представление предполагает, что на больших высотах ионизация должна быть меньше, поскольку все следы радия, урана и т. д. - находятся у поверхности Земли, в земляной пыли. Однако многочисленные эксперименты с подъемом воздушных шаров (Гесс, в 1922г. [1]), показали обратную картину. Выяснилось, что с *повышением высоты* подъема воздушных шаров *ионизация возрастает!*

Этот непонятный результат был самым потрясающим открытием во всей истории атмосферного электричества. Ионизация, видимо, порождалась чем-то вне Земли. Это открытие привело к открытию *космических лучей*. Именно космические лучи и поддерживают снабжение воздуха ионами, т. е. хотя ионы постоянно уносятся, космические частицы

создают тысячи и миллионы новых ионов. Эти маленькие ионы двигаются по воздуху, со скоростью около 1см/сек в поле 100В/м. Проводимость воздуха, возникающая в результате движения ионов, увеличивается с высотой, поскольку, с высотой усиливается ионизация космическими лучами. Кроме того, с увеличением высоты падает плотность воздуха, а значит, свободный пробег ионов увеличивается из-за снижения вероятности столкновения ионов друг с другом.

В результате на высоте проводимость резко возрастает. Кроме таких мельчайших заряженных частиц, вблизи земной поверхности всегда имеется много «сора», т. е. пыли, дыма и т.д., которые способны заряжаться и представлять собой «большие ионы», которые тоже движутся, только не так быстро как мелкие. Поэтому проводимость воздуха весьма переменчива и сильно зависит от «засоренности» воздуха.

Хотя плотность электрического тока в воздухе невелика и достигает несколько микроампер на квадратный метр, но поскольку этих метров в квадрате на Земле много, то весь ток, достигающий земной поверхности примерно равен 1800А [1]. А так как этот ток «положительный», то весь положительный заряд переносится к Земле под напряжением 400000В, что составляет суммарную мощность 700мВт [1]! Фактически понадобилось бы всего полчаса, чтобы лишить Землю отрицательного заряда, но времени прошло много больше получаса с момента открытия атмосферного электричества, а напряжение, тем не менее, существует и поддерживается ток на постоянном уровне.

Земля заряжена отрицательно, а потенциал в воздухе положителен. На высоте (ионосфере), т. е. на высоте около 50км воздух фактически превращается в проводник, так что вероятность изменений напряжений по *горизонтали* равняется нулю. Еще выше уже солнце за счет фотоионизации молекул воздуха еще больше увеличивает количество ионов, так, что атмосферное электричество будем рассматривать только как границу в 50км. На рис. 2.2 представлены типичные характеристики электрических свойств чистой атмосферы [1].

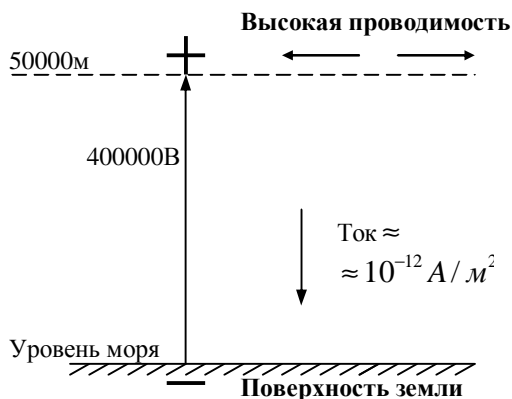


Рис. 2.2. Распределение атмосферного электричества

Таким образом, на высоте 50км образуется проводящая сфера, из которой токи вытекают вниз. Каким же образом там держится положительный заряд, если он все время стекает на Землю, а потом опять перекачивается обратно? Долгое время этот вопрос был одним из главных загадок атмосферного электричества. Многочисленные исследования и замеры позволили сделать важный вывод: ток меняется приблизительно на  $\pm 15\%$  и достигает своего наибольшего значения в 7 часов по лондонскому времени.

Самое странное заключается в том, что где бы ни проводились измерения тока (в Атлантическом, Тихом или в Ледовитом океане), его часы пик бывают тогда, когда часы в Лондоне показывают 7 вечера! Повсюду во всем мире ток достигает максимума в 19.00 по лондонскому времени, а минимума в 4.00 по тому же времени. Иными словами *ток зависит от абсолютного земного времени, а не от местного времени в точке наблюдения* [1]. Теперь мы знаем, что напряжение «вверху» с изменением абсолютного земного времени то повышается, то падает на 15%.



## 2.2. Происхождение токов в атмосфере.

Ответ на вопрос, поставленный в предыдущем параграфе об *источнике* больших отрицательных токов, текущих от верхних слоев атмосферы к земле чтобы поддержать ее отрицательный заряд, можно получить, если предположить, что *этот источник молнии*. Действительно, именно молнии «снабжают» Землю отрицательным зарядом. Именно грозы заряжают Землю током в среднем в 1800А электричества, которое затем разряжается в районах с хорошей погодой. В среднем на Земле каждые сутки гремит около 300 гроз.

*Грозы и можно рассматривать как «батареи»*, которые поставляют электричество в верхние слои атмосферы. Общая степень грозовой активности достигает максимума к 19 часам по лондонскому времени [1]. Однако это общая тенденция, поскольку точное количество молний, проходящей по всей Земле неизвестно из-за недостатка числа наблюдений. Попробуем кратко описать грозу так, как ее сейчас представляют. Наиболее достоверное описание процессов, происходящих во время грозы, дается Р. Фейнманом в литературе [1], поэтому будем придерживаться его точки зрения.

Обычная гроза состоит из множества «ячеек», тесно примыкающих друг к другу, но почти независимых. Под «ячейкой» будем подразумевать некоторую область, расположенную в горизонтальном направлении и имеющую ограниченные размеры. Расположенные одна возле другой ячейки представляют собой некоторой пространство атмосферы, в которых и происходят все основные процессы, правда, со сдвигом во времени.

На рис. 2.3 представлена одна из таких ячеек в идеализированном виде в стадии развития грозы [1].

Как видно из рисунка 2.3, в грозовой ячейке присутствует два процесса. В первом происходит подъем воздушных масс и паров воды наверх, а во втором наблюдается обратное действие,

когда образующиеся капли воды стремятся к земле, захватывая воздушные массы вниз.

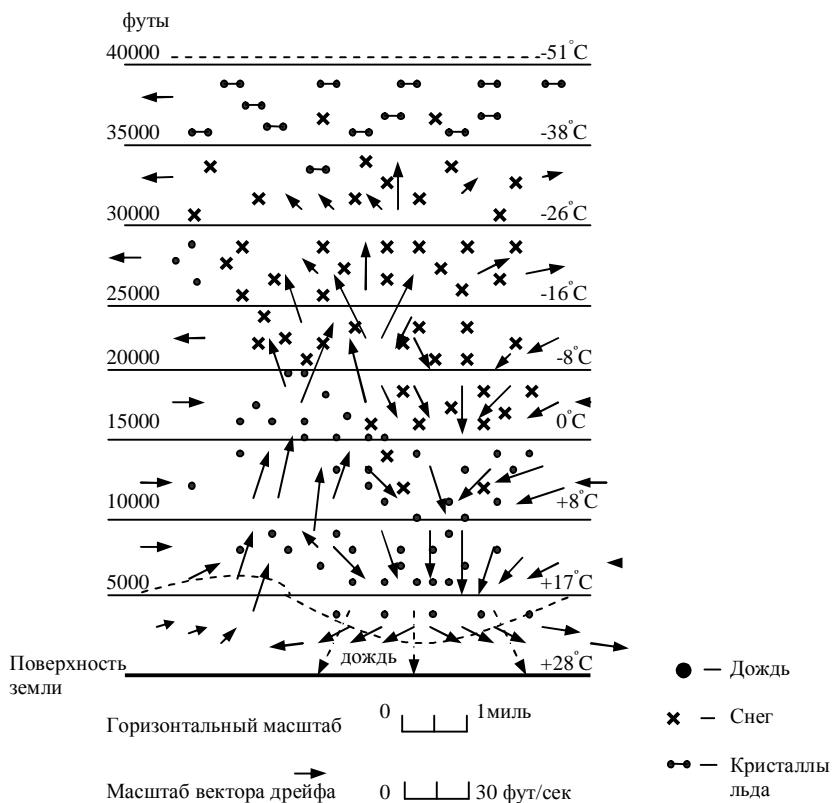


Рис. 2.3. Созревшая грозовая ячейка.

В ячейке действует очень сильная тяга, вверх достигающая высот в 10-15км. Попробуем объяснить, как это происходит.

Если взять ячейку, содержащую много водяных паров, образованных под воздействием солнечных лучей, то при расширении и охлаждении этой ячейки водяной пар начнет конденсироваться, а, как известно при конденсации выделяется тепло. Поэтому влажный воздух остывает не так сильно, как сухой.

Если имеется область теплого и влажного воздуха, и он по каким-то причинам поднимается вверх, то он все время будет оставаться легче и теплее окружающего воздуха, и по-прежнему будет всплывать, пока не достигнет огромных высот. Вот тот механизм, который заставляет воздух в грозовой ячейке подниматься.

Долгое время так и объясняли грозовую ячейку. А затем измерения показали, что температура облака на различных уровнях над Землей не так высока. По мере того, как водяной пар поднимается и конденсируется, возникают крохотные капельки, которые быстро охлаждаются до температуры ниже нуля. Они должны замерзнуть, но делают это не сразу, поскольку *переохлаждаются*. Вода, как и другие жидкости, легко охлаждаются ниже своей точки замерзания, не кристаллизуясь, если вокруг нет «ядер», которые необходимы, чтобы начался процесс кристаллизации.

Только в случае наличия мелких крошек вещества, наподобие кристалликов NaCl, капельки воды превратятся в льдинки. Тогда равновесие будет приводить к испарению капель и росту кристаллов льда. Когда, наконец, вода исчезнет, начнется быстрое накопление больших частиц льда. Кроме того, если вода начинает соприкасаться с крупинками льда, то она сама быстро кристаллизуется. И вот наступает момент, когда образовавшиеся кусочки льда становятся настолько тяжеловесными, что не могут больше подниматься вверх (левая область на рис. 2.3) и начнут падать сквозь восходящий воздух (правая область на рис. 2.3). Падая, они увлекут за собой некоторое количество воздуха, и начнется лавинообразный процесс противотока воздуха, т. е. уже воздух помчится вниз.

Когда воздух доходит до нижней границы тучи, начинает идти дождь, а, достигнув земной поверхности, холодный воздух начинает растекаться в стороны. Это объясняет причины, по которым перед грозой всегда начинается сильный, иногда шквальный или ураганный ветер. Такова причина возникновения движения теплого и холодного потоков воздушных масс.

Теперь обратимся к обсуждению самой важной для нас стороны дела – к *причинам образования электрических зарядов*. Многочисленные измерения грозовых облаков, проведенные с помощью авиации, выяснили, что распределение электрических зарядов внутри облака близко к картине, показанной на рис. 2.4 [1].

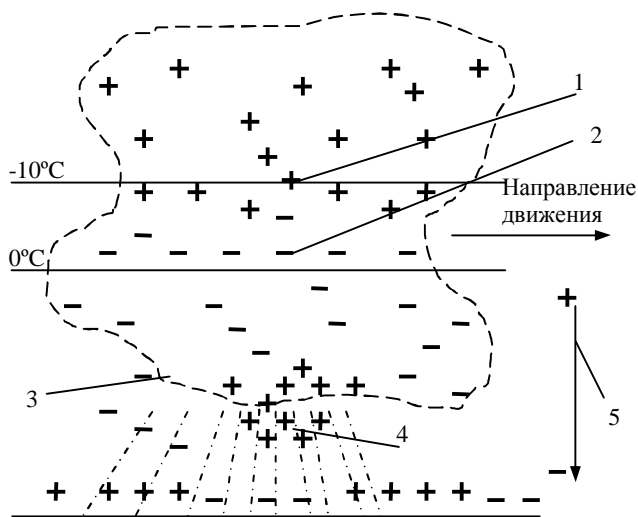


Рис. 2.4. Распределение электричества в созревшей грозовой ячейке.

На рисунке 2.4 приняты следующие обозначения: 1 - центр положительных разрядов; 2 - центр отрицательных зарядов; 3 - область отрицательного дождя; 4 - небольшой центр положительного заряда в области сильного дождя; 5 - градиент потенциала при хорошей погоде. Как видно из рисунка 2.4, верхушка ячейки заряжена положительно, а низ ячейки отрицательно, за исключением небольшого участка положительных зарядов в нижней части тучи. *Никто не знает, почему он там появляется и насколько он важен* [1]. По крайней мере, распределение в основном таково, что преимущественно отрицательный заряд находится внизу

*облака, а положительный вверху.* Такое расположение «батареи» (грозовой тучи) позволяет заряжать Землю *отрицательным зарядом.*

Положительные заряды находятся на высоте 6-7 км над Землей, где температура достигает минус 20 градусов по Цельсию, а отрицательные – на высоте 3-4 км, и температура там, около нуля градусов. Заряда нижней части тучи достаточно, чтобы создать разность потенциалов между ней и Землей в 20, 30, и даже 100 млн. В [1].

Эти значения напряжений во много раз больше тех значений напряжений 0,4 млн. В, которые бывают обычно при ясной погоде (рис. 2.1). Естественно, такие перепады напряжений легко пробивают воздух, и отрицательный заряд с нижней части тучи переносится молниями на Землю. Причем молнии могут бить не только на Землю, но и между облаками. С каждым ударом молнии на земную поверхность переносится приблизительно 20-30 Кулон электричества, а время, за которое происходит восстановление напряжения молнии, составляет порядка 5сек [1]. Конечно, это не означает, что молния ударит ровно, через 5 сек, поскольку меняется и геометрия туч и другие параметры: угадать, когда это произойдет, пока не может никто, но общая тенденция такова, что заряды в грозовой туче восстанавливаются приблизительно через 5сек.

Теперь остается выяснить, откуда берутся положительные и отрицательные заряды в грозовой туче, и каким образом они образуются. На этот счет имеется множество объяснений и теорий, но все они основываются на том факте, что *на падающей частице должен существовать заряд одного знака, а в воздухе – противоположный.*

При движении падающей частицы (воды или льда) сквозь воздух возникает *разделение электрических зарядов.* Вот только вопрос о причине электризации зарядов остается открытым. Некоторым ответом на этот вопрос может служить довольно простой опыт со струей воды, подаваемой из шланга. Любопытный эксперимент является хорошей демонстрацией

влияния электрического поля на водяные капли. На рис. 2.5 схематично показан этот опыт [1].

Если направить струю воды под крутым углом из шланга 3 с узким концом 2 (насадкой), то вода забьет тонкой струей, и будет разбрызгиваться мелкими каплями. Если навести электрическое поле поперек струи, например, заряженной палочкой 1, то форма струи изменится. При *слабом* электрическом поле струя воды разбивается на ряд крупных капель, а при *сильном* поле струя разбрызгивается на ряд мельчайших капелек, гораздо более мелких, чем в отсутствии электрического поля.

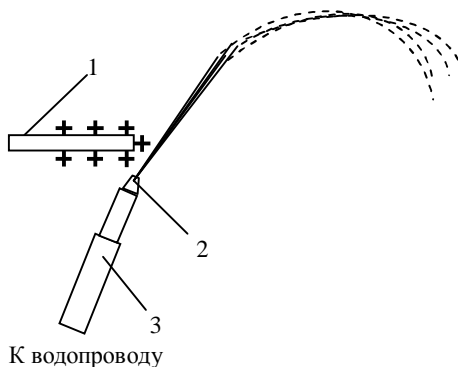


Рис. 2.5. Струя воды с электрическим полем, созданным вблизи насадки шланга.

1-заряженная палочка; 2-насадка шланга; 3-шланг.

Таким образом, у слабого электрического поля имеется тенденция воспрепятствовать дроблению струи на капли, а сильное поле, напротив, стремится раздробить поток. Эти эффекты можно объяснить следующим образом. Когда из шланга вытекает вода, и мы прикладываем поперек небольшое электрическое поле, тогда одна сторона струи может зарядиться чуть-чуть положительно, а другая сторона чуть-чуть отрицательно. После дробления струи воды капли с одной стороны могут стать положительными, а с другой стороны отрицательными заряженными. Они начнут притягиваться друг

к другу и начнут сливаться в более крупные капли, чем прежде, а значит, струя не будет сильно дробиться.

Если же поле увеличить, то заряд на каждой отдельной капле станет очень большим, и *сам* заряд будет стремиться *измельчить капли* (из-за их отталкивания). Итак, каждая капелька разделится на более мелкие (и тоже заряженные) капельки и они тоже начнут отталкиваться друг от друга и посыплются брызги. Этим опытом нам хотелось подчеркнуть, что при определенных обстоятельствах электрическое поле может иметь большое влияние на капли. Поскольку точный механизм того, что, происходит в реальности, в грозе неизвестен, мы описали этот опыт лишь с одной целью, чтобы оценить еще одну возможность появления мельчайших *заряженных частиц* (ионов) при взаимодействии капель воды. Такой механизм образования электрического заряда на каплях воды, может являться некоторой приближенной аналогией процессов, происходящих внутри сформировавшегося грозового облака, хотя и очень далекой от реальности.

Итак, мы подошли к объяснению появления электризации воды или льда, что одно и то же. Существует одна старейшая теория, которая объясняет разделение электрических зарядов за счет движения падающей частицы, причем на падающей частице (капле воды или льда) образуется положительный заряд, а в воздухе отрицательный. Это так называемая теория «дробления капель». При этом капли при движении вниз начинают дробиться и приобретают разные знаки заряда. У этой теории есть свои недостатки, но один существенный недостаток: знак частиц получается не тот.

Более удовлетворительная теория дробящихся капель принадлежит Ч. Вильсону [1]. Описывая эту теорию, будем говорить о каплях, хотя все это в равной степени относится и ко льду. Итак, падая в электрическом поле напряженностью 100В/м, у капли появляется наведенный дипольный момент - положительный заряд внизу, а отрицательный наверху. Это демонстрирует рис. 2.6.

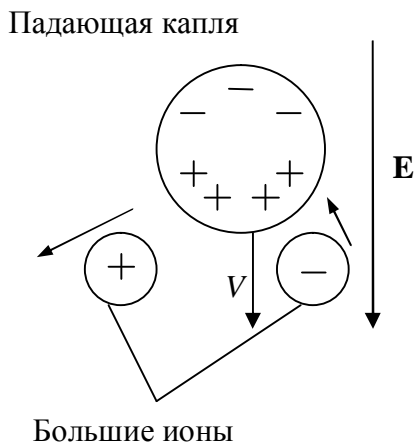


Рис. 2.6. Падающая капля в поле электрической напряженности по Ч. Вильсону.

Предположим, что на своем пути вниз капля приблизилась к большому иону. Если он сам положителен, то положительный заряд низа капли оттолкнет его, и он отойдет в сторону, так что, капля даже не соприкоснется с ним. Если же ион приблизится к капле сверху, он может притянуться к ней. При соприкосновении с каплей ионы постепенно начинают накапливать отрицательные заряды на капле (знак заряда и получается как раз тот, какой нам нужен). Отрицательный заряд будет перенесен каплями в нижнюю часть тучи, а положительные ионы, брошенные по дороге, будут сдуты к ее верхушке различными восходящими потоками. К тому же эта теория не зависит от того идет ли град или дождь знак, получаемый тучей правильный (см. рис. 2.4). Однако и эта теория не свободна от многих недостатков.

Во-первых, суммарный заряд грозы очень велик и весь запас больших ионов довольно быстро израсходуется, поэтому должны существовать какие-то еще внешние добавочные источники больших ионов. Как только начинается разделение



зарядов, развиваются очень сильные электрические поля, и в этих полях могут быть места, где воздух сильно ионизируется. Если там имеется сильно заряженная точка или любой небольшой объект наподобие капли, то они могут сконцентрировать вокруг себя поле, достаточно большое для того, чтобы возник «кистевой разряд».

Если имеется достаточно сильное поле, скажем положительное, то электроны будут попадать в это поле и успевать набирать между столкновениями огромную скорость. Эта скорость может быть столь высока, что, попадая в атомы электроны, будут срывать атомные электроны с их оболочки, оставляя позади себя положительные ионы. Тогда новые электроны тоже наберут скорость и, столкнувшись, породят еще больше новых электронов. Произойдет своего рода цепная реакция, или лавина, вызывающая быстрое накопление ионов. *Никто точно не знает, так ли это происходит на самом деле, так что по – настоящему до конца происхождение молнии непонятно* [1].

Что же является выходом грозы? Здесь возможно несколько вариантов и первым из них является *молния*. Как она действует, точно не знает никто, но на что она похожа или ее качественное описание сделать можно. Как мы уже описывали *грозовую тучу* с отрицательным дном, висящей над землей, *ее потенциал намного отрицательней, чем потенциал земной поверхности*, так что отрицательные электроны будут ускоряться по направлению к Земле. Обычно все начинается со светящегося комка, называемого «ступенчатым лидером». Он не такой яркий, как сама вспышка молнии.

На многочисленных фотографиях молний, приведенных из различных источников, такое пятнышко очень быстро со скоростью  $1/6$  скоростью света спускается к Земле, но, пройдя всего около 50 метров, останавливается [1]. После некоторой паузы (порядка 50мксек) происходит следующий шаг и снова пауза, а после новый шаг и т. д. Так постепенно «шашками» молния движется к Земле. Это и есть так называемый «лидер». В лидере имеются отрицательные заряды из тучи. Весь столб

наполнен отрицательными зарядами из тучи. Кроме того, воздух начинает ионизироваться быстро движущимися зарядами, так что становится проводящим. В момент касания лидера земной поверхности, образуется проводящий канал полный отрицательными зарядами (проводник), который тянется от Земли до самой тучи.

Вот тогда и наступает момент, когда отрицательный заряд из тучи может с легкостью перейти на Землю. Естественно, первыми распространяются заряды, находящиеся у самой поверхности в самом низу лидера. После перехода они оставляют за собой положительный заряд, который начинает притягивать все новые и новые электроны из высших слоев лидера. Процесс приобретает лавинообразный характер, и весь отрицательный заряд этой части тучи быстро по каналу сбежит вниз. Схематично обратная молния и ступенчатый лидер изображен на рисунке 2.7.

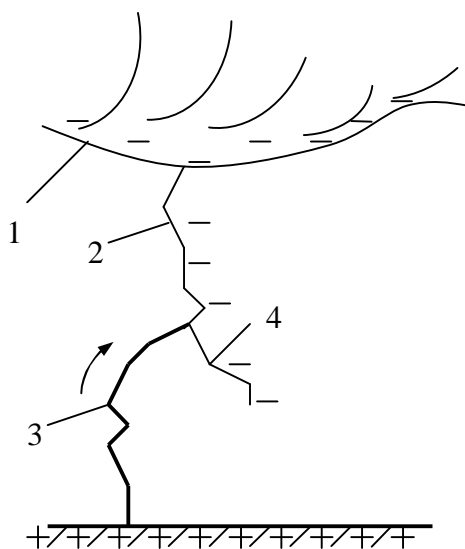


Рис. 2.7. Ступенчатый лидер и обратная молния.  
1-грозовая туча; 2-ступенчатый лидер; 3-обратная молния; 4-второй лидер.

На самом деле, молния, которую можно наблюдать, «бьет» *не сверху вниз, а снизу вверх* (рис. 2.7). Основной разряд – самая яркая часть разряда, ее часто называют обратной вспышкой. Этот основной разряд и является молнией, которую обычно видят в действительности. Ток в пике молнии может достигать огромных величин от 10000А до 100000А, и уносит вверх около 20К электричества.

Спустя небольшой промежуток времени вниз пикирует новый лидер, но уже без пауз и остановок. Его называют «темным лидером», и весь путь до земной поверхности он проходит без остановок. Он в точности повторяет траекторию первоначального лидера, поскольку вдоль пути хватает «осколков» атомов, для того чтобы пройти по самому легкому пути. Новый лидер снова полон отрицательного электричества и через мгновение он касается почвы. Известны наблюдения, когда по одному пути пробегали 42 молнии [1]! Иногда ситуация еще более усложняется, когда лидеры начинают ветвиться, образовав две ступеньки, но идущие в разных направлениях. Кроме того, наше описание чрезвычайно упрощено, поскольку не учитывает формы самой земной поверхности. В тех случаях, когда ступенчатый лидер находится примерно в 100 м, от почвы навстречу ему может двигаться разряд с земной поверхности. Это происходит в случаях наличия на Земле высоких зданий, сооружений деревьев, т. е. острия.

Итак, мы закончили первую часть о происхождении электричества в атмосфере. Теперь мы, по крайней мере, мы хоть отчасти можем понять, откуда оно берется. *Напомним основные моменты этого явления.*

Из-за того, что во время грозы существуют воздушные течения, ионы и капли воды на льдинках – положительные и отрицательные заряды разделяются. Положительные заряды уносятся вверх к небесному куполу (рис. 2.4), а отрицательные заряды скапливаются в нижних слоях грозовых туч, и с помощью молний скатываются на Землю, заряжая ее поверхность отрицательными зарядами. Положительные заряды так и остаются на верхушке облака, входят в высокие слои

хорошо проводящего воздуха и расходятся над всей Землей. В молниях развиваются огромные токи и напряжения, значительно превышающие значения параметров при обычном состоянии атмосферы (рис. 2.2).

*Главный вывод состоит в том, что при любой погоде всегда существует напряженность электрического поля между Землей и ее поверхностью, а, значит, существует движение зарядов, причем отрицательные заряды двигаются по направлению к Земле сверху вниз (во время грозы, этот процесс усиливается многократно). Вот такое на сегодняшний день объяснение происхождения электричества в атмосферных процессах.*

Тема нашей главы - *происхождение явления «торнадо»*, а не происхождение электричества в атмосфере. Однако без понимания электрических процессов в атмосфере нельзя понять, как образуются «торнадо».

### **2.3. О магнитном поле Земли**

Кроме электрического потенциала, Земля обладает и *магнитным полем*. О возможном происхождении магнитного поля Земли также написано немало литературы и предложен целый ряд теоретических моделей. Однако четкого понимания причин возникновения магнитного поля Земли и его конфигурации пока не существует. Пока остается известным два достоверных факта. Земля, как и любой другой постоянный магнит, обладает двумя полюсами: *южным* и *северным*. И второе обстоятельство магнитная стрелка компаса направлена вдоль силовых магнитных линий поля Земли в большинстве случаев вдоль меридианов, а на магнитном экваторе вдоль линий экватора.

Однако последнее обстоятельство имеет некоторые отступления в различных областях, имеющих так называемые аномальные свойства. Это различные территории с залеганием железосодержащих руд и других «ферритмагнитных» полезных ископаемых, которые изменяют магнитные силовые линии поля

Земли. Так, например, напряженность магнитного поля Земли на магнитном экваторе (где силовые магнитные линии имеют горизонтальное направление) составляет порядка 0,34 Э, у магнитных полюсов 0,66 Э, а в районах с магнитными аномалиями может достигать свыше 2 Э (в районе Курской магнитной аномалии) [2]. Кроме этого, как известно, *магнитная ось* Земли не совпадает с ее *геометрической осью* (географическим полюсом), и существует некоторый *угол рассогласования*.

Для понимания причин возникновения «торнадо», обратимся более подробно к *некоторым свойствам и особенностям магнитного поля*, которое играет немаловажную роль в этом явлении природы. Прежде всего, нас интересует *движение заряженной частицы (электрона, иона) в постоянном магнитном поле*, каковым и является магнитное поле Земли. Многие задачи в современной физике были решены (и продолжают решаться) с помощью постоянного магнитного поля. С помощью постоянного магнитного поля изучают свойства вещества и испытывают различные материалы, сортируют изотопы атомов и определяют их основные характеристики, фокусируют пучки заряженных частиц. Принципы и конструкции этих приборов различные, однако, в основе лежит одно и то же явление. Ток рождает магнитное поле, магнитное поле воздействует на электрический заряд.

*Магнитное взаимодействие* отлично от *электрического взаимодействия*. Электрическое взаимодействие возникает при наличии зарядов, а магнитное взаимодействие не зависит от зарядов проводников и возникает *только при наличии токов* в этих проводниках и зависит от величины токов. Например, если заряженное тело находится внутри замкнутой металлической оболочки, то действие на него других зарядов вне оболочки, не наблюдается. Если же экранировать проводящей оболочкой один из контуров с током, то магнитное взаимодействие сохраняется (ниже мы покажем это свойство на опыте).

Способность магнитного поля вызывать появление механической силы, действующей на элемент тока, можно

количественно описать, если задать некоторый вектор  $\dot{B}$ . Тогда сила, действующая на элемент тока  $i \cdot d\dot{\mathbf{l}}$ , равна [3]

$$d\dot{F} = i [d\dot{\mathbf{l}} \cdot \dot{B}]. \quad (2.1)$$

Вектор  $\dot{B}$  называют *магнитной индукцией*. Полная величина силы, действующая на проводник конечных размеров, будет равна сумме сил на отдельных его элементах. В частности, если имеется прямолинейный отрезок провода и магнитная индукция во всех точках постоянна, то из формулы (1) имеем

$$\dot{F} = i [\dot{\mathbf{l}} \cdot \dot{B}] \quad (2.1a)$$

В соответствии с определением векторного произведения двух векторов величина этой силы равна

$$\dot{F} = i \cdot \dot{\mathbf{l}} \cdot B \cdot \sin(\dot{\mathbf{l}}\dot{B}) \quad (2.1b)$$

**Опыт** показывает, что правильные значения сил магнитного взаимодействия мы получим в том случае, если примем, что индукция магнитного поля элемента тока равна [3]

$$d\dot{B} = k \cdot \frac{i [d\dot{\mathbf{l}} \dot{\mathbf{r}}]}{r^3}. \quad (2.2)$$

Здесь  $\dot{\mathbf{r}}$  - радиус-вектор, проведенный из элемента тока в рассматриваемую точку (рис. 2.8),

$k$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц.

Из выражения (2.2) следует, что

$$d\dot{B} = k \cdot \frac{i \cdot d\dot{\mathbf{l}} \cdot \sin J}{r^2}, \quad (2a)$$

где  $J$  - угол между векторами  $d\dot{\mathbf{l}}$  и  $\dot{\mathbf{r}}$  (рис. 2.8).

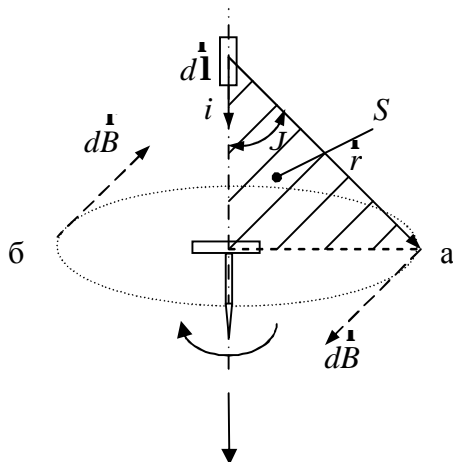


Рис. 2.8. Магнитная индукция элемента тока

Направление вектора  $d\vec{B}$  перпендикулярно векторам  $d\vec{l}$  и  $\vec{r}$ , т. е. перпендикулярно плоскости  $S$ , в которой они лежат. Направление вектора  $d\vec{B}$  подчиняется правилу правого буравчика, которое гласит: направление магнитной индукции совпадает с направлением буравчика с правой нарезкой, движущегося поступательно в направлении тока. Формула (2.2) носит название *закона Био-Савара-Лапласа* [3]. Таким образом, формулы (2.1) и (2.2) определяют закон взаимодействия двух элементов тока. Если учесть, что в системе СИ, длина  $l$  измеряется в метрах [м], сила тока  $i$  в амперах [А], сила  $F$  в ньютонах [Н], то индукция  $dB$  можно выразить следующим образом [3]

$$dB = \frac{m_0}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot dL \cdot \sin J}{r^2}, \text{ [Тл]},$$

где  $m_0 = 4\pi 10^{-7}$  единицы СИ – абсолютная магнитная проницаемость вакуума или магнитная постоянная. В системе СИ  $m_0$  измеряется в [Гн/м].

Для описания магнитного поля наряду с магнитной индукцией широко используют еще одну физическую величину – *напряженность магнитного поля*. Если  $\mathbf{B}$  магнитная индукция в какой-либо точке поля в вакууме, то напряженностью магнитного поля в той же точке поля называется вектор [3]

$$\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu_0 . \quad (2.3)$$

В системе СИ  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{H}$  имеют различную размерность и отличаются друг от друга на величину  $\mu_0$ . Таким образом, напряженность магнитного поля, создаваемого элементом тока  $i d\mathbf{l}$  можно вычислить как

$$dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot d\mathbf{l} \cdot \sin J}{r^2} . \quad (2.4)$$

Или в векторной форме

$$d\mathbf{H} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot [d\mathbf{l} \cdot \mathbf{r}]}{r^3} . \quad (2.4a)$$

Если рассматриваются магнитные поля в вакууме (в атмосфере), то достаточно знать один из векторов  $\mathbf{B}$  или  $\mathbf{H}$ . Однако, если рассматривать магнитные поля внутри сред, то этого будет уже не достаточно, и необходимо знать уже магнитную проницаемость среды. Нас интересует магнитное поле в центре кругового проводника, поскольку в качестве кругового проводника может выступать электрический заряд, совершающий движение по круговой орбите (в частности электрон, движущийся вокруг ядра атома, хотя эта классическая модель Резерфорда не совсем отвечает действительности).

В этом случае все элементы проводника перпендикулярны к радиус-вектору  $\mathbf{r}$  и  $\sin J=1$ . Расстояние всех элементов провода до центра круга одинаково и равно



радиусу круга  $R$  (рис. 2.9). В этом случае напряженность магнитного поля можно вычислить по формуле (2.4), и для элемента  $d\mathbf{l}$  получим выражение  $dH = \frac{1}{4p} \cdot \frac{i}{R^2} \cdot d\mathbf{l}$ .

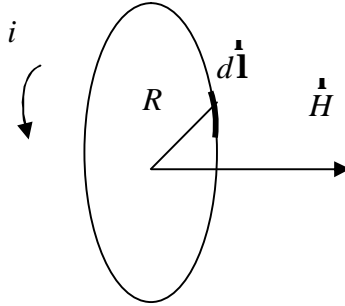


Рис. 2.9. Магнитное поле в центре кругового тока.

Все элементы тока создадут магнитное поле одинакового направления, перпендикулярное к плоскости витка, и поэтому *полная напряженность* поля в центре кругового витка, равна [3]

$$H = \frac{i}{4pR^2} \int d\mathbf{l} = \frac{i}{4pR^2} 2pR = \frac{i}{2R}. \quad (2.5)$$

Направление магнитного поля можно найти по правилу правого буравчика, который нужно расположить параллельно касательной к кругу (в направлении тока). Если ток обтекает виток против часовой стрелки, то по правилу правого буравчика магнитное поле направлено от витка к наблюдателю (рис. 2.9).

Отметим еще некоторые немаловажные обстоятельства. Электрон, вращаясь по орбитальной траектории (вокруг ядра атома) обладает орбитальным магнитным моментом  $p_m$ . Момент количества движения электрона  $\mathbf{p}$  можно определить как [4]

$$\mathbf{\hat{p}} = m_e \cdot [\mathbf{\hat{r}} \mathbf{\hat{v}}], \quad (2.6)$$

где  $\mathbf{\hat{r}}$  - радиус-вектор,  $\mathbf{\hat{v}}$  - скорость электрона,  $m_e$  - масса электрона.

Кроме вращения вокруг ядра атома, электроны совершают еще и вращательное движение вокруг своей собственной оси, т. е. обладают собственным моментом количества движения (механическим моментом)  $p_s$ , называемым спином. Этот момент может иметь только две ориентации относительно внешнего магнитного поля, направленного по оси  $z$ , такие, что две его возможные проекции на направление этого поля равны [4]

$$p_{sz} = \pm \frac{\hbar}{2}, \quad (2.7)$$

где  $\hbar$  - постоянная Планка,  $\hbar \approx 10^{-27} \text{ э} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Спину электрона  $p_{sz}$  соответствует спиновый магнитный момент  $p_{ms}$  [4]

$$\mathbf{\hat{p}}_{ms} = g_s \mathbf{\hat{p}}_s, \quad (2.8)$$

где  $g_s$  гиромагнитное отношение для спинового момента  $g_s = -e/m_e$ .

Орбитальные магнитные и механические (относительно ядра атома) моменты электрона пропорциональны друг другу и направлены в противоположные стороны [4]

$$\mathbf{\hat{p}}_m = g \mathbf{\hat{p}}. \quad (2.9)$$

Кроме всего прочего, сама орбита электрона совершает еще прецессионное движение с определенной угловой скоростью  $\omega_L$ , так называемая ларморова прецессия

относительно вектора напряженности  $\dot{H}$  магнитного поля, образуя в пространстве фигуру подобную волчку рис. 2.10.

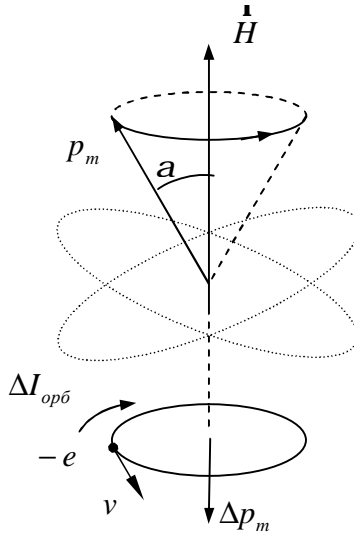


Рис. 2.10. Прецессия орбиты электрона.

Согласно *теореме Лармора*, единственным результатом влияния магнитного поля на электронную орбиту является прецессия орбиты и вектора  $p_m$  с угловой скоростью Лармора  $w_L$  вокруг оси, проходящей через центр орбиты и параллельной вектору  $\dot{H}$  [4].

Наличие *прецессии* приводит к тому, что появляется дополнительный орбитальный ток  $\Delta I_{orb}$  и индуцированный момент  $\Delta p_m$ , направленный в сторону, противоположную вектору  $\dot{H}$  (рис. 2.10):

$$\Delta p_m = -\frac{e^2 m_0 S_{\perp}}{4\pi m} \dot{H}, \quad (2.10)$$

где  $m_0$  - магнитная постоянная,  $S_{\perp}$  - площадь проекции орбиты электрона на плоскость, перпендикулярную к направлению напряженности магнитного поля.

Сумма всех орбитальных магнитных моментов всех  $Z$  электронов составит вектор *орбитального магнитного момента атома*  $\overset{\mathbf{r}}{P}_m$  [4]

$$\overset{\mathbf{r}}{P}_m = \sum_{i=1}^Z \overset{\mathbf{r}}{p}_{mi}, \quad (2.11)$$

где  $Z$  – порядковый номер атома в периодической системе Менделеева.

Аналогично орбитальному магнитному моменту атома, рассчитывается и *орбитальный момент количества движения атома*  $\overset{\mathbf{r}}{P}$ :

$$\overset{\mathbf{r}}{P} = \sum_{i=1}^Z \overset{\mathbf{r}}{p}_i, \quad (2.12)$$

где  $p_i$  - орбитальный момент количества движения  $i$  –го электрона.

Для атомных моментов  $\overset{\mathbf{r}}{P}_m$  и  $\overset{\mathbf{r}}{P}$  также как и для электронов справедливо соотношение [4]

$$\overset{\mathbf{r}}{P}_m = g \overset{\mathbf{r}}{P}, \quad (2.13)$$

где  $g$  - гиромагнитное отношение.

Однородное магнитное поле, в которое внесен атом, изменяет угловую скорость вращения его электронов вокруг ядра. Это изменение происходит в процессе нарастания того магнитного поля, в которое вносится атом, и является результатом возникновения индукционного вихревого электрического поля, действующего на электроны.

Если электрон (ион) под воздействием электрического поля начинает двигаться в постоянном магнитном поле, то на него начнет действовать сила (2.1), которая называется *сила Лоренца*  $F_L$ , которая численно равна [5]

$$F_L = e \cdot v \cdot m_0 \cdot H, \quad (2.14)$$

где  $e$  – заряд электрона,  $v$  – скорость электрона,  $m_0$  – магнитная проницаемость в вакууме,  $H$  – напряженность магнитного поля.

Если постоянное магнитное поле однородно, то заряд (электрон, ион), вращаясь по окружности в плоскости, перпендикулярной к магнитному полю, будет двигаться под воздействием электрического поля равномерно вдоль силовой магнитной линии поля, так что его траектория будет представлять собой винтовую (*спиралеобразную*) линию (рис. 2.11) [5].

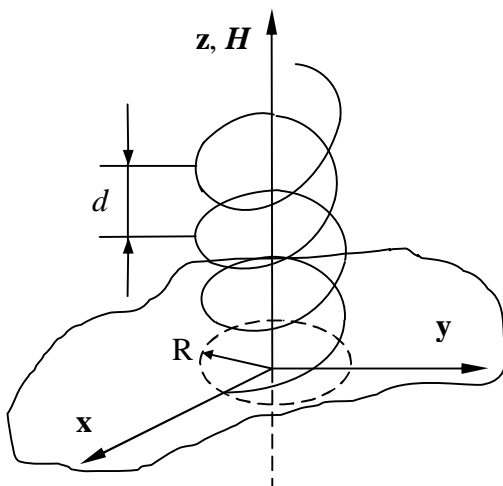


Рис. 2.11. Электрон (ион) в магнитном поле  $H$ .

Иначе говоря, под действием силы Лоренца электрон вращается вокруг линии магнитной напряженности  $H$  (говорят

«навивается» на силовую линию) с частотой обращения  $w_c = eH / m_e c$ , где  $e$ ,  $m_e$  - заряд и масса электрона ( $1,60219 \cdot 10^{-19}$  К;  $9,109558 \cdot 10^{-31}$  кг [4]).

Эту частоту часто называют *циклотронной*, причем  $w_c = 2w_L$ , где  $w_L$  - ларморова частота прецессии. Энергия электрона есть сумма энергий движения по полю и в плоскости, перпендикулярной к магнитному полю. Если посмотреть на вращающийся электрон сбоку, то можно увидеть, что он совершает колебания с циклотронной частотой  $w_c$ .

Но что особенно *важно* для дальнейшего изложения, заметим, что *электрон в магнитном поле  $\mathbf{H}$  движется по спирали*, причем *радиус спирали* равен [6]:

$$R = mcv_{\perp} / |e| \cdot H, \quad (2.15)$$

а *шаг спирали* (вдоль магнитного поля):

$$d = v_z / w_c = mcv_z / |e| \cdot H, \quad v_{\perp} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}. \quad (2.16)$$

В соответствии с квантовой механикой энергия движения электрона в магнитном поле может принимать следующие дискретные значения [6]:

$$e = \mathbf{h}w_c \left( n + \frac{1}{2} \right) + \frac{p_H^2}{2m_e}, \quad n = 0, 1, 2, \dots - \text{целые числа}, \quad (2.17)$$

где  $p_H$  - проекция импульса  $\mathbf{p}$  на  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{h} \approx 10^{-27} \text{ э} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  - постоянная Планка.

Если учесть существование собственного магнитного момента у электрона, то уровни энергии расщепятся на две системы уравнений [6]:

$$\begin{cases} e_{\uparrow} = \mathbf{h}w_c \left( n + \frac{1}{2} \right) + \frac{p_H^2}{2m_e} - mH, \\ e_{\downarrow} = \mathbf{h}w_c \left( n + \frac{1}{2} \right) + \frac{p_H^2}{2m_e} + mH. \end{cases} \quad (2.18)$$

В классическом понимании, особенность постоянного однородного магнитного поля состоит в том, что оно только изменяет траекторию движения заряда (электрона, иона) а скорость заряда остается неизменной. Таким образом, *однородное магнитное поле не совершает работы над зарядом*. Сила Лоренца, действующая на заряд, в любой момент перпендикулярна его скорости, следовательно, *она не в состоянии изменить модуль скорости и кинетическая энергия частицы будет оставаться постоянной*. Это означает, что *при движении заряда в постоянном магнитном поле энергия от поля не отбирается* [6].

В случае *неоднородного* магнитного поля, сила Лоренца (2.14) уже не будет *оставаться постоянной* от точки к точке при заданной скорости и направлении движения заряда, поэтому траектория движения заряда будет, намного сложнее. Сформировать *неоднородное* магнитное поле совсем нетрудно, можно, например, полюсам магнита придать изогнутую форму, или направить одноименные полюса магнита навстречу друг другу. Заряд, попавший в *неоднородное магнитное поле*, будет совершать сложное движение (рис. 2.12а). Он начнет быстро *вращаться вокруг силовой магнитной линии поля* и более медленно продвигаться вдоль нее, орбита уже не будет окружностью и возникнет «дрейф» [6].

В нарастающем поле, где линии индукции сгущаются, у силы Лоренца появляется составляющая  $\vec{F}_{\text{торм}}$ , которая направлена перпендикулярно плоскости ларморовской окружности. Именно эта составляющая и тормозит движение заряда в область более сильного магнитного поля (рис. 2.12б). Поэтому если орбита в целом первоначально смещается в

сторону сгущения линий поля, то это движение будет замедленным, в то время как *кинетическая энергия вращения и скорость будут возрастать*. Это следует из соотношения (2.17), с увеличением частоты вращения энергия электрона увеличивается.

### Неоднородное поле

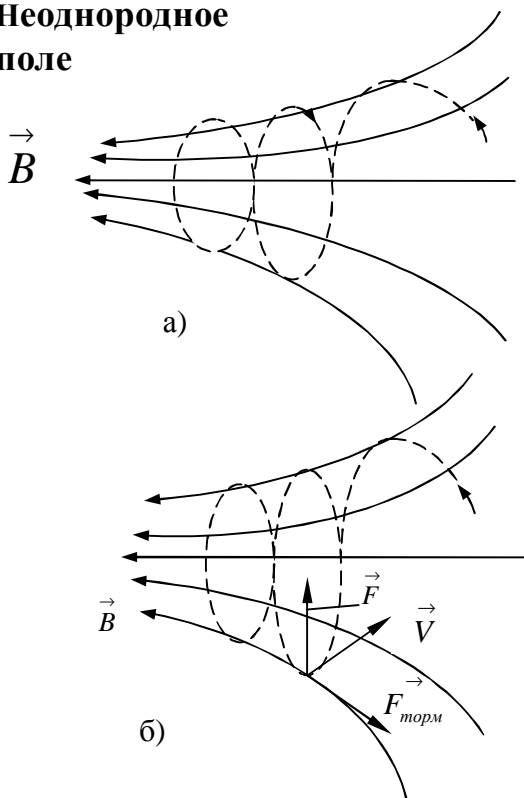


Рис. 2.12. Движение заряда в неоднородном магнитном поле

В какой-то точке движение орбиты прекратится, а так как сила Лоренца продолжает действовать в том же направлении, то начнется *ускоренное движение в обратном направлении*, т. е. в область более слабого поля [6].



Именно такой эффект проявляется в магнитном поле Земли, захватывающей заряженные частицы, приходящие из космоса, в частности от Солнца, и вызывающие полярные сияния. Этот же эффект используется для удержания заряженных частиц в ограниченной области пространства, или для фокусировки электронов, вылетающих из катода в телевизионной трубке (так называемые магнитные линзы). Под действием анодного напряжения электроны, вылетевшие с катода, перемещаются вдоль линий электрической напряженности к аноду. Магнитные соленоидальные катушки на цоколе телевизионной трубки создают магнитное поле вдоль оси трубки. Это заставляет электроны закручиваться, витки становятся все меньше и меньше, сгущаются, приближаются к оси (рис. 2.13), и, наконец, фокусируются в одной точке на экране, образуя маленькое светящееся пятно.

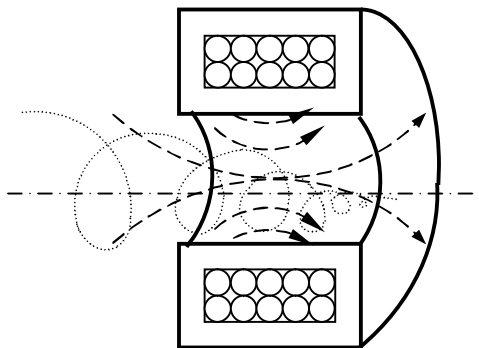


Рис. 2.13. Фокусировка электронов магнитной линзой

Сфокусированный электронный луч является прекрасным исследовательским инструментом, и является основой современных электронных микроскопов с разрешением до 150000 раз (оптический микроскоп имеет разрешение до 2000 раз).

Особенности движения заряженных частиц в магнитном поле позволили разработать достаточно точные методы определения масс этих частиц. Поскольку отклонение заряженных частиц целиком зависит от отношения заряда частицы к ее массе  $q/m$ , то если пропустить пучок частиц через магнитное поле перпендикулярно линиям индукции, на экране частицы с одинаковыми скоростями, но с разным отношением  $q/m$  попадут в разные точки. Получаемые на экране изображения образуют распределение частиц по массам.

Этот прибор называется масс-спектрограф. Масс-спектрографом определяют массы различных атомов и изотопов. Именно так было найдено соотношение  $q/m$  для медленно движущихся электронов  $q/m = 1,7588 \cdot 10^{11}$  Кл/кг, откуда для массы покоя электрона получилось соотношение  $m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31}$  кг, что в 1836 раз меньше массы протона, определенной таким же методом [6].

Если рассматривать заряд как меру взаимодействия между частицами, то он огромен. Сравним силу отталкивания между двумя протонами, обязанную закону Кулона  $F_{кул} = -e_p^2 / r^2$ , с силой притяжения, обязанной закону всемирного тяготения  $F_{грав} = g \cdot m_p^2 / r^2$ . Это сравнение легко провести, так как и та, и другая сила убывают по одинаковому закону – обратно пропорционально квадрату расстояния между частицами. Заряд протона положительный и равен  $e_p = 4,8 \cdot 10^{10} \cdot \text{г}^{1/2} \cdot \text{см}^{3/2} \cdot \text{с}^{-1}$ , масса протона  $m_p = 1,7 \cdot 10^{-24}$  г, а постоянная  $\gamma$  в законе всемирного тяготения равна  $\gamma = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ . Так вот, это отношение  $F_{кул} / F_{грав} \approx 4 \cdot 10^{42}$  [6]. Более чем в  $4 \cdot 10^{42}$  (!) электрические силы больше гравитационных сил.

Это важное обстоятельство играют решающую роль в разрушении разного вида теорий, которые объясняют причины возникновения «торнадо» закручиванием конденсированных паров воды и других твердых частиц в атмосфере под действием сил гравитации Земли.

До сих пор мы рассматривали движение частицы в постоянном магнитном поле в предположении, что они двигаются под действием внешнего электрического поля в некотором пространстве. Постоянное магнитное поле, в котором заряженные частицы перемещаются, может быть, как *однородным*, так и *неоднородным*. В последнем случае **частицы могут приобретать** (*увеличивать*) дополнительную *кинетическую энергию*. Поскольку каждая *заряженная частица* имеет *собственное магнитное поле*, то вместе они образуют внутреннее *суммарное* магнитное поле, которое входит во взаимодействие с внешним постоянным магнитным полем.

Если рассматривать проводник с постоянным током, то вокруг проводника образуется магнитное поле, силовые линии которого в сечении перпендикулярном проводнику, представляют собой концентрические окружности. Это описано в любом учебнике по физике и электротехнике, например, можно привести только некоторые из них: [3], [5]. Однако *о распределении силовых линий магнитного поля вдоль проводника с постоянным электрическим током в пространстве*, в указанной литературе ничего нет. Естественно возникает вопрос, *а какой вид* принимают силовые линии магнитного поля *вдоль проводника* постоянного тока в пространстве?

Вопрос *о конфигурации магнитного поля проводника, по которому протекает постоянный электрический ток*, впервые выдвинул профессор физики Копенгагена Ганс Христиан Эрстед еще в 1820 году в своей работе «Воздействие электрического конфликта на магнитную стрелку» [7]. Поскольку для дальнейшего понимания природы торнадо и взаимодействия магнитного и электрического поля эти опыты представляет необыкновенную ценность, нельзя не привести дословно некоторые выдержки из этого основополагающего доклада Г.Х. Эрстеда (июль 1820год!).

В докладе излагались результаты опытов с магнитной стрелкой, которая перемещалась вдоль проводника, по которому

протекал постоянный электрический ток. Г.Х. Эрстедом было отмечено «...нужно сверх того думать, что **круговое движение, в связи с поступательным движением** (магнитной стрелки) **вдоль по проводнику, должно давать улиткообразную линию или спираль**. Все изложенные здесь действия на северный полюс стрелки могут быть легко понятны, если допустить, что *отрицательная электрическая сила или вещество пробегает спираль, завитую вправо, и отталкивает северный полюс, но не действует на южный; таким же образом можно объяснить все действия на южный полюс, если приписать положительной электрической силе или материи движение в обратном направлении и способность оказывать действие на южный, но не на северный полюс стрелки. В совпадении этого закона с природой можно лучше убедиться путём воспроизведения опытов, чем при помощи длинных объяснений...*».

Выводы Эрстеда о возможной конфигурации силовых магнитных линий проводника с постоянным электрическим током были приняты последующими поколениями ученых, но лишь в той части, где утверждалось о *круговом расположении магнитных силовых линий вокруг проводника с током в плоскости перпендикулярной проводнику. А о спиралеобразном распределении силовых магнитных линий вокруг проводника с током в пространстве было надолго забыто.*

По-видимому, это произошло в результате того, что *спираль в сечении образует окружность* и еще потому, что как упоминал Эрстед (см. письмо), он не видел и не понимал, и это естественно на тот период развития науки, *значение конфигурации магнитного поля и движения заряженной частицы в магнитном поле. Сила Лоренца и движение заряженных частиц по спирали* были определены значительно позже. Открытие Эрстеда вызвало огромный интерес среди физиков того времени и послужило началом ряда фундаментальных исследований в области электромагнетизма.

*Существует ли обратное действие магнита на проводник с током?* Это можно легко проверить на опыте. Так в учебнике по физике [5] показан такой эксперимент. Если гибкий

проводник подвешен рядом с намагниченным стержнем, то при включении тока *проводник обвивается вокруг магнита подобно спирали*. Этот опыт, обратный опыту Эрстеда, еще раз подтверждает его выводы о *спиралеобразном характере магнитного поля вокруг проводника с постоянным магнитным полем*.

В настоящее время с развитием современного оборудования и техники видеосъемки появилась возможность объемного, компьютерного изображения магнитного поля. В частности, можно в качестве примера привести статью «Трехмерная модель конфигурации магнитного поля Земли», которая была опубликована в Интернете на сайте «Популярная механика» 20.07.2006г.

Открытие было сделано с помощью группы, состоящей из четырех спутников. Эти космические аппараты, предназначенные для изучения магнитного поля земли, двигаются в составе постоянной формации на расстоянии порядка тысячи километров друг от друга.

Благодаря спутникам ученые могут измерять параметры магнитного поля одновременно в четырех разных точках пространства, что позволило в конечном итоге построить достоверную **трехмерную модель** найденного феномена (рис 2.14).

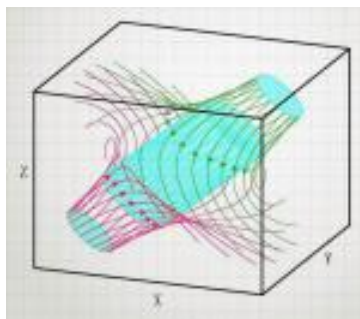


Рис. 2.14. Спиральные структуры магнитного поля Земли в окрестностях «нулевой зоны»

Полученная в результате модель явления оказалась для многих ученых неожиданностью. *Окружающие нулевую область магнитные поля образуют структуру, напоминающую спираль, или водоворот*, а, скорее, ураган, внутри которой также всегда есть область полного спокойствия. Диаметр нулевой области составляет около 500км. «Структура и размер обнаруженного объекта не были предсказаны ни теорией, ни математическим моделированием процесса рекомбинации полей.

Выводы Эрстеда, современное понимание движения заряженной частицы под действием силы Лоренца и последние данные о возможной конфигурации и взаимодействии магнитного поля Земли с другими частицами космического пространства, дают возможность сделать следующее заключение. *Постоянное магнитное поле вокруг тел, обладающих массой, внутри или вне которых передвигаются заряженные частицы, возможно, действительно имеет общий характер: спиралеобразную конфигурацию магнитного поля вокруг проводника с током.*

Этот вывод несет в себе глубокий философский смысл, поскольку *спиралеобразной форме* соответствует множество понятий и структур материальных тел, которые известны в настоящее время человечеству, начиная от *спиралеобразного представления структуры генома* человека и кончая *спиралеобразной (разбегающейся) моделью построения вселенной*. Примеры таких объектов и явлений были уже приведены в первой главе. В дополнение к сказанному, можно привести еще и высказывания философов о том, что *все в этом мире развивается по спирали*. Впрочем, оставим это суждение философам, а перейдем к механизму возникновения торнадо.

## 2.4. Механизм возникновения явления «торнадо».

Итак, мы рассмотрели некоторые вопросы, связанные с электрическим и магнитным полем Земли. Из представленного материала, можно сделать несколько важных выводов.

*Во-первых*, в атмосфере Земли *всегда* существует электрическое поле, которое направлено к поверхности, причем, верхние слои атмосферы обладают преимущественно положительным зарядом, а почва или поверхность океана, отрицательным зарядом. Напряженность такого электрического поля в ясную погоду составляет порядка 400000В/м (см. п. 2.1).

*Во-вторых*, в случае возникновения грозовой активности напряженность электрического поля Земли резко возрастает и на высотах от 3 до 7 км, может достигать значений напряженности порядка 10000000 - 100000000В/м (см. п. 2.2). Электрическое поле образуется за счет ионизации различных молекул в атмосфере, как космическим излучением (Солнца, галактическое излучение и т. д.), так и образованием разделенных полярных молекул воды вследствие дробления капель (см. п. 2.2). Причем, в случае возникновения грозовой активности, количество заряженных частиц (ионов и электронов) многократно возрастает.

Образующиеся микрообласти заряженных частиц с разной полярности, вызывают резкое увеличение электрической напряженности между этими скоплениями зарядов, что в свою очередь может вызвать местный разряд (кистевой разряд). Этот кистевой разряд приводит к лавинообразному процессу выделения новых порций электронов из атомов и последующим за ним соударений новых электронов и т. д.

Кроме этого возникает еще и так называемый процесс фотоионизации молекул в канале разряда, образующимися потоками электронов. Все вышеперечисленное заканчивается мощнейшим электрическим разрядом – молнией, в которой токи могут достигать десятки тысяч ампер (параграф 2.2).

*В-третьих, молния* образует проводящий канал (проводник) между поверхностью Земли и грозовым облаком. В этот канал и устремляются потоки электронов с поверхности Земли к грозовому облаку (обратная молния).

Итак, если сравнивать процессы движения зарядов в электрическом поле атмосферы с движением таких же зарядов в электрическом поле, например, в телевизионной трубке, то можно наблюдать некоторую аналогию. В атмосфере в *роли катода* (в телевизионной трубке) выступает Земля (твердая или водная поверхность), а *роль анода* выполняет грозовое облако. Как известно электроны, вылетающие с катода телевизионной трубки под действием разности потенциалов между анодом и катодом, двигаются в направлении анода по спирали. Но чтобы электроны достигли определенной точки экрана, ими необходимо управлять. В телевизоре эту работу выполняет магнитное поле, создаваемое различными фокусирующими катушками (рис. 2.13), которые образуют *неоднородное* магнитное поле (рис. 2.12).

Зададимся вопросом: что же является *управляющим элементом* в атмосфере Земли? Или иначе, как должны двигаться электрические заряды в атмосфере, если там нет никаких фокусирующих катушек? Чтобы ответить на этом вопрос, рассмотрим подробнее магнитное поле Земли, которое схематично изображено на рис. 2.15.

На рисунке (2.15 а) показано распределение магнитных силовых линий Земли от Северного магнитного полюса к Южному полюсу. Как видно из рисунка географический полюс не совпадает с магнитным полюсом. Это классическое представление магнитного поля Земли, которое подобно полю намагниченного шара.

Считается, что такая конфигурация распространяется вплоть до высот 6500 км, а при больших расстояниях магнитное поле искажается из-за воздействия плазмы, испускаемой Солнцем [5].



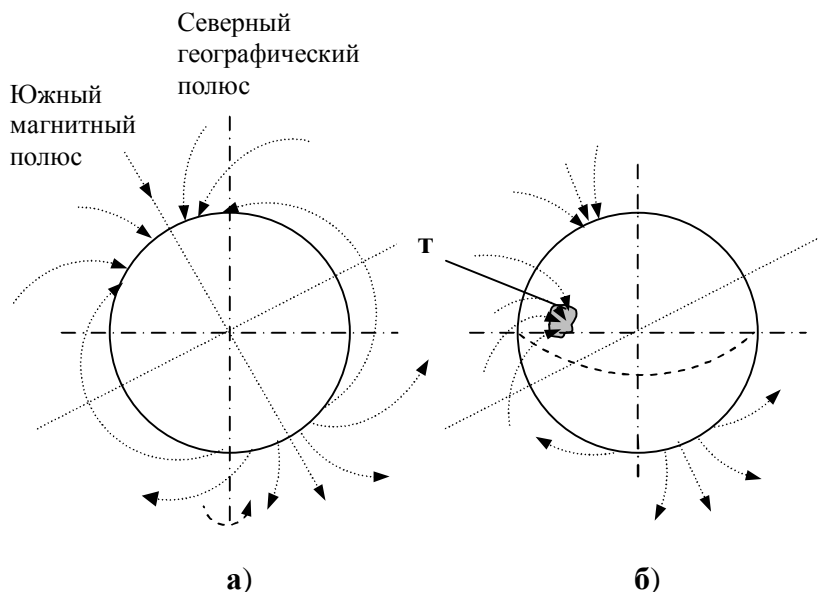


Рис. 2.15. Магнитное поле Земли.

В случае наличия аномальных областей (точка «Т» на рис. 2.15б), магнитное поле Земли искажается. В результате в тех районах, где встречаются какие-то магнитные аномалии, силовые магнитные линии Земли начинают сгущаться, а, следовательно, возрастает в несколько раз и напряженность магнитного поля (см. данные в начале этого параграфа). Причем, силовые магнитные линии Земли направлены таким образом, что в области «Т» они образуют *неоднородное магнитное поле*, подобное тому которое было показано ранее (рис. 2.12а).

Тогда, в случае возникновения грозовой активности и образования в грозовой ячейке огромного количества, положительно заряженных ионов и отрицательных электронов, последние будут перемещаться по *спиралеобразной траектории* по направлению к поверхности Земли, постепенно закручиваясь

и ускоряясь тем быстрее, чем ближе суша или водная поверхность, т. е. аналогично электронам рис. (2.12б).

Когда мы рассматривали грозовую ячейку, то отметили, что в нижней части тучи образуется небольшая зона с положительным зарядом (рис. 2.4). Благодаря этому обстоятельству можно ожидать, что помимо основной спирали, будет двигаться и другая спираль, вызванная отрицательными зарядами с поверхности Земли. Таким образом, благодаря образованию *неоднородного магнитного поля* и наличия огромного числа отрицательных электронов в грозовой туче в результате их взаимодействия с магнитным полем Земли сформируется *две спиралеобразные орбиты заряженных частиц*.

*Одна из них* направлена из верхних слоев атмосферы (грозовой ячейки) к нижней границе грозовой ячейки, постепенно сужая свой диаметр и увеличивая до огромных значений скорость и кинетическую энергию электронов. *Другая спираль* из движущихся к земной поверхности отрицательных зарядов образуется в нижней части границы грозовой ячейки. Схематично этот процесс может быть представлен так, как это показано на рис. 2.16а.

На рисунке 2.16 введены следующие обозначения.  $E_1$  – направление линий электрического поля в грозовой ячейке.  $E_2$  – направление линий электрического поля от нижней границы грозовой ячейки.  $B$  – силовые магнитные линии Земли в области с аномальными свойствами.

Естественно, в описываемом процессе будут участвовать не только потоки электронов, но и потоки положительно заряженных ионов, которые начнут свое движение в противоположном направлении (рис. 2.16б).

Скорость перемещения таких ионов будет значительно ниже легких электронов, но *траектория движения* останется *спиралеобразной*. Тогда следует ожидать, что постепенно сформируется *вихревой, «улиткообразный»* или *спиралеобразный* поток больших ионов, направленных к верхним слоям атмосферы (грозовой ячейки).

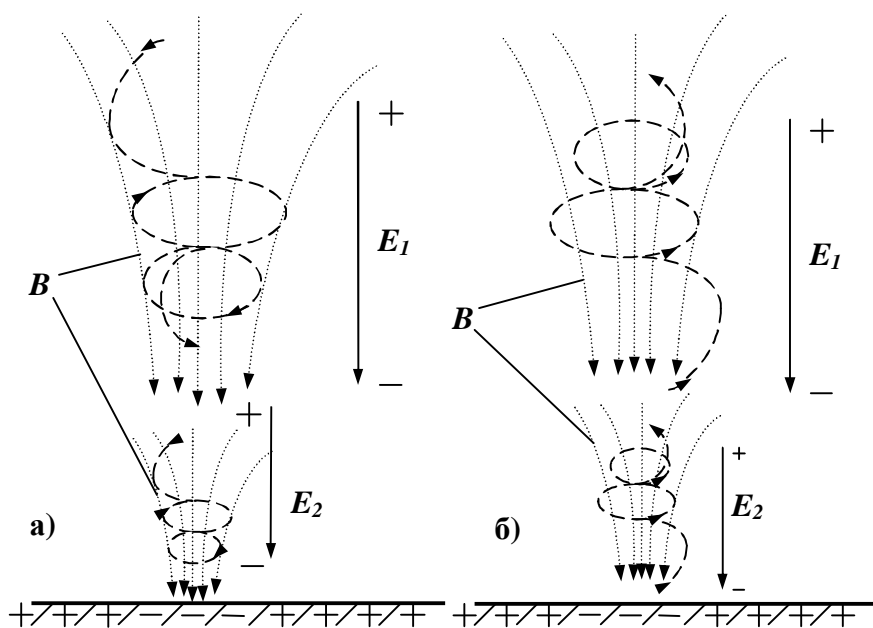


Рис. 2.16. Образование спиралеобразных траекторий движения заряженных частиц.

По мере подъема и закручивания, все больше и больше заряженных частиц атмосферы (ионизированных молекул воздуха, капель воды, пыли и других, положительно заряженных микроскопических ионов) будет вовлекаться в это движение.

*В результате такого движения может начаться процесс формирования явления торнадо.* Следует отметить, что по мере продвижения в область с меньшими значениями магнитной индукции (в вертикальном направлении) скорость вращения положительных зарядов будет возрастать (п. 2.3 рис. 2.12). Как известно, чем выше скорость потока частиц в вихре, тем меньше давление (газов, жидкостей). При значительных угловых скоростях движения в вихре образуется вертикальный столб и воронка, в которую вследствие понижения давления

постепенно начнут всасываться и втягиваться частицы окружающего воздушного пространства.

Точно такая же картина будет наблюдаться и в области нижней спирали (рис. 2.16а). В этом случае электроны будут постепенно закручиваться от нижней границы грозовой ячейки, которая заряжена положительно к земной поверхности, заряженной отрицательно (рис. 2.4 и рис. 2.16). В то же самое время начнется движение положительных ионов (благодаря взаимодействию с *неоднородным* магнитным полем Земли), которое будет направлено по *спиральной траектории* в противоположную сторону, т. е. от земной поверхности к нижней границе грозовой ячейки (рис. 2.16б).

Таким образом, сформируется *воронка*, подобная воронке в грозовой ячейке, но состоящая уже из положительно заряженных частиц околоземного пространства. Скорость вращения положительных зарядов будет возрастать и достигнет максимума у нижней границы тучи, где создастся еще одна область с низким давлением, в которую начнут втягиваться уже частицы околоземного пространства, в том числе и объекты со значительной собственной массой. В результате описанных процессов в околоземном пространстве может образоваться *вихрь* или «*торнадо*» или просто «*смерч*».

Возможность и условия для формирования торнадо зависит от многих факторов. Но в первую очередь от напряженности магнитного поля в данном районе Земли и электрической напряженности в грозовой ячейке. Конечно влажность и температура окружающего воздуха, запыленность (загрязненность атмосферы) и другие причины тоже играют не маловажную роль. Тем не менее, в основе процесса образования *вихря (торнадо)* всегда будет лежать механизм взаимодействия магнитного и электрического поля Земли.

Однако явление *торнадо*, не ограничивается только теми процессами, которые мы описали, он *гораздо сложнее*. Достаточно задаться простым вопросом: *почему на полюсах, где наблюдается наибольшая неоднородность магнитного поля Земли, не возникает явление торнадо?* В этих широтах

наблюдается полярные сияния, которые объясняются спиралеобразным движением ионизированных частиц атмосферы под действием силы Лоренца вдоль линий напряженности магнитного поля Земли. Это отмечено и объяснено уже давно, но вот «торнадо» в этих полярных широтах не наблюдали никогда.

Для дальнейшего понимания механизма торнадо, сделаем некоторое отступление. Рассмотрим, как распределяется магнитный потенциал вдоль осевой линии обычного прямоугольного постоянного магнита.

Схематично такое распределение можно представить так, как это показано на рисунке 2.17.

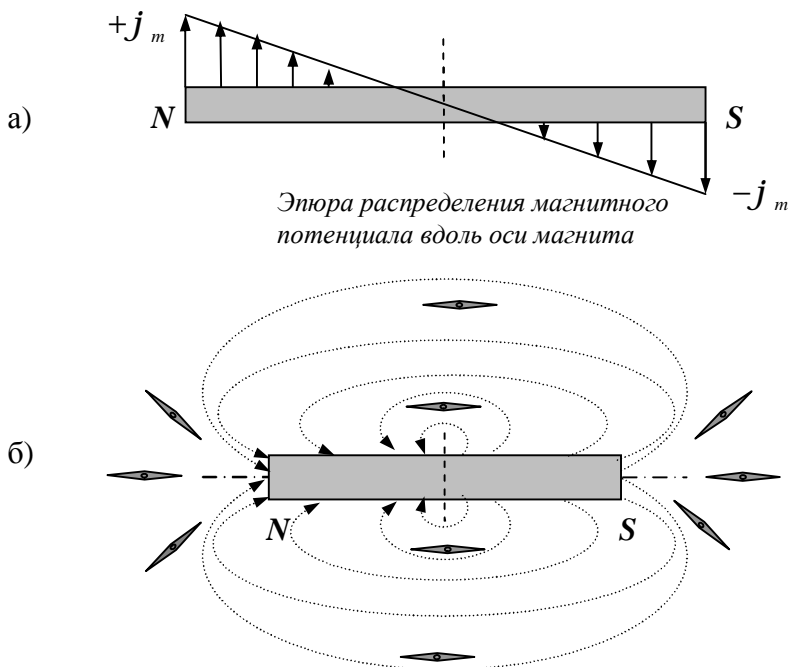


Рис. 2.17. Распределение магнитного потенциала и магнитные силовые линии постоянного магнита.

Анализируя эту схему нельзя не заметить, что в той области магнита, где изменяется полярность полюсов, т. е. в середине магнита (магнитный экватор), магнитный потенциал переходит нулевую отметку (рис. 2.17а). Это означает, что в этом месте образуется зона, в которой магнитные силовые линии расположены параллельно продольной оси магнита (рис. 2.17б).

Если поместить в эту зону другой магнит 2 (в том числе проводник или виток с током), то направление силовых магнитных линий можно легко изменить (рис. 2.17в). Угол отклонения магнитной силовой линии будет зависеть от величины магнитной напряженности, создаваемой вторым магнитом или величины тока, протекающем в проводнике или витке.

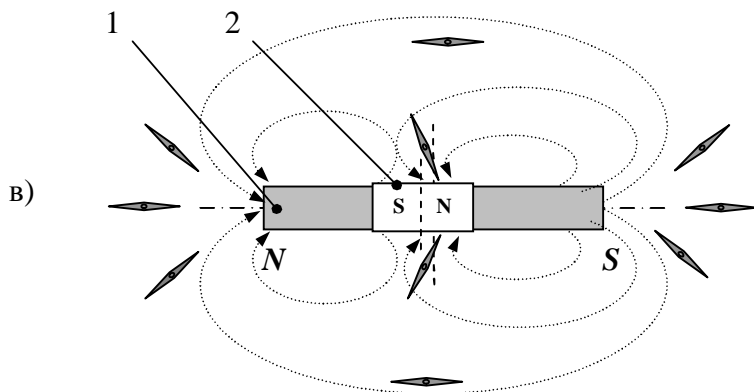


Рис. 2.17в. Дополнительный магнит в зоне магнитного экватора.

В противоположность этому, в том месте, где образуется высокий магнитный потенциал, и силовые магнитные линии втекают (сток) или вытекают (исток) из магнита, т. е. *вблизи полюсов, изменить направление силовых магнитных линий очень сложно*. Для этого необходимо иметь магнит близкий по величине магнитной индукции (магнитному потенциалу) исходному магниту. *Вблизи же зоны магнитного экватора не*

требуется значительных значений магнитного потенциала, создаваемого другим магнитом, поскольку у исходного магнита в этой зоне магнитный потенциал равен или близок к нулю.

Поэтому чтобы добиться изменения направления силовой магнитной линии достаточно иметь магнит с меньшими значениями магнитной индукции, чем у исходного магнита. Причем, расположение магнита 2 (рис. 2.17в) возле линии магнитного экватора может быть как вертикальным, так и горизонтальным. Магнитные экваторы исходного и внесенного магнитов будут несколько смещены друг относительно друга, и могут не совпадать. Аналогичным образом будет вести себя и проводник с током (виток с током), помещенный в зону раздела полюсов.

Посмотрим, как распределяются электрические заряды вдоль проводника с током (рис. 2.18).

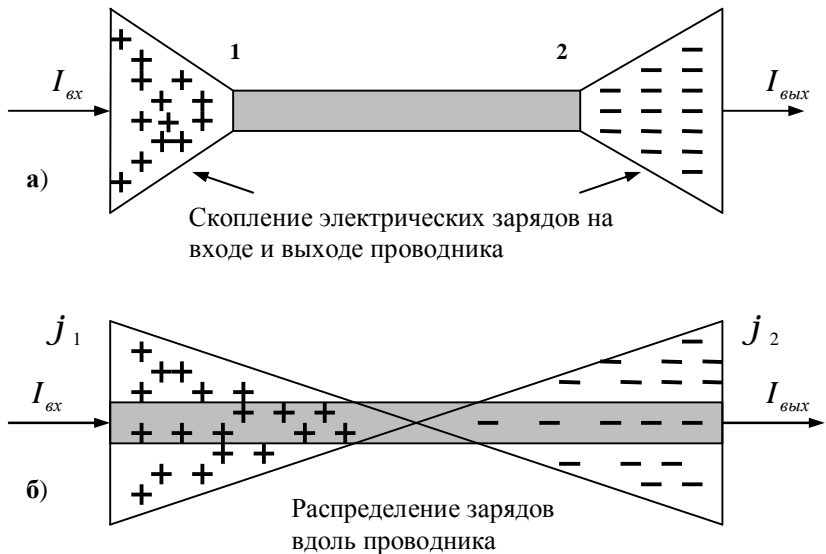


Рис. 2.18. Распределение электрических зарядов вдоль проводника

В точке 1 перед входом в проводник образуется скопление зарядов, чтобы войти в проводник (1 рис. 2.18а). Поскольку сечение проводника 1 - 2 слишком узкое чтобы мгновенно вместить все электрические заряды, поставляемые источником тока (на рисунке не показан), то в точке 1 образуется, например, избыток положительных зарядов, т. е. создается потенциал  $j_1$  (рис. 2.18б). По истечении некоторого времени, заряды начинают распределяться вдоль проводника и электрический потенциал постепенно снижается. На выходе проводника в точке 2 (рис. 2.18а) обратная картина. Все заряды, скопившиеся в конце проводника, не могут одновременно покинуть проводник, и, следовательно, на конце проводника образуется уже другой потенциал – выходной потенциал  $j_2$  (рис. 2.18б). Таким образом, на концах проводника образуется потенциалы, которые воздействуют на магнитную стрелку. Это явление и было блестяще подмечено Г.-Х. Эрстедом почти два века тому назад.

Фактически такое скопление зарядов и было принято за существование магнитных полюсов – северного полюса  $N$  и южного полюса  $S$  проводника и используется до настоящего времени. На самом деле, это всего лишь сосредоточение движущихся электрических зарядов, стремящихся поскорее «втиснуться» в узкую «трубку» проводника или выйти из нее. Как известно, движущийся заряд всегда обладает собственным магнитным полем. Сумма элементарных магнитных зарядов и будут образовывать северный и южный полюсы, которые легко можно обнаружить при перемещении магнитной стрелки вдоль проводника с током, что впервые и обнаружил Г.Х. Эрстед (рис.19а).

В зависимости от направления тока в проводнике, на концах проводника будет образовываться либо «северный», либо «южный» полюс. Такое распределение магнитного поля поясняет рис. 2.19б.



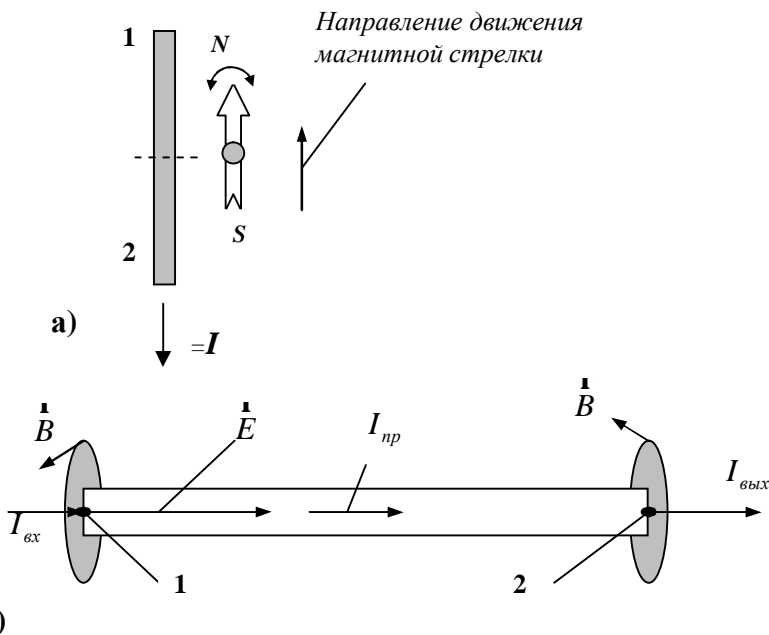


Рис. 2.19. Опыт Г. Х. Эрстеда (а) и образование магнитных полюсов (б).

Таким образом, действие любого источника постоянного тока подразумевает возникновение магнитного поля **в точке входа** (втекания) тока в проводник (1 рис.2.19б) или **в точке выхода** (вытекания) тока из проводника (2 рис.2.19б). Это подтверждает замечательный вывод Г.- Х Эрстеда, сделанный два века тому назад (!) о том, что «...отрицательная электрическая сила или вещество пробегает спираль, завитую вправо, и **отталкивает** северный полюс...» (см. выше) [7]. Что, переводя на современный язык, и означает начало возникновения электрического и магнитного поля в проводнике **в точке входа или выхода тока** из проводника! Такой вывод будет подтвержден в ходе описания опытов с магнитной стрелкой в изолированном от электрического поля стакане Фарадея (будет показан в дальнейшем).

Кроме указанного механизма формирования магнитных полюсов, необходимо еще учитывать и конфигурацию магнитного поля вдоль проводника, а, именно, то, что эта конфигурация носит *спиралеобразный характер*. Тогда, если проводник, имеющий собственное спиралеобразное магнитное поле, поместить во внешнее поле такой же конфигурации, то магнитное поле проводника за счет суммирования внешнего и внутреннего магнитного поля усиливается. Математически это можно выразить как:

$$\vec{B}_{\Sigma} = \vec{B}_{внеш} + \vec{B}_{вн}, \quad (2.19)$$

где  $\vec{B}_{внеш}$  - магнитная составляющая от внешнего спиралеобразного магнитного поля,  $\vec{B}_{вн}$  - магнитная составляющая спиралеобразного поля проводника.

Рисунок 2.20 поясняет механизм усиления магнитного поля в некоторой точке пространства в результате суммирования спиралеобразного магнитного поля проводника и внешнего спиралеобразного постоянного магнитного поля.

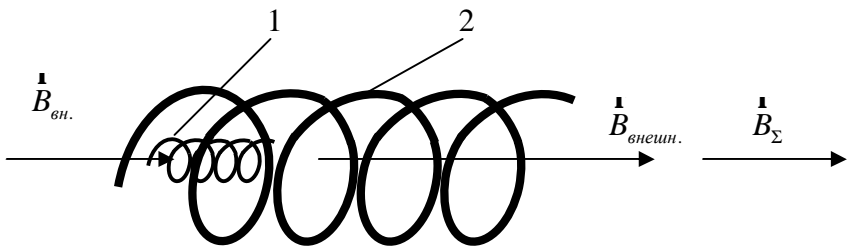


Рис. 2.20. Проводник во внешнем спиралеобразном поле.

1 – спиралеобразное постоянное магнитное поле проводника, 2 – внешнее постоянное спиралеобразное магнитное поле.

Итак, для изменения направления силовой магнитной линии в зоне экватора магнита можно внести в эту зону либо

*дополнительный магнит*, либо поместить в эту зону *проводник или виток* с постоянным током. В любом случае, благодаря тому, что магнитный потенциал исходного магнита в этой зоне близок или равен нулю, введение в эту зону дополнительного магнитного поля приводит к тому, что направление первоначальной силовой магнитной линии может быть легко изменено (рис. 2.17в).

Причем, если такое событие происходит одновременно (дополнительный магнит и проводник с током), то результирующее магнитное поле может быть усилено (2.19).

Отметим еще одно важное обстоятельство. В зоне перехода от южной части магнита к северной его части, где длина силовых магнитных линий значительно меньше, чем длина силовых магнитных линий идущих непосредственно от полюсов, магнитные силовые линии будут стремиться «входить» в магнит по направлению к продольной оси магнита *близком к перпендикулярному* направлению (рис. 2.17б). Это означает, что *даже в обычном состоянии* (без внесения дополнительного магнита или проводника с током (витка с током)) в этой области магнитные силовые линии образуют *неоднородное* магнитное поле. Образование *неоднородного магнитного поля* и наличие *электрического тока* в атмосфере во многом может объяснить и развитие растений, подробно описанных в 1 главе.

Возвращаясь к теме **«торнадо»**, можно проследить полную *аналогию* между магнитным полем Земли, наличием аномальных областей Земли и молний с магнитным полем постоянного магнита, дополнительного магнита в зоне экватора и проводника с током.

Действительно, *во-первых*, в экваториальной зоне точно также как в обыкновенном магните поле Земли *уже неоднородно*, поскольку направление «входа» в земную поверхность «выхода» с поверхности силовых магнитных линий близко к перпендикулярному направлению за счет укорачивания длины силовой магнитной линии (рис. 2.15). Как уже

отмечалось ранее, эта зона в районе экватора составляет приблизительно 500км (рис. 2. 14).

*Во-вторых*, если вообразить, что молния представляет собой проводник с током (до 500000А [2]), то в тех местах, где она «выходит» из земной (водной) поверхности и «входит» в нижний край грозового облака *образуются дополнительные магнитные полюса*, вызванные скоплениями заряженных частиц.

Поскольку токи в молнии невероятно высоки, то величины магнитной индукции таких «местных» полюсов могут достигать огромных величин. Как было показано выше, по этой причине направление силовых магнитных линий в этом районе Земли резко изменяется (рис. 2.17в). Поскольку формирование молний происходит вблизи плоскости магнитного экватора (или вблизи географического экватора), это приводит к тому, что *магнитное поле Земли в этой области становится еще более неоднородным*, и активизирует процессы, которые были описаны выше (рис. 2.16).

*В-третьих*, в дополнение к перечисленным факторам, необходимо учитывать и тот факт, что конфигурация магнитного поля вокруг проводника с током, а, следовательно, и **молнии**, носит *спиралеобразный* характер (как это было показано выше). Это обстоятельство вызывает дополнительное закручивание заряженных частиц в вихрь, т. е. к увеличению вероятности возникновения **«торнадо»**. В тех случаях, когда к молнии добавляется еще и *аномальная зона*, где напряженность магнитного поля Земли может быть в несколько раз выше чем напряженность вблизи магнитного экватора (0,34Э), то совпадение всех вышеперечисленных обстоятельств в один и тот же момент времени, может инициировать возникновение явления **«торнадо»** с максимальной вероятностью.

Таких областей на Земле *вблизи экваториальной зоны* существует несколько. Такими, например, являются район Бермудского треугольника, район штата Калифорния в США, районы вблизи островов Японии и т. п. В этих районах наблюдаются активная вулканическая деятельность (разломы в

океанической поверхности Земли), а значит повышенная температура водной поверхности, что с большой вероятностью вызывает возникновение грозových облаков и, следовательно, молний. По некоторым данным, как можно считать, геофизическим причинам, большинство торнадо образуется над территорией Соединенных штатов. В среднем 900 торнадо в год. В годы активного Солнца эта цифра увеличивается до 1200.

Например, в районе штата Калифорния, может наблюдаться высокая электропроводность земной поверхности в виду наличия пород с большим содержанием золота (вспомним золотую лихорадку в начале прошлого века). Это обстоятельство может приводить к повышенному пробоем земной поверхности молниями, по сравнению с другими районами, где земная поверхность представляет собой вещество близкое к диэлектрику.

Однако не только сами молнии могут изменять направление линий магнитной напряженности Земли. Даже сам факт формирования грозовой облачности уже существенно меняет магнитное поле в этом районе Земли. Поясним это. Как мы показали в параграфе 2.1, с увеличением облачности и создании грозových облаков напряженность электрического поля Земли резко возрастает. По крайней мере, в этот момент в районах с грозовой активностью распределение электрического поля в атмосфере Земли таково, что расположение «батареи» (грозовой тучи) позволяет заряжать Землю *отрицательным зарядом*. Причем, положительные заряды находятся на высоте 6-7 км над Землей, где температура достигает минус 20 градусов по Цельсию, а отрицательные – на высоте 3-4 км, и температура там, около нуля градусов. Заряда нижней части тучи достаточно, чтобы создать разность потенциалов между ней и Землей в 20, 30, и даже 100 млн. В [1].

Эти значения напряжений во много раз больше тех значений напряжений 0,4 млн. В, которые обычно можно измерить при ясной погоде. Огромная разность потенциалов между земной (водной) поверхностью и нижней границей грозового облака, приводит к тому, что в атмосфере Земли

начинают возникать атмосферные токи, которые в тысячи раз больше значений токов, протекающих в атмосфере при ясной погоде (рис. 2.1). Но как мы показали, при движении электрических зарядов вдоль проводника (протекание атмосферного тока от тучи к земной поверхности), на концах проводника (вблизи земной поверхности и края тучи) образуются магнитные полюса. А это в свою очередь (особенно в районе экваториальной зоны) ведет к изменению направления линий магнитной напряженности Земли, формируя в этой зоне *неоднородное* магнитное поле.

В тот момент, когда напряженность электрического поля настолько высока, что она способна легко «пробить» воздух, возникает молния и отрицательный заряд с нижней части тучи переносится молниями на Землю. В этот момент направление силовых магнитных линий Земли максимальным образом искривлены и направлены перпендикулярно к земной (водной) поверхности, а, следовательно, неоднородность магнитного поля Земли проявляется в наибольшей степени.

Отмеченные причины изменения направления силовых магнитных линий в экваториальной зоне Земли, являются еще одним фактором тех физических процессов, которые приводят к появлению *неоднородного* магнитного поля, а, следовательно, образованию *спиралеобразных, вихревых потоков частиц* атмосферы (рис. 2.1б).

*Итак*, подводя итоги представленному материалу, можно прийти к заключению, что явление «торнадо» может возникнуть при следующих обстоятельствах.

*Первое необходимое условие.* Для того чтобы развилось природное явление «торнадо», необходимо, чтобы в атмосфере Земли сформировалась грозовая ячейка или иначе грозовое облако (рис. 2.3). Образование грозового облака приводит к тому, что напряженность электрического поля в этом районе Земли возрастает в сотни раз по сравнению с напряженностью при ясной погоде (рис. 2.2). В результате атмосферные токи, протекающие от поверхности Земли (от водной поверхности океана) к нижнему краю грозового облака увеличиваются

многократно. Это приводит к тому, что у земной (водной) поверхности и у нижней границы грозовой ячейки формируется дополнительные магнитные полюса вследствие скопления атмосферных электрических зарядов (2.17).

Образование таких дополнительных магнитных полюсов в *районе экваториальной зоны Земли*, ведет к изменению направления магнитных силовых линий Земли. Поскольку в экваториальной области изменяется полярность полюсов Земли, то в связи с этим магнитный потенциал Земли достигает минимума и близок к нулю (рис 17а). Поэтому образование в этом районе дополнительных магнитных полюсов легко вызывает изменение направления магнитных силовых линии Земли с обычного (вдоль магнитного меридиана) направления на перпендикулярное (магнитному меридиану) направление (рис. 2.17в). Такое изменение направления силовых магнитных линий Земли ведет к образованию неоднородного магнитного поля в районе с грозовой активностью (рис 2.12).

Создание *неоднородного магнитного поля* является *вторым необходимым условием* для развития явления «торнадо». В результате образования неоднородного магнитного поля, заряженные частицы грозового облака под воздействием электрического поля грозового облака начинают двигаться к земной поверхности вдоль направления силовых магнитных линий Земли, постепенно все, более закручиваясь и ускоряясь под действием силы Лоренца, и в конечном итоге образуют *спираль*, в которую начинают втягиваться различные частицы атмосферы.

Точно такая же *спираль* создается заряженными частицами, которые устремляются к земной (водной) поверхности от нижней границы грозового облака (рис. 2.16а). Образование второй спирали приводит к захвату частиц уже в околоземной поверхности (рис. 2.18б), в том числе и объектов со значительной собственной массой. Ускорение заряженных частиц в узкой (воронкообразной) части спирали достигает максимального значения тогда, когда происходит электрический разряд грозовой ячейки – молнии. Поскольку в молнии

атмосферные токи достигают колоссальных величин (десятки и даже сотни тысяч ампер), то значения магнитной индукции в образующихся магнитных полюсах (у поверхности Земли и в нижней границе грозовой тучи) приобретают такие значения, что неоднородность магнитного поля достигает своего максимума. Это приводит к огромным ускорениям заряженных частиц в нижней узкой части спирали, в результате и образуется *вихрь*, «*смерч*» или «*торнадо*».

Чем *больше* накапливается электричества в грозовом облаке, тем *мощнее* формируется «торнадо» в атмосфере Земли. Наибольшие значения ускорений частиц в образующемся вихре достигаются в тех районах Земли, где имеются различные аномальные явления в магнитном поле Земли (рис. 2.15). Это может быть, например, выброс металлической лавы, после вулканической деятельности на дне океана, наличие железорудных пород в земле и т. п.

В таких аномальных зонах магнитное поле Земли само по себе уже неоднородно. Если в этом районе формируются еще и мощные грозовые облака, то суммирование всех факторов приводит к многократному увеличению магнитной напряженности (рис. 2.20), и в конечном итоге к еще большим ускорениям заряженных частиц внутри спирали. Такие явления особенно опасны в экваториальной области Земли, т. е. в тех регионах, где меняется полярность полюсов Земли (рис. 2.14) и магнитный потенциал близок к нулевой отметке. Эта зона составляет приблизительно 500 км вблизи экватора (рис. 2.14). Кроме этого, нельзя не отметить, что *в экваториальной зоне магнитное поле* Земли уже само по себе *неоднородно*.

В других зонах Земли в северных и южных широтах изменить направление магнитных силовых линий уже не так просто. Для возникновения «торнадо» необходимо чтобы в этих зонах сформировались очень мощные грозовые облака и вдобавок имелись зоны со значительными (*аномальными*) величинами магнитной напряженности Земли. Такое совпадение всех факторов случается очень редко, однако полностью не исключаются. Однако маленькие вихри, можно иногда



наблюдать и в этих районах Земли, особенно перед началом грозы. Многие могли наблюдать, как образуются маленькие вихри пыли у земной поверхности перед грозой, особенно часто такая картина встречается в южных районах нашей страны. Смерчи не редко образуются и на Черном море.

### **Возможные направления борьбы с «торнадо».**

Подвергнув разбору причины происхождения явления «торнадо», нельзя в первом приближении кратко не назвать и возможные меры борьбы с этим стихийным бедствием. Анализ причин возникновения *торнадо*, проведенный во второй главе, дает такую возможность. Поскольку одной из основных причин *торнадо* является *молнии*, которые возникают в результате грозовой активности, то первое на что следует обратить внимание это *борьба с грозowymi облаками*.

В настоящее время существуют некоторые методы разгона грозowych облаков, когда внутрь облаков помещаются химические реагенты, связывающие пары воды, не давая им образовать грозовое облако. Традиционно реагенты распыляют самолетами, но можно использовать различные современные зенитные и ракетные установки. Такие методы известны и ими вплотную занимаются во всем мире.

Например, в районах подверженных действию *торнадо*, можно заранее применять такие реагенты, как твёрдую углекислоту, йодистое серебро, ускоряющие процесс конденсации паров воды, и тем самым, снижая вероятность возникновения их лавинообразной конденсации а, следовательно, уменьшая вероятность зарождения *торнадо*.

Поскольку точность современных зенитных и ракетных установок весьма высока (вплоть до нескольких десятков сантиметров), то можно использовать современное оружие для борьбы с *уже начавшимся* «торнадо». Когда мы анализировали это явление, то отметили две главные причины: *неоднородное* магнитное поле и *электрический разряд* в атмосфере, т. е. молнии. Когда «хобот» *торнадо* уже образовался, то внутри него двигаются остатки заряженных частиц (ионов, электронов),

оставшихся после грозового разряда – молнии. Следовательно, внутри «хобота» *торнадо* все еще существует электрический ток, направленный от грозового облака к земной поверхности, который и подпитывает «торнадо».

Чтобы прекратить действие электрического тока, обычно разрывают электрическую цепь. Точно также можно поступить и с *торнадо*. С помощью современного лазерного наведения можно направлять внутрь хобота *торнадо* ракеты, или снаряды, снаряженные изолирующим материалом в виде диэлектрического порошка. Если нижний край *торнадо* будет изолирован от Земли, то электрический ток прекратится, а значит, исчезнет одна из причин, вызывающая это явление.

Поскольку действие *торнадо* тесно связано с магнитным полем Земли, то можно изменить направление силовой магнитной линии Земли. Как уже указывалось, в *экваториальной* зоне напряженность магнитного поля Земли близка к нулевой отметке. Поэтому в районе действия *торнадо* можно ввести *дополнительный* «магнит» (см. рис. 2.17), чтобы изменить направление магнитных силовых линий Земли, а, значит, отклонить хобот *торнадо*.

С этой целью можно также использовать современные средства наведения ракет или зенитных снарядов, чтобы доставить контейнер с *ферромагнитным порошком* как можно ближе к зоне действия хобота «торнадо». Если распылить достаточное количество такого порошка, то его магнитная составляющая может изменить направление силовой магнитной линии Земли и отклонить хобот *торнадо* в нужном направлении от основной оси вращения («загнуть хобот»).

Конечно, кроме наземного «расстрела» *торнадо* указанными диэлектрическими и ферромагнитными порошками, представляется более эффективным способом воздействовать на хобот *торнадо* с воздуха, с помощью самолетов. В таком случае, существующий, так называемый «*глаз торнадо*» может быть *прикрыт* вертикальным воздействием снарядов непосредственно внутрь хобота упомянутыми специальными порошками. Тем более это можно сделать, поскольку в верхней

части *торнадо*, как правило, уже нет облачности. На фотографии (рис. 2.21) показано одновременное действие молнии и торнадо (фото: <http://www./trinixy.ru/2007/03/29>).



Рис. 2.21. Одновременное действие молнии и торнадо.

Через некоторое время хобот «торнадо» сместится в зону действия молнии, или образуется другой хобот. Как можно видеть на фотографии (рис. 2.21), в верхней части вихря *торнадо*, облачность рассеяна.

До сих пор, мы анализировали формирование молний и движение зарядов в них чисто теоретически. В основном рассматривались модели, которые могут (или должны?) иметь место в действительности, т. е. описывают движение заряженных частиц либо в проводнике, либо в земной атмосфере близко к реальности. Однако, чтобы строго доказать, что молния формируется как *спираль*, а не плоский «зигзаг», необходимо получить *трехмерное изображение* молнии. Такой фотоматериал получить не так просто, поскольку необходимо одновременно фотографировать молнию с трех точек пространства: по осям X, Y, Z.

Большое количество фотографий молний передают *только плоскую картину* этого природного явления. Обычно молнии фиксируются кинокамерами, фотокамерами или видеокамерами, с какой-то одной точки наблюдения. Синхронизацию съемки одновременно с разных сторон одной и той же молнии осуществить достаточно сложно.

Для этого необходимо знать *точное время* и *точные координаты* хотя бы *зоны* удара молнии. Поскольку оба этих параметра не поддаются точному математическому расчету, а являются *случайными* величинами, то изучение, анализ и доказательство спиралеобразного характера молнии естественно связано с объективными трудностями. *Съемка настоящей молнии в вертикальном направлении (по оси Z)* вообще представляется *фантастической* по понятным причинам (сверху она закрыта облаками, а снизу необходимо точно поместить фотокамеру в неизвестной точке замыкания на землю).

Возможно, такая задача ранее и не ставилась перед исследователями, поэтому и нет таких фотографий и видеоматериалов. Последние достижения в области космонавтики дают надежду для осуществления такого планетарного эксперимента, когда некоторый участок земной поверхности, в котором проявляется грозовая активность, может быть отснят одновременно с нескольких разнесенных в пространстве спутников.

Синхронизация данных фотоматериалов, сделанных разными спутниками, смогла бы решить эту непростую задачу. Естественно, зафиксировать точный момент электрического разряда в вертикальном положении будет сложно, но все, же возможно, если применять специальные фильтры или съемку в разных диапазонах частот (начиная с ультрафиолетового диапазона, и кончая инфракрасным диапазоном). Что касается азимутальных направлений видеосъемки настоящих молний, то этот широкомасштабный эксперимент может быть осуществлен и в наземных условиях в районах с повышенной грозовой активностью.

Однако это дело ближайшего (или далекого?) будущего. Но можно не ждать результатов экспериментов будущего, а посмотреть более внимательно на имеющийся фотоматериал и проанализировать его. Кроме этого, у исследователей всегда есть возможность проводить эксперименты с электрическим разрядом в лабораторных условиях. Ведь, в сущности, природа молнии очень *близка* к электрическому разряду, проведенному в лаборатории. Естественно, напряжения и токи, которые возникают в реальных условиях природы, будут отличны от напряжений и токов, которые можно создавать искусственно в условиях эксперимента. Однако форма и траектория движения зарядов, форма канала разряда при электрическом разряде в воздухе будут близко подобны настоящим молниям.

Так, на рис. 2.22 представлена фотография настоящей молнии, полученная в результате видеосъемки.



Рис. 2.22. Фотография реальной молнии.

На фотографии (рис. 2.22) можно рассмотреть три канала движения заряженных частиц при электрическом разряде в атмосфере (молнии). Хорошо виден основной канал 2, по которому протекает основная масса зарядов. Траектория движения представляет собой *кривую линию*, обозначена на фотографии пунктирной линией. Кривая 1 представляет дополнительный канал движения зарядов, которые описывают *спиральную* линию вокруг основного канала 2. Это доказывается тем фактом, что тонкая линия канала 1 скрыта за основным каналом разряда 2 в двух точках А и В. Тонкая кривая линия 3 возможно представляет первоначальную лавину зарядов, которая двигается от грозового облака (рис. 2.7). Конечно, строго доказать, что *все три канала представляют спиральные кривые* невозможно без видеосъемки молнии в трех проекциях, однако даже такая плоская картина показывает криволинейный характер движения электрических зарядов, весьма близко напоминающий *спиралеобразный*.

Поэтому, исходя из изложенных соображений, вначале рассмотрим подробно траектории и формы движения электрических зарядов в воздухе и подвергнем всестороннему анализу имеющиеся фото и видео материалы, полученные в лабораторных условиях в ходе научных экспериментов.

## ГЛАВА 3. ТРАЕКТОРИИ И ФОРМЫ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В ВОЗДУХЕ.

### 3.1. Область и точка пространства электрического заряда.

Посмотрим, как происходит распределение электрических зарядов в пространстве. В случае возникновения в некоторой *области* пространства в обычном состоянии нейтральной, электрического заряда (положительной или отрицательной полярности), вблизи этой области одновременно образуется другая область пространства, в которой создается электрический заряд противоположной полярности. В результате такого процесса между зарядами появляется электрическое поле, стремящееся привести обе области пространства в исходное состояние (нейтральное состояние). До тех пор пока это событие не произойдет, между двумя областями пространства всегда будет существовать силы, стремящиеся привести в равновесное состояние обе области пространства. Как известно носителем отрицательного заряда является *электрон*. Как только электрон покинет область своего обычного (нейтрального) существования, эта область пространства мгновенно становится положительно заряженной областью. С другой стороны, как только электрон попадает в область с нейтральным состоянием, то она тут же становится отрицательно заряженной областью.

Следует пояснить, что следует понимать под термином *область*. Под *областью пространства* в широком смысле можно понимать не только отдельный атом или группу атомов, но и любую молекулу (группу молекул), подвергшихся внешнему воздействию. При этом необходимо различать понятия *точка пространства* и *область пространства*.

В классической физике радиус орбиты вращения электрона можно определить исходя из равенства центробежной и кулоновской сил. Например, в атоме водорода

имеется один электрон, который движется по эллипсу и в частном случае по окружности.

Тогда используя равенство центробежной и кулоновской сил, можно установить зависимость между радиусом орбиты электрона  $a$  и его скоростью  $v$  [6]

$$\frac{e^2}{a^2} = \frac{m_e v^2}{a}, \text{ или } \frac{e^2}{a} = m_e v^2, \quad (3.1)$$

где  $m_e$  - масса электрона ( $109558 \cdot 10^{-31}$  кг),  $e$  - заряд электрона ( $1,60219 \cdot 10^{-19}$  К).

Полная энергия электрона  $e$  есть сумма потенциальной и кинетической энергий:

$$e = -\frac{e^2}{a} + \frac{m_e v^2}{2} = -\frac{e^2}{2a}, \text{ или } a = -\frac{e^2}{2e}. \quad (3.2)$$

Таким образом, энергия  $e$  электрона однозначно определяет радиус его орбиты, причем при удалении от ядра в бесконечность энергия равняется нулю. Момент количества движения электрона  $L$  равен  $m_e va$ . Тогда момент количества движения электрона и магнитный момент атома водорода  $M_a$  можно записать в следующем виде:

$$L = m_e a \frac{e}{\sqrt{m_e a}} = e(m_e a)^{1/2}, \quad M_a = \frac{e^2}{2m_e c} (m_e a)^{1/2}. \quad (3.3)$$

Таким образом, в классической механике электрон может иметь сколь угодно большую по модулю (отрицательную энергию) и, следовательно, *сколь угодно* малый радиус вращения вокруг ядра. Хотя при малом радиусе скорость вращения велика, но момент количества движения с уменьшением радиуса падает. При радиусе  $a \rightarrow 0$ , т. е. когда



энергия  $|e| \rightarrow \infty$ , момент количества движения  $L$ , а с ним и магнитный момент  $M_a$  стремятся к нулю. При таких условиях возможны любые сколь угодно малые магнитные моменты, а фиксированных элементарных (как заряды) *магнетиков* нет. Однако это рассуждение неверно, поскольку не учитывается *квантовый характер движения* микроскопических частиц. Формулы (3.1) – (3.3) дают *классическую теорию* атома водорода. В этом случае расстояние, на котором электрон вращается вокруг ядра, не могут быть выбраны однозначно, а это означает, что атомы водорода должны отличаться друг от друга: у одного атома электрон ближе к ядру, а у другого дальше.

Электрон, обладающий электрическим зарядом и движущийся с ускорением по эллиптической или круговой орбите, согласно законам электродинамики излучает электромагнитные волны а, значит, теряет энергию. Уменьшение энергии электрона сопровождается его приближением к ядру (3.2), так что, в конце концов, должно произойти падение электрона на ядро.

В действительности это конечно не происходит. В этом и заключается тот факт, что *классическую механику нельзя применить к описанию законов движения микроскопических частиц и объяснить некоторые законы, эффекты и закономерности в электродинамике.*

Поэтому для описания этих микроскопических движений прибегают к *искусственному приему*. Поскольку законы классической физики не могут определить радиус траектории электрона вокруг ядра (он может быть любым)

принимают размер атома водорода [6], равным  $a_1 = \frac{\mathbf{h}^2}{m_e e^2}$ , где

$\mathbf{h} \approx 10^{-27} \text{ г} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  - известная постоянная Планка. *Введение постоянной Планка  $\mathbf{h}$  позволяет получить размерность длины из комбинации трех составляющих  $e$ ,  $m_e$  и  $\mathbf{h}$ .*

Если подставить  $a_1$  в выражение (3.3), то значение магнитного момента атома водорода будет:

$$M_a = \frac{e\hbar}{2m_e c} . \quad (3.4)$$

Это выражение обозначают, как правило, буквой  $m$  и называют *магнетоном Бора*. Магнетон Бора и есть *магнитик - элементарный электронный момент*, в том смысле, что электрон не может иметь магнитный момент меньше  $m$ . Все величины, входящие в выражение (3.4), нам известны (мы их уже приводили). Подставляя их в формулу (3.4) можно определить элементарный электронный момент  $m = 10^{-20}$  эрг/Гс (или  $9,274096 \cdot 10^{-24}$  А·м<sup>2</sup>, или  $0,927 \cdot 10^{-23}$  Дж/Тл [4]).

Таким образом, *элементарный магнитик* существует, и порядок величины магнитных моментов определяется *магнетоном Бора* (3.4).

С точки зрения квантовой механики точные координаты электрона в пространстве могут быть строго определены только с точки зрения энергетического уровня, на котором может находиться электрон, и, следовательно, геометрический смысл «точка пространства» теряет свой истинный смысл.

Именно поэтому как в классической, так и в квантовой механике можно говорить только **об области**, а не о **точке пространства**. Естественно, если устремить область пространства к нулю, то в пределе можно оперировать терминами «точка пространства» и «заряд», как это делается в классической физике. На этом построен основной закон электростатики – закон Кулона.

Этот **экспериментальный** закон действует как в макро, так и микромире. Сила, с которой будут взаимодействовать заряды, определяется известной формулой Кулона и зависит от свойств той среды, в которой происходит это взаимодействие. Численно сила взаимодействия между зарядами равна [3]

$$F = q_1 \cdot q_2 / 4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2, \quad (3.5)$$

где  $F$  - сила взаимодействия точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$ ;  $r$  - расстояние между зарядами;  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды;  $\epsilon_0$  - диэлектрическая постоянная;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$ .

Таким образом, если используется представление «области» пространства, то под этим понимается *вероятность нахождения электрона в заданной области* пространства. В квантовой механике электрон может занимать *определенный энергетический уровень* (глава 2 (2.17), (2.18)), который строго определен для нейтрального состояния любого атома. Если электрон покидает свой энергетический уровень под воздействием какого-либо внешнего возмущения, то он излучает порцию энергии и атом мгновенно становится положительно заряженным *ионом*. В том случае если рассматривается молекула, то *положительно* заряженным *ионом* становится уже молекула, которая в нейтральном состоянии не имела никакого знака заряда. Аналогичным образом, если в какой-либо области пространства образуется избыток электронов, то эта область становится отрицательно заряженной, а атом или молекула становится уже *отрицательным ионом*.

Такие события могут происходить по совершенно разным причинам, это не столь важно, важно другое. На смену покинувшему электрону всегда обязательно придет электрон из другой области пространства, чтобы нейтрализовать ту область пространства, которая оказалась положительной вследствие ухода электрона. Точно также всегда найдется положительная область пространства, к которой будет стремиться электрон, чтобы покинуть отрицательный ион. Область пространства, которая становится заряженной, начинает обладать *потенциалом  $j$* , а создаваемое этой областью электрическое поле характеризуется *напряженностью  $\vec{E}$* .

В классической физике принято, что напряженность электрического поля и потенциал вычисляются для *точечного*

положительного заряда  $q$  в данной точке поля, при условии, что потенциальная энергия  $\Pi$  заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю. Можно записать [6]

$$\vec{E} = \vec{F}/q, \quad j = \Pi/q. \quad (3.6)$$

Для определения напряженности и потенциала электрического поля, создаваемого точечным зарядом, можно воспользоваться следующими формулами:

$$E = q/(4\pi\epsilon_0 r^2); \quad j = q/(4\pi\epsilon_0 r), \quad (3.7)$$

где  $r$  - расстояние от заряда  $q$  до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

В случае образования группы зарядов разной полярности, напряженность и потенциал поля, создаваемого такой системой точечных зарядов (согласно принципу суперпозиции электрических полей), может быть определена как:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i, \quad j = \sum_{i=1}^N j_i, \quad (3.8)$$

где  $E_i, j_i$  - напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого  $i$ -м зарядом.

Под действием разности потенциалов начинается движение уже группы отрицательных зарядов (электронов) в сторону положительных зарядов. Это движение будет существовать до тех пор, пока не произойдет полная компенсация положительных зарядов отрицательными зарядами и пока возмущенные области пространства не станут вновь нейтральными.

*Как только создастся электрический заряд, в то же самое время образуется и магнитное поле вокруг положительного и отрицательного заряда. Если образуется*

группа зарядов, то образуется и магнитное поле отдельных групп зарядов. Поскольку заряды из отрицательно заряженной группы зарядов будут стремиться переместиться к положительно заряженной группе, формируется поток отрицательных зарядов или, проще говоря, электрический ток.

Казалось бы, что согласно принципу наименьшего расстояния между двумя точками пространства, или кратчайшего пути, коим является прямая линия, заряды должны двигаться *по прямой линии* в соответствии с *направлением линий напряженности электрического поля* между скоплениями зарядов. *Однако в действительности этого не происходит.* Попробуем показать, почему это происходит.

Траектория движения зарядов была бы прямой линией, если бы одновременно с образованием зарядов вокруг зарядов не возникало магнитное поле. Магнитное поле как раз и является той основной причиной, которая заставляет отклоняться движущиеся заряды от прямой линии, делая это движение *криволинейным*, близкое к *спиралеобразной траектории*.

Посмотрим, как образуется это движение. Для этого вначале рассмотрим движение двух зарядов противоположного знака навстречу друг другу. В действительности движение, конечно, осуществляется отрицательными зарядами – электронами, однако как уже не раз отмечалось, образование положительных областей вдоль пути следования электронов, можно также рассматривать как движение зарядов, но только уже положительных зарядов навстречу отрицательным зарядам. Обратимся к рисунку 3.1.

На рис. 3.1 схематично изображены два разноименных заряда,двигающихся под действием электрического поля  $\vec{E}$  навстречу друг другу со скоростью  $v$ . Вокруг каждого из зарядов образуется магнитное поле, которое условно показано силовыми магнитными линиями  $\vec{B}_{\oplus}$  и  $\vec{B}_{\ominus}$ . Действие магнитного поля каждого из зарядов распространяется и на заряд противоположного знака.

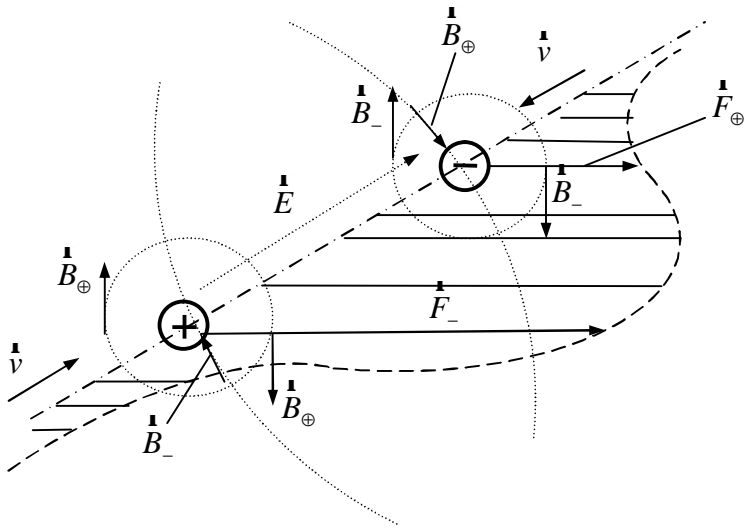


Рис. 3.1. Эпюра распределения сил взаимодействия двух разноименных зарядов, двигающихся навстречу друг другу.

Взаимодействие магнитного поля  $\vec{B}_+$  положительного заряда с отрицательным зарядом вызывает образование механической силы  $\vec{F}_+$ . Точно также взаимодействие магнитного поля  $\vec{B}_-$  отрицательного заряда с положительным зарядом создает механическую силу  $\vec{F}_-$ .

Направление сил, действующих на заряды, можно определить по известному правилу левой руки, а направление магнитного поля вокруг самих зарядов, по известному правилу правого винта (правило буравчика) [3].

Чем меньше расстояние между зарядами, тем сильнее механические силы взаимодействия, чем дальше заряды друг от друга, тем действие магнитного поля на противоположенный заряд меньше. Максимального отклонения от прямой линии заряды достигают при встрече друг с другом. На рис. 3.1 штриховой линией условно показана эпюра распределения сил,

образованных взаимодействиями зарядов с магнитным полем зарядов противоположного знака. В соответствие с этой эпюрой будут отклоняться от первоначального направления движения и сами заряды.

Вопрос *о характере движения* электрических зарядов в области *электрического разряда*, т. е. в самом канале разряда, является *весьма важным* для понимания механизма образования явления «торнадо» и требует особого, подробного, объяснения. Движение зарядов, как правило, рассматривается или в электрическом поле под действием сил притяжения (закон Кулона) или в магнитном поле (под действием силы Лоренца). *Траектория движения* самих зарядов *по пути следования* от положительного заряда к отрицательному заряду не рассматривается. В действительности форма движения электрических зарядов под воздействием электрического поля *также* носит *спиралеобразный характер* даже в отсутствии внешнего магнитного поля (вернее, когда влиянием внешнего магнитного поля практически можно пренебречь, в виду малых значений напряженности магнитного поля).

Строго говоря, движение зарядов всегда происходит в магнитном поле, например, в магнитном поле Земли и, следовательно, на заряды всегда будет действовать сила Лоренца (2.14, рис. 2.11). Это означает, что заряды должны будут перемещаться вдоль линий напряженности магнитного поля Земли по спиральной траектории (этим, например, объясняют полярные сияния). Если искусственно создавать магнитное поле, то движение электрических зарядов в электрическом поле также будет происходить по спиральной траектории, причем в случае создания *неоднородного* магнитного поля, скорость зарядов может значительно возрастать (рис. 2.12). Однако то обстоятельство, что *заряды сами по себе могут породить криволинейный характер движения (спираль)* за счет своих внутренних магнитных свойств под действием напряженности **только** внешнего *электрического поля*, до сих пор не рассматривалось в должной мере или не рассматривалось вообще.

Для доказательства такой формы движения электрических зарядов подробно рассмотрим *траектории движения зарядов* при электрическом разряде между двумя электродами под воздействием *только электрического поля*. Еще раз подчеркнем что, в действительности это конечно не совсем так, поскольку существует магнитное поле Земли, другие магнитные поля (от различного вида приборов и технологического оборудования), однако в виду малых значений напряженности магнитного поля, таким влиянием можно пренебречь.

### 3.2. Эксперименты с электрическим разрядом

Чтобы убедиться в *спиралеобразном характере* движения электрических зарядов *по пути следования*, приведем ряд экспериментальных фотографий, полученных при видеосъемке электрических разрядов. Но для этого необходимо одно условие, а, именно, чтобы видеосъемка проводилась *в трех осях координат X, Y, Z: при горизонтальном, вертикальном и осевом расположении* видеокамеры.

Обычно фотографируя электрические разряды, например, молнию, мы можем наблюдать *только плоскую* картину явления. Видеосъемка же с трех ракурсов позволяет показать траекторию движения зарядов сразу в трех плоскостях.

В этом случае, если заряды двигаются *по прямой, или кривой линии в какой-то одной из плоскостей*, на фотографиях в зоне электрических разрядов можно было бы наблюдать *только* прямые или кривые линии, но только в одной определенной плоскости.

В противном случае, вдоль всего направления перемещения зарядов можно ожидать *кривую* линию, причем, как *в горизонтальной* плоскости, так и *в вертикальной* плоскости. А из этого следует, что заряды *перемещаются по спиральным траекториям*, поскольку невозможно представить, чтобы форма движения зарядов вдоль пути следования были бы



прямолинейной, если она *криволинейна одновременно* в разных (*перпендикулярных*) плоскостях.

Как известно, проекции *спиралеобразной кривой* на вертикальную и горизонтальную плоскость представляют собой кривые, которые изменяются по гармоническому закону. Посмотрим, какие траектории в действительности описывают электрические заряды при своем движении при электрическом разряде. Для этого вначале обратимся к фотографиям, полученным в ходе видеосъемки электрического разряда между двумя электродами в воздухе, *когда видеокамера была установлена в горизонтальном положении* (рис. 3.2 и рис. 3.3). На рисунке 3.2 можно видеть отдельные светящиеся зоны перемещения электрических зарядов после электрического разряда. При увеличении размера изображения светящейся зоны в 5 раз нельзя не заметить, что канал движения зарядов, представляет собой линию, напоминающую *шнековую* или *спиралеобразную*, имеющую впадины и утолщения (зона «А», рис. 3.3) вдоль направления перемещения зарядов Б.

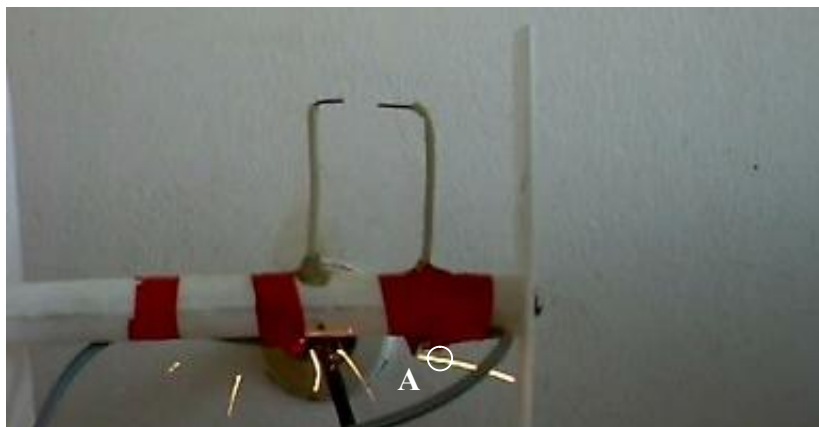


Рис. 3.2. Траектории движения электрических зарядов при горизонтальном расположении видеокамеры.

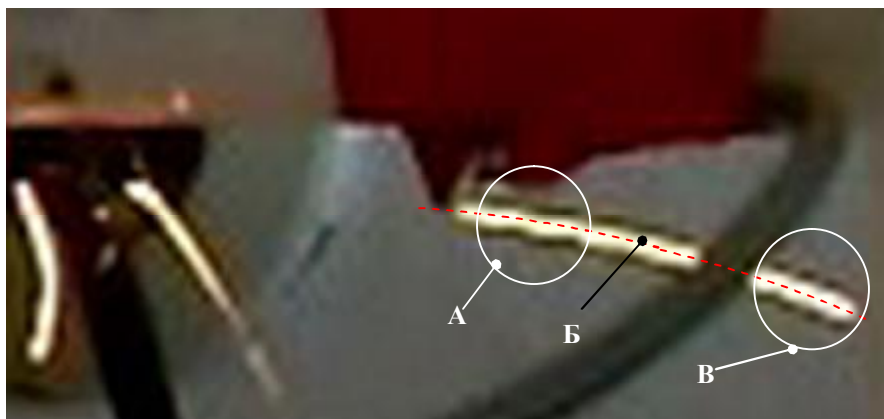


Рис. 3.3.Траектория и форма движения электрических зарядов (увеличено)

На фотографии (рис. 3.3) хорошо видно что, сами направления движения (Б) зарядов также искривлены. Следует обратить внимание еще на один факт, а именно, с увеличением кривизны траектории, шаг спирали уменьшается (зона «В», рис. 3.3), а частота вращения частиц увеличивается, т. е. количество впадин и вершин становится больше. Как указывалось выше, показанные следы распространения электрических зарядов получены *при горизонтальном расположении видеокамеры*. На рисунках зафиксирован только один фрагмент, который длится, менее чем 0,08сек (в соответствии с частотой следования кадров видеокамеры – 24 кадра в секунду).

Искровой разряд происходит не только между электродами, но и в тех местах, где подсоединяются высоковольтные провода. На представленных фотографиях (рис. 3.2 и рис. 3.3) изображены фрагменты электрического разряда именно в таких зонах. Фотографии в самой зоне разряда (между электродами) будут показаны немного позже.

Чтобы убедиться в том, что форма движения зарядов вдоль траектории перемещения имеет спиралеобразную форму, рассмотрим ряд фотографий электрического разряда при

вертикальном расположении видеокамеры. Для этого обратимся к рисункам 3.4-3.5.

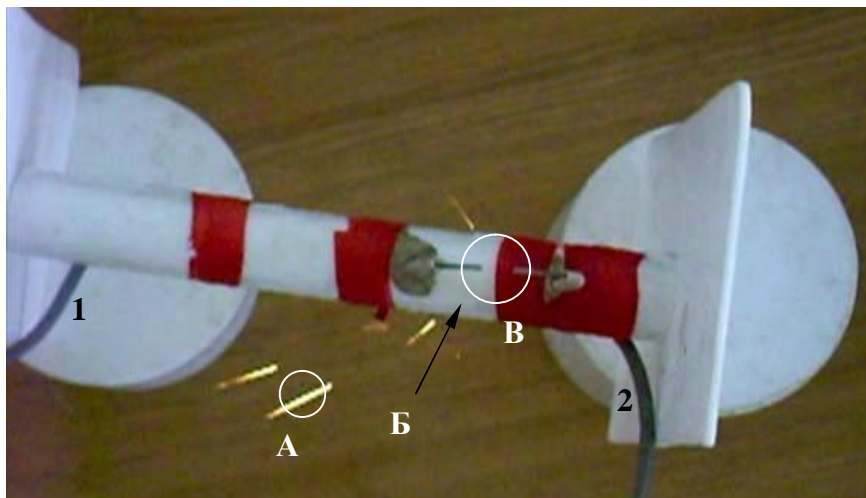


Рис. 3.4. Траектории движения электрических зарядов при вертикальном положении видеокамеры.



Рис. 3.5. Форма перемещения электрических зарядов при вертикальном положении видеокамеры (увеличено).

На фотографии (рис. 3.4) представлен фрагмент движения зарядов (А) после электрического разряда между электродами (зона В). Электроды подсоединены высоковольтными проводами 1 и 2 снизу изолятора «Б», в котором монтируются электроды. На фотографии (рис. 3.5) участок «А» увеличен. Как видно из кадра, несмотря на вертикальное расположение видеокамеры, след от двигающихся зарядов имеет аналогичную форму, как и при горизонтальном расположении видеокамеры. Таким образом, форма перемещения зарядов вдоль траектории движения, показанная на рис. 3.3, и форма перемещения зарядов, изображенная на рис. 3.5 подобны друг другу, т. е. по виду напоминают *шнековую* или *спиральную* конфигурацию.

Рассмотрим еще ряд фотографий подтверждающих сказанное. Обратимся к рисункам 3.6-3.10.

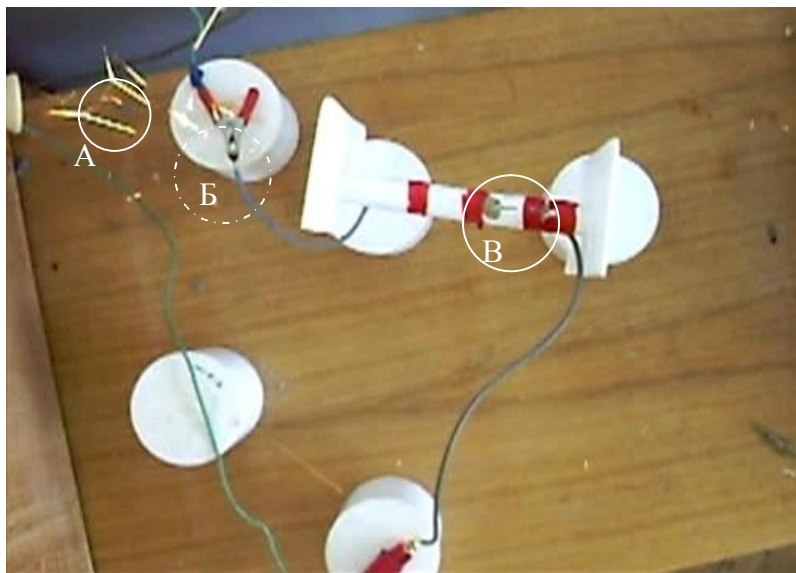


Рис. 3.6. Общий вид установки для получения электрического разряда в воздухе.

А-зона движения зарядов; Б - место присоединения высоковольтных проводов; В – зона расположения электродов.

На рисунках 3.6 и 3.7 показаны траектории и формы движения электрических зарядов, полученные в ходе видеосъемки электрического разряда.

Как можно видеть на рисунке 3.7, форма перемещения зарядов вдоль траектории движения зарядов (в зоне А), представляет собой *шнековую (спиралеобразную) ориентацию*. Кроме того, на этой фотографии можно наблюдать различие *шага спирали* между отдельными траекториями движения зарядов (сравните направление 1 и 2). Чем меньше масса заряда, тем шаг спирали меньше, а угловая скорость перемещения выше. На фотографии можно наблюдать, как поток электрических зарядов встречает на своем пути (1, 2) препятствие и отклоняются от первоначального направления на определенный угол.

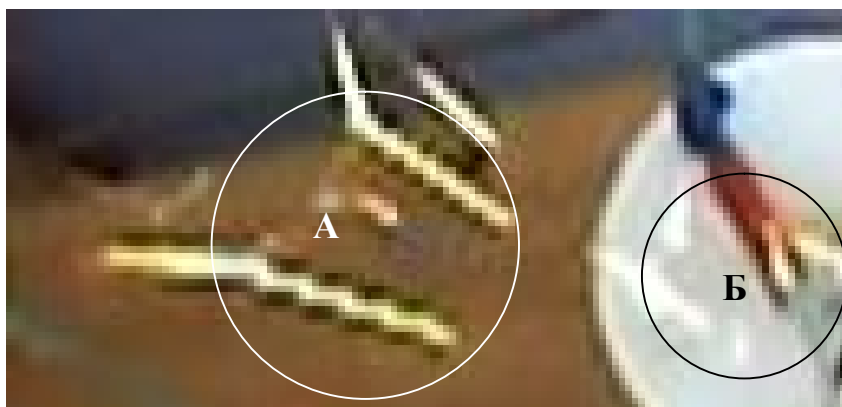


Рис. 3.7. Траектории и формы движения электрических зарядов.

Для большей наглядности, приведем снимок, на котором представлен пример отклонения электрических зарядов от первоначального направления движения при встрече с препятствием, подтверждающие факт наличия *потока* материальных заряженных частиц, (рис. 3.8а).

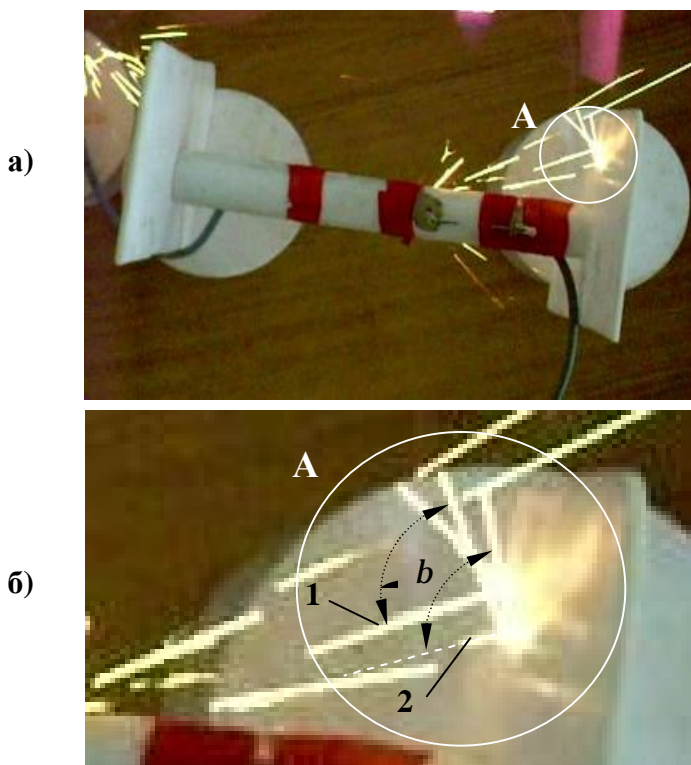


Рис. 3.8. Отклонение электрических зарядов при наличии препятствия.

На рисунке 3.8б показано увеличенное изображение зоны «А», когда потоки заряженных частиц 1 и 2 отклоняются от первоначальной траектории движения, соответственно, на углы  $a$  и  $b$ . При большом увеличении видно, что форма потока зарядов близка к спирали.

Как уже отмечалось, приведенные фотографии сделаны в тот момент, когда искровой разряд происходит не между электродами, а в тех местах, где подсоединяются высоковольтные провода. На фотографиях (рис. 3.6-3.8) также показаны моменты электрического разряда именно в таких зонах.

Чтобы детально показать картину разряда в точках соединения проводов, обратимся к фотографиям, смонтированным из видеозаписи электрического разряда (рис. 3.9-3.10). Съемка проводилась при вертикальном расположении видеокамеры. На рисунке 3.9 показан снимок в момент электрического разряда между электродами (зона В). В зоне «Б» присоединяются высоковольтные провода. Зона «А» характеризует траектории и формы перемещения зарядов при электрическом разряде.

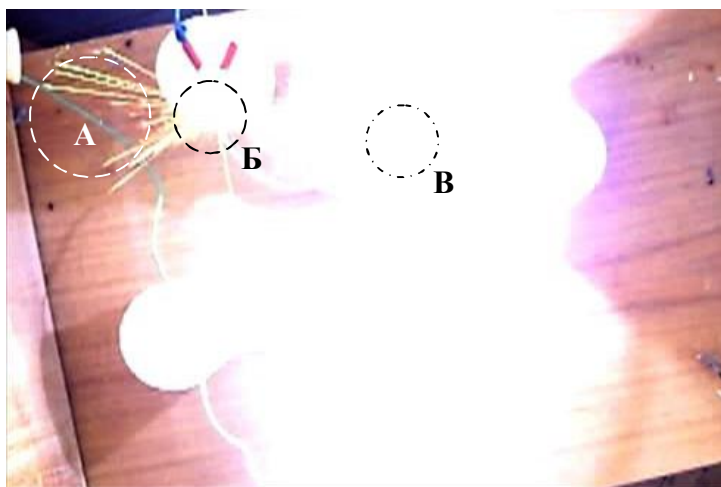


Рис. 3.9. Фрагмент видеосъемки в момент электрического разряда между электродами.

А – участок перемещения зарядов; Б – зона подсоединения проводов; В – зона разряда.

Поскольку видеосъемка проводилась без специального фотофильтра, область разряда сильно засвечена. Однако, несмотря на это обстоятельство, в зоне контакта высоковольтных проводов «Б» хорошо видны траектории перемещения электрических зарядов (область «А»). Увеличим фотографию зоны «А» до 500% и рассмотрим детально движение зарядов (рис. 3.10).

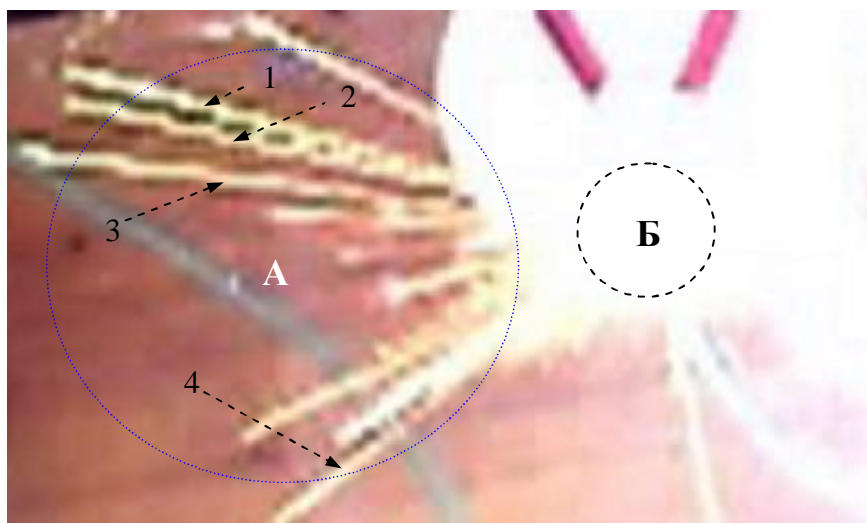


Рис. 3.10. Траектории движения зарядов при электрическом разряде (увеличено).

Как можно видеть на рисунке 3.10, конфигурация перемещения зарядов вдоль различных ориентаций движения зарядов (в зоне А), также представляет собой *шнековую (спиралеобразную) форму*. Шаги спиралей для разных направлений движения зарядов также отличаются друг от друга (сравните направления 1-4). Это свидетельствует о различии *масс* двигающихся зарядов, образующих их поток. Чем меньше *масса* заряда, тем шаг спирали меньше, а *угловая скорость вращения зарядов* внутри потока во время перемещения *выше*.

Представленные фотографии убедительно показывают, какую конфигурацию принимает поток движущихся электрических зарядов при электрическом разряде. До сих пор мы рассматривали *только следы* электрических разрядов, т. е. последствия. Является ли форма перемещения зарядов *спиралеобразной* и в самой *зоне разряда*? Для ответа на этот вопрос вновь обратимся к фотоматериалу, полученному в ходе видеозаписи электрических разрядов.



Поскольку при электрических разрядах съемка осложняется значительными световыми потоками, сопровождающие это физическое явление, то для того чтобы зафиксировать момент самого разряда, приходится применять специальные нейтральные фильтры, гасящие мощный световой поток. Кроме того, сами электрические разряды протекают за короткий промежуток времени, длящийся порядка 1-5 микросекунд. Поэтому чтобы зафиксировать момент разряда необходимо тщательная обработка большого количества видеоматериалов.

Несмотря на определенные трудности, связанные с вышеупомянутыми причинами, удалось получить фотографии траектории перемещения зарядов непосредственно в зоне разряда. Вначале рассмотрим форму движения зарядов *при горизонтальном расположении* видеокамеры.

На рисунке 3.11 представлены фотографии, сделанные из видеозаписи и фиксирующие момент электрического разряда между двумя электродами в воздухе. Электроды располагаются так, как это было показано на рис. 3.2. Расстояние между электродами составляло от 4 до 12мм, что соответствовало напряжению высоковольтного источника питания от 15 до 25кВ. Чтобы исключить засветку видеокамеры, при видеосъемке использовался темный нейтральный фильтр.

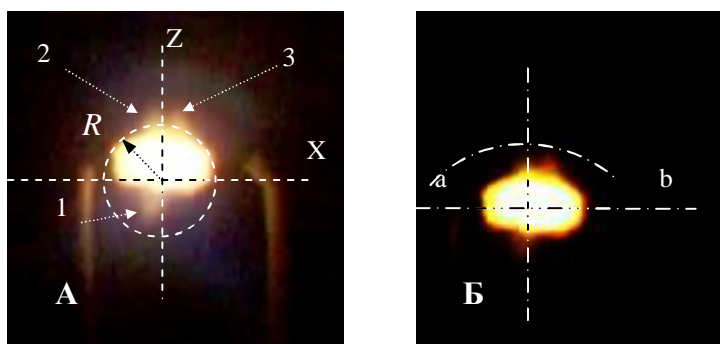


Рис. 3.11. Электрический разряд с *верхней* огибающей выпуклой кривой (*горизонтальное* расположение видеокамеры).

На рисунке 3.11 представлены фотографии электрического разряда между двумя электродами *при горизонтальном* положении видеокамеры. На фотографии «А» (рис. 3.11) показана область разряда, описанная условной окружностью радиусом  $R$ . Как можно видеть, область разряда заполняет *не всю площадь* круга, а только некоторую ее часть. Причем, если верхняя огибающая представляется *выпуклой кривой выгнутой по оси Z вверх*, то нижняя часть обрезана по оси X. На фотографии «Б» (рис. 3.11) показано более четкое изображение области разряда благодаря тому, что яркость зоны разряда уменьшена, а контрастность снимка наоборот увеличена. Линия «а – б» находится на горизонтальной линии расположения электродов.

На рисунке 3.12 показаны фотографии электрического разряда, когда огибающая линия образующегося пятна разряда представляет собой тоже *выпуклую кривую*.

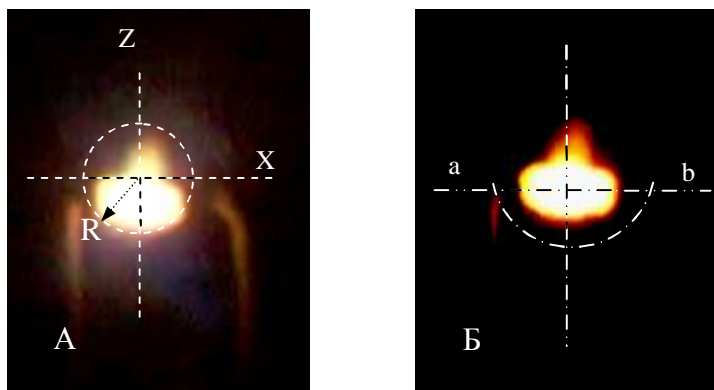


Рис. 3.12. Электрический разряд с *нижней* огибающей выпуклой кривой (*горизонтальное* расположение видеокамеры).

Отличие состоит в знаке кривой, т. е. в данном случае по оси  $Z$  *кривая выгнута вниз*. Также как и на фотографии «А» (рис. 3.11), область разряда на фотографии (рис. 3.12, А) описывается окружностью с радиусом  $R$ . Как видно из

фотографии и в этом случае площадь круга в зоне разряда аналогично *не полностью заполнена* заряженными частицами и обрезана по оси X. На фотографии «Б» (рис. 3.12) изображение выглядит более четким за счет уменьшения яркости и увеличения контрастности изображения. Линия «а – б» (фото «Б» рис. 3.12) также соответствует горизонтальной линии расположения электродов.

Рассмотрим еще несколько фрагментов, полученные в ходе видеосъемки, на которых представлены зоны, образующиеся при электрическом разряде в воздухе (рис. 3.13).

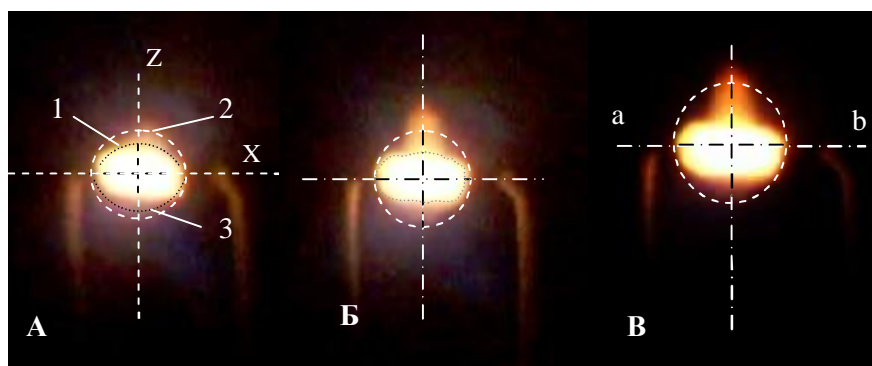


Рис. 3.13. Электрический разряд с разными формами огибающей кривой

Так, на фотографии «А» показана форма, которая имеет две выпуклые кривые линии по оси Z, напоминающая лимонное зерно. Так, на фото «А» (рис. 3.13) показаны огибающие кривые 1 и 3, которые образуют выпуклые поверхности с разными радиусами. Кривая 3 менее выпукла, чем кривая 1. Обе кривые линии вписаны в окружность 2. На снимках «Б» и «В» показана еще одна форма огибающей зоны разряда. Как видно из фотографии «Б», вершины в верхней и нижней зоне срезаны и напоминают сжатый по оси Z шар. Фотография «В» представляет собой несколько увеличенное изображение фотографии «Б», но у которой снижена яркость и увеличена

контрастность отображения с целью получения более четкой картины зоны разряда.

Практически на всех фотографиях (рис. 3.11-3.13) в центральной зоне по оси Z можно наблюдать участок, где происходит частичный выброс ионизированных зарядов из зоны разряда вертикально вверх по оси Z. Это явление можно объяснить магнитным взаимодействиемдвигающихся зарядов навстречу друг другу, механизм которого мы подробно рассмотрели выше и который поясняет рис. 3.1.

Если поменять знак полярности электродов, т. е. направление движения зарядов по линии «а - б» (рис. 3.11-3.13), то выброс частиц будет происходить в противоположную сторону (вертикально вниз по оси Z).

Итак, рассмотренные примеры форм движения заряженных частиц позволяет сделать предварительный вывод о том, что в вертикальной плоскости (при горизонтальном расположении видеокамеры) заряды двигаются *не по прямой линии*, а по *криволинейной траектории*.

Рассмотрим теперь, какой вид имеет траектория движения зарядов при перемещении *в горизонтальной плоскости*, если видеокамера расположена *вертикально*. Для этого вновь обратимся к фотографиям, полученным из видеозаписи процесса электрического разряда в воздухе.

На рисунках 3.14-3.16 представлены фотографии зоны электрического разряда в воздухе между двумя электродами при электрическом разряде в воздухе. Расстояние между электродами изменялось в диапазоне 5 - 12мм. Напряжение высоковольтного источника варьировалось в пределах от 15 до 25кВ. Конструкция электродов показана на рисунке 3.2.

На фотографии «А» (рис. 3.14) можно наблюдать *криволинейную* траекторию движения зарядов, форма которой изменяется по оси Y и *направлена своей выпуклой частью вверх*. Для более четкого просмотра траектории движения зарядов на фотографии «Б» яркость изображения фотографии «А» уменьшена, а контрастность наоборот увеличена. С этой же целью на фотографии «В» в системе передачи цвета красная

составляющая практически снижена до нуля. Оба приема позволяют более детально рассмотреть конфигурацию зоны электрического разряда.

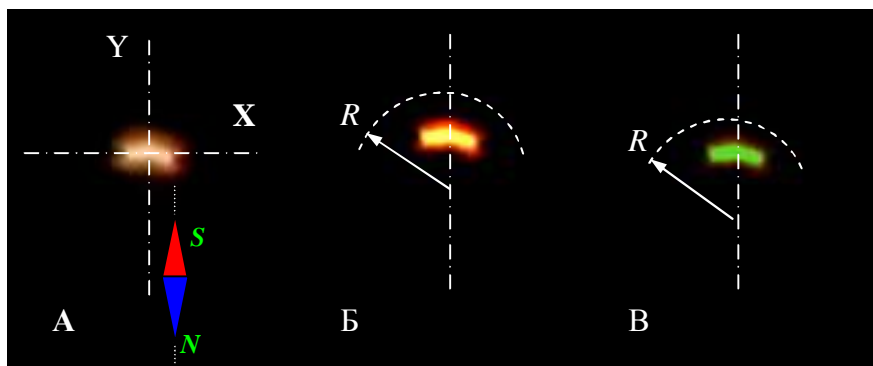


Рис. 3.14. Зона электрического разряда с *выпуклой* кривой линией (*вертикальное* расположение видеокамеры).

Как видно из рисунка 3.14 форма огибающей зоны разряда подобна форме огибающей, показанной на рисунке 3.11 и представляет собой кривую линию с вершиной, ориентированной вдоль оси  $Y$  в положительном направлении (если принять верхнюю часть рисунка за положительное направление). На фотографии «А» (рис. 3.14) показано направление силовых магнитных линий Земли с помощью магнитной стрелки. Учитывая тот факт, что ось  $Y$  направлена в сторону северного магнитного полюса Земли (магнитная стрелка показывает на Юг), положительное направление оси  $Y$  совпадает с направлением магнитных силовых линий ориентированных на северный магнитный полюс или на южный географический полюс. Во всех представленных снимках зон электрического разряда направление оси  $Y$  и оси  $X$  не изменялось.

На фотографии «А» (рис. 3.15) также можно наблюдать *криволинейную* траекторию движения зарядов, но когда форма, изменяясь по оси  $Y$ , направлена своей *выпуклой частью вниз*

рисунка или в сторону южного магнитного поля Земли. Для более четкого просмотра траектории движения зарядов использован уже знакомый нам по предыдущим фотографиям искусственный прием, для этого на фотографии «Б» яркость изображения фотографии «А» уменьшена, а контрастность наоборот увеличена (рис. 3.15).

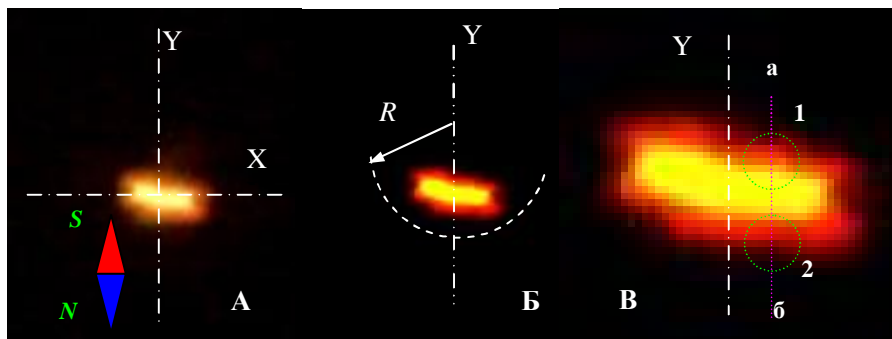


Рис. 3.15. Зона электрического разряда с *вогнутой* кривой линией (вертикальное расположение видеокамеры).

Как видно на рисунке 3.15 форма огибающей зоны разряда подобна форме огибающей, показанной на рисунке 3.14 и представляет собой *вогнутую* кривую линию с вершиной, ориентированной вдоль оси  $Y$  в отрицательном направлении (если принять верхнюю часть рисунка за положительное направление). На фотографии «А» (рис. 3.15) также показана магнитная стрелка, указывающая направление силовых магнитных линий Земли. Учитывая тот факт, что ось  $Y$  направлена в сторону северного магнитного полюса Земли (магнитная стрелка указывает на Юг), отрицательное направление оси  $Y$  совпадает с направлением магнитных силовых линий ориентированных на южный магнитный полюс или на северный географический полюс.

На рисунке 3.15 показана область разряда, которая увеличена в несколько раз (фотография «В»). Как можно видеть в зоне разряда имеются отдельные участки, где заряженные

частицы распределяются таким образом, что в одних местах образуются пики или скопления частиц (область 1), а в других проемы или недостаток частиц (область 2). Если внимательно рассматривать фотографию «В», то можно заметить, что таких участков несколько.

Чтобы убедиться в том, что это так, вновь обратимся к фотоснимкам зоны разряда. На фотографии «А» (рис. 3.16) показан еще один фрагмент видеосъемки в момент электрического разряда в воздухе между двумя электродами.

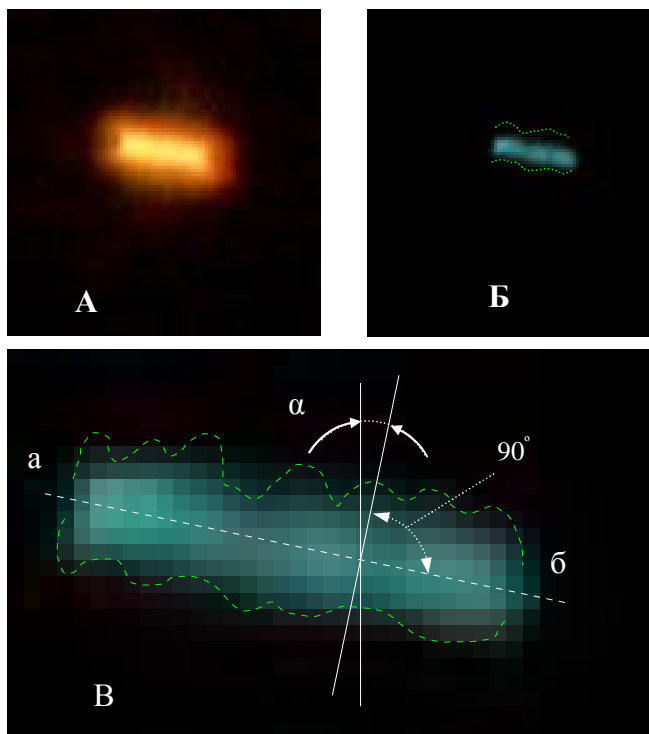


Рис. 3.16. Зона электрического разряда (видеокамера расположена *вертикально*).

С целью более явственного просмотра траектории движения зарядов на фотографии «Б» яркость изображения

фотографии «А» уменьшена, в системе передачи цвета RGB красная и зеленая составляющие снижены, а голубая составляющая наоборот увеличена. Эти приемы позволяют более детально анализировать конфигурацию зоны электрического разряда.

На фотографии «Б» (рис. 3.16) видно, что канал разряда, представляет собой область, которая имеет характерные вершины и впадины, и напоминает по форме траектории движения частиц, которые были показаны на рисунках 3.7-3.10, т. е. *спиралеобразные* линии. Чтобы было легче ориентироваться в конфигурации канала разряда на фотографии «Б» нанесены пунктирные линии зеленого цвета.

На фотографии «В» (рис. 3.16), показано увеличенное изображение фотографии «Б». Как видно на этой фотографии вдоль всего канала разряда (осевой линии «а - б»), можно заметить чередование *темных и светлых полос* различной толщины с характерными вершинами и впадинами. Эти полосы находятся под некоторым углом  $\alpha$  к перпендикуляру, проведенному к осевой линии «а - б» и по виду напоминают *резьбовую* линию.

Увеличим изображение фотографии «А» (рис. 3.16) в 1000 раз (рис. 3.17). Внимательно рассматривая фотографии зоны электрического разряда (рис. 3.16 «А») и той же зоны при большом увеличении (рис. 3.17), можно заметить ряд участков, которые также имеют характерные *вершины и впадины*, вдоль канала разряда.

*Вершины* таких участков обозначены на рисунке 3.17 соответственно цифрами: 1, 2, 3, 4 и 5. *Впадины* участков обозначены соответственно цифрами:  $1^1$ ,  $2^1$ ,  $3^1$ ,  $4^1$  и  $5^1$ . На этом снимке можно выявить еще целый ряд подобных участков. Чтобы легче ориентироваться в местах расположения вершин и впадин, на фотографии «В» нанесены линии с точками и введены пунктирные трассировочные линии зеленого цвета для обозначения огибающей зоны разряда. Нельзя не заметить, что вершины и впадины геометрически располагаются *на одной линии* по отношению к верхнему и нижнему краю рисунка 3.17.



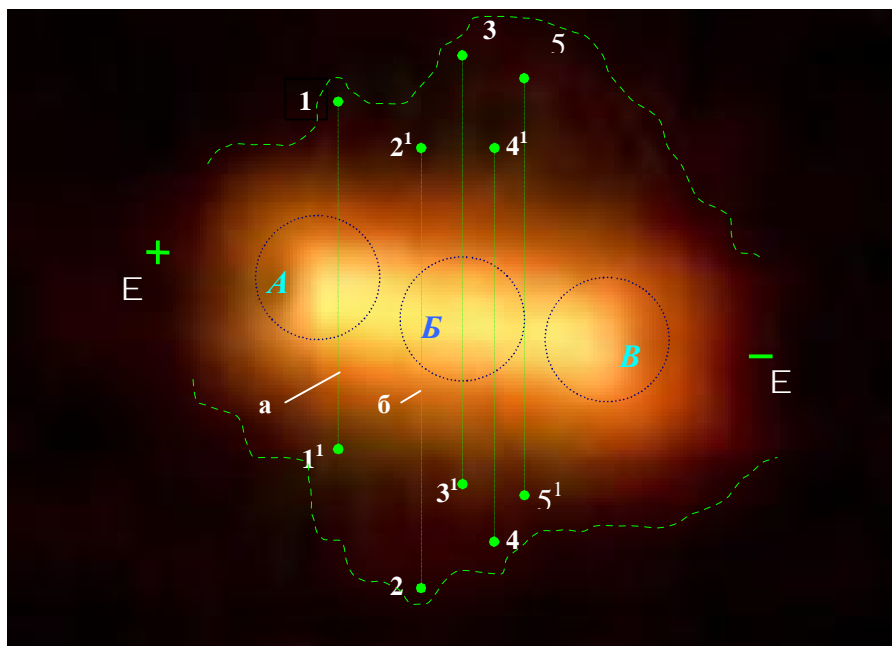


Рис. 3.17. Увеличенное изображение области электрического разряда («А» рис. 35, видеокамера расположена вертикально).

Например, вершина 1 и впадина 1<sup>1</sup> находятся на одной линии («а», участок «А»), вершина 2 и впадина 2<sup>1</sup> («б» участок «Б»). Следует предположить, что *вершины* сформированы потоками заряженных частиц, которые вырываются из основного канала зоны разряда, а *впадины*, наоборот, образованы потоками частиц, которые втягиваются в канал разряда. Такое чередование вершин и впадин относительно оси разряда можно ассоциировать с *резьбой*, или *пружиной*, или, в конечном итоге, *со спиралью*.

Траектории движения заряженных частиц, представленных на снимках (рис. 3.15, и 3.16) весьма схожи с траекториями движения частиц, показанных на рисунке 3.10. Например, траектории 1 - 4 (рис. 3.10) имеют точно такие же

вершины и впадины, т. е. также обладают *спиралеобразной формой перемещения* зарядов, как отмечалось ранее.

Отличие состоит лишь в том, что ионизированные частицы на рисунке 3.10 перемещаются в свободном пространстве, а заряды на рис. 3.15-3.16, двигаются при наличии высокой напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве. Подобное *чередование вершин и впадин* можно наблюдать и на фотографии «А» (рис. 3.11, вершины 1-3), при *горизонтальном* расположении видеокамеры. Покажем еще ряд снимков, указывающие на *криволинейный* характер движения зарядов между двумя электродами при электрическом разряде в воздухе.

Фотографии выполнены на основе видеозаписи при горизонтальном «А» и вертикальном «Б, В, Г» положении видеокамеры (рис. 3.18).

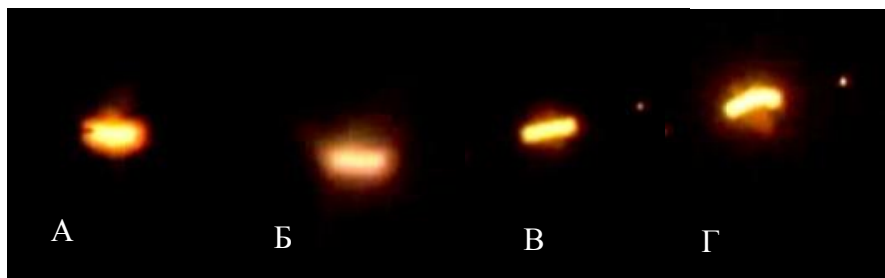


Рис. 3.18. Многообразие форм траекторий при электрическом разряде в воздухе.

На фотоснимках (рис. 3.18) показаны каналы разряда, формы огибающих которых, тоже представляют собой кривые линии. Подобно фотографиям, рассмотренным ранее, на этих кадрах можно также обнаружить вершины и впадины в зоне разряда (например, «Г»).

Для того чтобы убедиться, что наши выводы относительно *винтового, спиралеобразного* характера траектории движения зарядов верны, представляется необходимым привести фотографии сделанные вдоль оси

самого канала разряда. Если при электрическом разряде в поперечном сечении канала разряда будет образовываться окружность или эллипс, то это окончательно может убедить что канал разряда представляет собой винтовую, *спиралеобразную* линию. Как известно, спираль в сечении образует *круг*. Форму *эллипса* сечение канала разряда может приобретать *при изгибе траектории движения* зарядов в какой-то одной из плоскостей системы координат.

Обратимся к рисунку 3.19. На этом рисунке представлены позиции, с которой производилась видеосъемка.

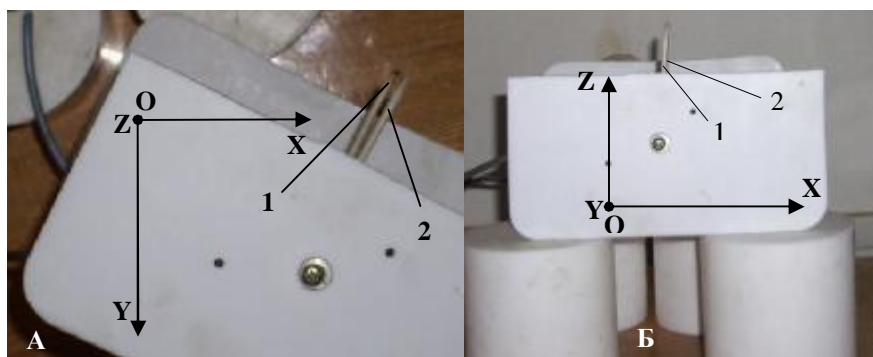


Рис. 3.19. Ориентация видеосъемки, «А» - *вертикальное* (вдоль оси Z), «Б» - *горизонтальное* (вдоль оси Y).

Видеокамера располагалась вдоль осей Z («А») и Y («Б»). Электроды 1 и 2 на рисунке 3.19 (А) расположены *вертикально*, а на рисунке 3.19 (Б) *горизонтально*.

Параметры энергетической установки и зазоры между электродами точно такие же, как были указаны ранее, аналогично и конструкция (рис. 3.2, 3.4, 3.6).

На рисунке 3.20 размещаются фотографии зоны вдоль оси канала электрического разряда Z, снятые при *вертикальном расположении* видеокамеры.

На фотографиях можно видеть, что зона разряда представляет в поперечном сечении *почти правильную*

*окружность* (светлое яркое пятно) или эллипс 3.20, 3. На некоторых из них, особенно заметны участки выброса заряженных частиц из канала разряда (2, 4).



1)



2)



3)



4)

Рис. 3.20. Зоны электрического разряда при *вертикальном* расположении видеокамеры вдоль оси Z.

На рисунке 3.21 представлены фотографии зоны канала, но уже снятые при *горизонтальном* расположении видеокамеры, т. е. вдоль оси Y. Как можно видеть на фотографиях, в поперечном сечении канал разряда также представляет почти правильную *окружность* («А», «Б»).

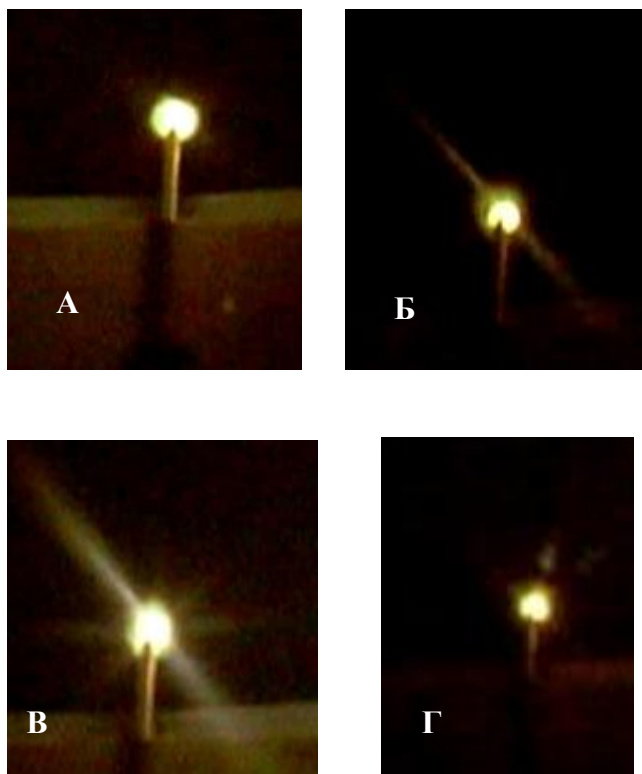


Рис. 3.21. Зоны электрического разряда при горизонтальном расположении видеокамеры вдоль оси  $Y$ .

На рисунке 3.21 «B», форма канала несколько отличается от формы, показанной на photographиях «A», и «Б», она выглядит более растянутой. Это можно объяснить тем обстоятельством, что канал при электрическом разряде, испытывает подъем вершины огибающей, как это было показано ранее (рис. 3.11). Кроме того, хорошо видны зоны выброса частиц из канала при их взаимодействии. С этой точки зрения, на фотографии «B» хорошо видны лучи, которые представляют собой выбросы частиц из канала при движении вдоль канала разряда (сравните с рис. 3.17).

Итак, рассмотренные фотоматериалы позволяют сделать следующие *важные* выводы.

*Во-первых, траектория движения* заряженных частиц при видеосъемке в двух плоскостях горизонтальной плоскости XOZ (рис. 3.11, 3.12) и вертикальной XOY (рис. 3.14, 3.15) представляет собой **кривую линию**, которая расположена в пространстве, а не в плоскости. Действительно, невозможно представить себе кривую, которая меняет свое направление сразу в двух плоскостях: и в горизонтальной и вертикальной плоскостях, лежащей только в одной плоскости. Отсюда следует, что канал разряда, представляет собой кривую линию, расположенную в пространстве. Как известно, спиралеобразная линия представляет собой пространственную кривую и способна изменять свое направление, как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости. Проекции этой кривой на плоскости XOZ и XOY представляют собой плоские гармонические кривые, изменяющиеся по синусоидальной или косинусоидальной функции. Подобные формы огибающих кривых зоны разряда в горизонтальной и вертикальной плоскости мы можем наблюдать на представленных фотографиях (рис. 3.11-3.18).

*Во-вторых, независимо от расположения* видеокамеры (горизонтальное или вертикальное) можно констатировать, что форма движения заряженных частиц в самом канале разряда, т. е. вдоль траектории перемещения зарядов также представляет собой спиралеобразную линию. Это подтверждается тем, что в канале разряда имеются участки, содержащие *чередующиеся вершины и впадины, лежащие на одной прямой*. Причем их расположение таково, что в том месте зоны разряда, где с одной стороны находится вершина, с другой стороны расположена впадина (рис. 3.11 «А», 3.16 «В», 3.17, 3.18). Как известно, такое чередование вершин и впадин характерно для *винтовой линии, пружины*, или, в конечном итоге, *спирали*.

Тогда можно предположить, что заряженные частицы испытывают спиралеобразное вращение и внутри самого канала разряда и по мере перемещения вдоль оси канала (от

отрицательного электрода к положительному электроду). Кроме этого в канале разряда имеются зоны, где некоторая часть элементов, присутствующая в канале разряда выбрасывается из него во внешнее пространство (рис. 3.17, 3.18, 3.20, 3.21).

*В-третьих*, при видеосъемке канала разряда *вдоль его оси* можно видеть, что поперечное сечение канала представляет собой почти правильную окружность или эллипс, независимо от направления съемки: *горизонтальное* по оси Y (см. рис. 3.20) или *вертикальное* по оси Z (рис.3.21).

Сочетание *первого* и *третьего* вывода однозначно говорит о том, что траектория движения электрических зарядов между двумя электродами при электрическом разряде в воздухе представляет собой *винтовую* или *спиралеобразную* кривую. *Второй вывод* показывает, что *форма движения* электрических зарядов *вдоль траектории*, также представляет собой *спиралеобразное* движение частиц вокруг самого канала разряда.

### **3.3. Моделирование траекторий движения электрических зарядов**

Попробуем составить математические модели движения заряженных частиц при электрическом разряде, которые бы описывали, хотя бы приближенно, формы траекторий движения, которые были получены при натуральной видеосъемке. С помощью компьютерного моделирования можно создавать различные модели движения, в том числе и в объемном изображении. Компьютерные модели способны показывать распределение заряженных частиц при различных углах наклона канала разряда относительно осей ординат. Причем, изображение зоны разряда можно произвольно перемещать в пространстве, и тем самым, имитируя поворот видеокамеры, получать моментальные снимки зоны разряда с совершенно необычных ракурсов. Представленные ниже компьютерные модели области разряда выполнены с помощью математических компьютерных программ компании «Math soft.com» версий программ MathCAD 12-14 [8]-[10].

Чтобы не загромождать изложение материала сложными математическими вычислениями, в дальнейшем будут показаны лишь некоторые итоговые математические функции, на основе которых были построены различные объемные компьютерные модели зоны разряда. Итак, посмотрим *некоторые результаты моделирования зоны разряда*.

На рисунке 3.22 представлены компьютерные модели канала разряда, имитирующие форму траекторий движущихся вдоль канала заряженных частиц.

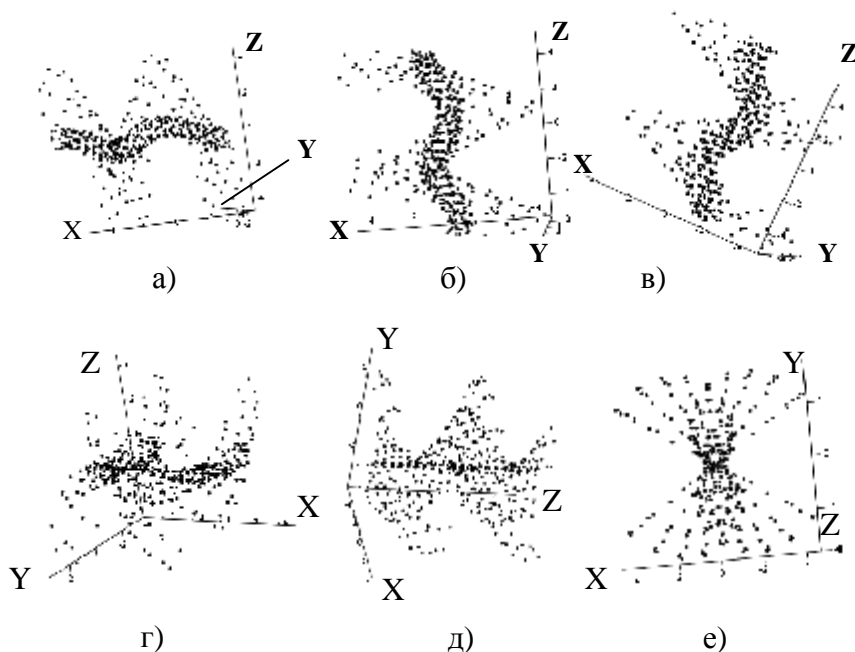


Рис. 3.22 Компьютерные модели канала разряда при разных положениях относительно оси координат.

На этом рисунке показаны модели, выполненные для различных ракурсов относительно осей ординат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Основной математической функцией моделей показанных на рис. 3.22 является параметрическая функция  $F(t, i)$ . В зависимости от



количества итераций можно получать спиралеобразные траектории, сплошь заполненные заряженными частицами. Например, при шаге  $a = 1000$  (коэффициенте при  $i$ ) картина канала разряда получается абсолютно заполненная черными точками, образуя сплошной канал разряда черного цвета. В параметрической функции  $F(t, i)$ ,  $t$  это время прохождения зарядами разрядного промежутка (время разряда). По осям ординат отмечены расстояния в сантиметрах, которые практически соответствуют параметрам реальной высоковольтной установки (рис. 3.2, 3.4).

В окончательном варианте функцию  $F(t, i)$ , на основе которой построены модели движения частиц, представленные на рисунке 3.22 и которая была решена с помощью математической программы MathCAD 13 [9], можно записать в виде вектора:

$$F(t, i) = \begin{bmatrix} \cos(t + i) \cdot i \\ 100 \cdot i \\ t \end{bmatrix}, \quad (3.9)$$

Если сравнивать фотографии, полученные из реальной видеозаписи канала электрического разряда с моделями, изображенными на рис. 3.22, то можно заметить близкое сходство форм траекторий движения частиц, подробно описанных ранее. Например, и на фотографиях реальных разрядов и на компьютерных моделях, траектория движения частиц криволинейна и близка к спиралеобразной траектории (сравните рисунки 3.3, 3.7, 3.10-3.14 с рис. 3.22 а - е). Огибающие канала разряда имеют выпуклые и вогнутые участки. В реальных условиях, канал разряда составлял от 5 до 12мм.

В моделях длина канала разряда принималась в 40мм. На реальных фотографиях мы можем видеть только часть выпуклой (или вогнутой) огибающей (например, на рис. 3.11-3.15). График компьютерной модели (рис. 3.22 е), подобен реальным

фотографиям, снятым вдоль оси Z, например, сравните с рисунками 3.20 или 3.21, где в центре образуется почти правильная окружность, если рассматривать сечение спирали.

Чтобы полнее показать сходство реальных и компьютерных моделей приведем еще несколько компьютерных моделей, изображающих *только огибающие* траекторий движения электрических зарядов. Для этого воспользуемся более простыми математическими функциями, используя компьютерную программу MathCAD 12 [8]. В качестве такой функции, использован вектор функции  $G(t)$  в виде:

$$G(t) = \begin{bmatrix} \sin(t) \\ \cos(t) \\ 2t \end{bmatrix}, \quad (3.10)$$

Данная функция  $G(t)$  реализует простую спиралеобразную линию в пространстве, имитируя движение отдельных точек (зарядов) с внешней стороны электрического канала разряда (*по внешней образующей*). Компьютерные модели позволяют рассмотреть формы огибающей при различном положении канала разряда относительно осей координат X, Y, Z. На рисунке 3.23 представлены компьютерные модели, реализующие функцию  $G(t)$  с разных точек положения виртуального объектива.

Как можно видеть на рисунке 3.23, почти все модели соответствуют реальным снимкам электрического разряда. Например, форма огибающей линии, показанная на рис. 3.23е соответствует форме огибающих линий (круг), изображенных на фотографиях, показанных на рис. 3.20-3.21. Модели, изображенные на рисунках 3.23г и 3.23д, соответствуют фотографиям по рис. 3.11, 3.12.

Для большей наглядности, на компьютерных моделях, представленных на рисунках 3.23г, 3.23д, показаны огибающие линии отдельной кривой (выпуклость и вогнутость) (аналогично

рис. 3.11, 3.12). На моделях (рис. 3.23а, б) отмечены прямые линии, которые показывают, как меняются выпуклые и вогнутые участки огибающей линии в противоположенных направлениях этой линии. Точно такие же линии можно наблюдать и на реальных фотографиях зоны разряда (рис. 3.17), на что было особенно обращено внимание при первоначальном анализе этой фотографии.

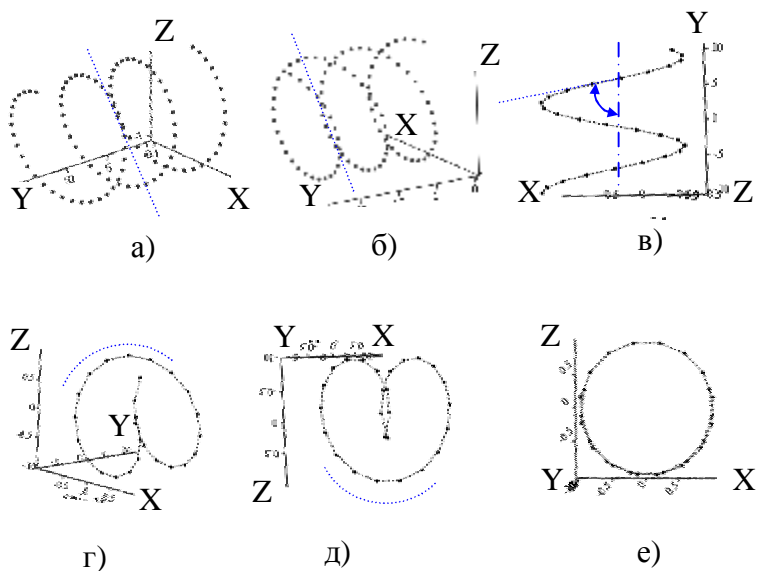


Рис. 3.23. Компьютерные модели огибающих траектории движения зарядов.

Модель, показанная на рисунке 3.23в, показывает угол наклона огибающей спирали, точно также как это было отмечено при анализе зоны разряда по рисунку 3.16. Такой же угол наклона можно заметить и на рис. 3.23а, б (на рисунке не показан).

До сих пор мы рассматривали модели внешней огибающей канала разряда, не вдаваясь в подробности о том, что происходит внутри канала разряда на его оси. Известно, что при электрических разрядах образуются так называемые

«шнуры» разряда. Шнуры разряда представляют собой уплотненный плазменный канал, в котором заряды испытывают сильное *уплотнение*. В дальнейшем изложении будет описан механизм этого явления. А пока, вновь обратимся к фотографиям канала разряда. Почти на всех фотографиях можно наблюдать, что наибольшая яркость канала разряда, оказывается, вдоль его оси (например, рис. 3.14-3.18). Если посмотреть на компьютерные модели, то аналогично нельзя не заметить уплотнение частиц в центральной части оси канала разряда (например, рис. 3.22 а, г, д, в). Особенно хорошо заметно такое уплотнение частиц на рисунках 3.22 в, д. Для того чтобы подробнее рассмотреть конфигурацию оси канала разряда, была построена еще одна компьютерная модель движения заряженных частиц при электрическом разряде между двумя электродами в воздухе. Моделирование проводилось с помощью математической программы MathCAD [10]. На рисунке 3.24 изображено объемное распределение зарядов вдоль оси канала разряда, которое моделирует параметрическая функция  $G(u, v)$ . Вид функции представлен в виде матрицы:

$$G(u, v) = \begin{bmatrix} 20 \cdot \left(1 - \frac{v}{2p}\right) \cdot \cos(n \cdot v) \cdot (1 + \cos(u)) + c \cdot \cos(n \cdot v) \\ 20 \cdot \left(1 - \frac{v}{2p}\right) \cdot \sin(n \cdot v) \cdot (1 + \cos(u)) + \sin(n \cdot v) \\ b \cdot \left[\frac{v}{2p} + 20 \cdot \left(3 - \frac{v}{2p}\right) \cdot \sin(u)\right] \end{bmatrix}, \quad (3.11)$$

Вдоль оси воронки образуется плотный проводящий канал, в котором можно видеть несколько участков уплотнений. Причем более темным серым цветом, условно обозначена область распределения зарядов (воронки) первого электрода, а светло серым цветом область распределения зарядов (воронки) второго электрода. Как видно на рисунке 3.24, по краям воронки распределение заряженных частиц *разрежено*, а вдоль оси

канала разряда наблюдается их *уплотнение*. Программа MathCAD позволяет рассматривать канал разряда при различных положениях от осей ординат.

Например, объемный график, показанный на рисунке 3.24д, моделирующий осевое направление движения весьма схож с моделями по рисункам 3.22е и 3.23е и реальными фотографиями (рис. 3.20, 1), 3.21в).

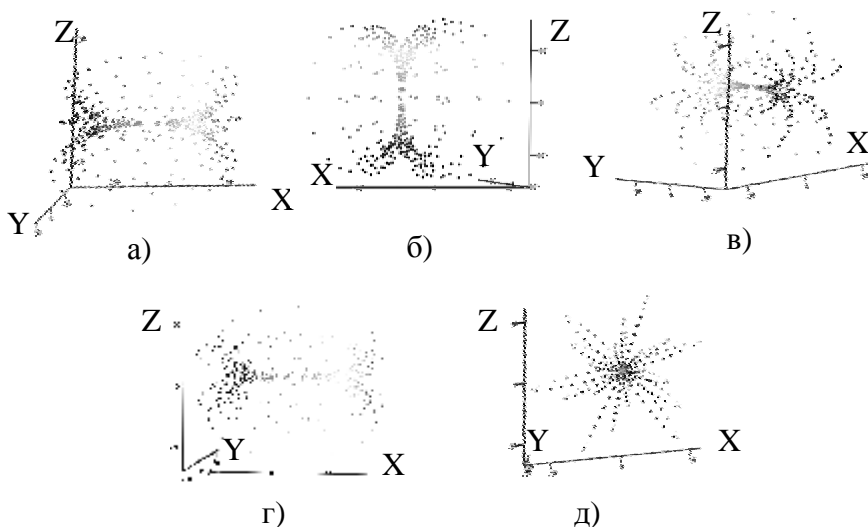


Рис. 3.24. Компьютерные модели распределения заряженных частиц на оси канала разряда

Как известно, вокруг и вблизи электродов расположена зона, в которой образуется облако заряженных ионизированных частиц воздуха и электронов эмиссии электродов. При увеличении напряженности электрического поля заряды начинают испытывать электрические силы притяжения к электроду противоположного знака.

Такую картину можно схематично описать следующим образом [11]. На рис. 3.25 схематично представлены молекулы ионов воздуха в виде диполей в отсутствие электрического поля, а на рис. 3.26 те же диполи, но когда присутствует

электрическое поле. Электроды 3.1 и 3.2 выполнены в виде острие-острие. В отсутствие электрического поля молекулы воздуха нейтральны, и под действием теплового движения хаотично распределены в некотором объеме 4 (рис. 3.25).

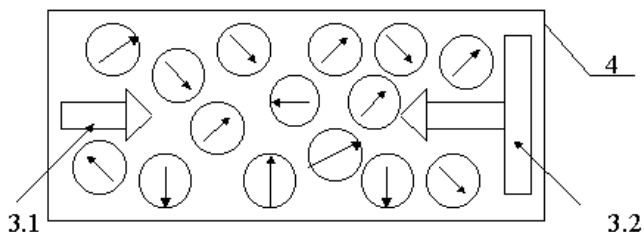


Рис. 3.25. Молекулы воздуха в отсутствие электрического поля (схема)

В целом воздух не имеет заряда и нейтрален. По мере возрастания электрической напряженности, картина меняется. На рисунке 3.26 пунктиром показаны линии напряженности электрического поля (причем, максимальная напряженность находится на оси между электродами) и *три вида* молекул [11].

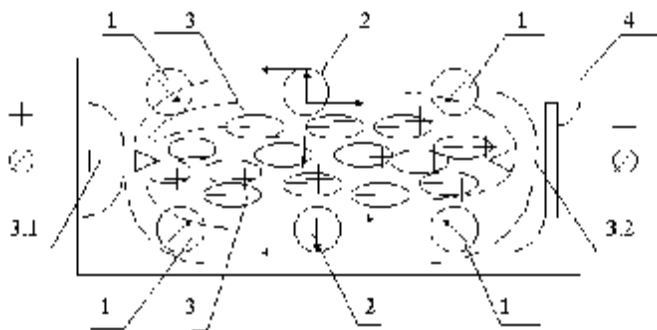


Рис. 3.26. Молекулы воздуха при наличии электрического поля (схема)

Молекулы *первого типа* (1) начинают втягиваться в область повышенной напряженности электрического заряда, т.

е., к линии наименьшего расстояния между электродами (оси канала разряда). Молекулы *второго типа* (2) поворачиваются, стремясь занять такое положение, когда их векторы электрического момента  $\bar{p}$  и напряженности  $\bar{E}$  были параллельны. Молекулы *третьего типа* (3) испытывают деформацию и вытягиваются вдоль линии напряженности.

С увеличением потенциала между электродами 3.1 и 3.2 возрастает и концентрация молекул, которые скапливаются в микрообъемы зарядов 1, рис. 3.27.

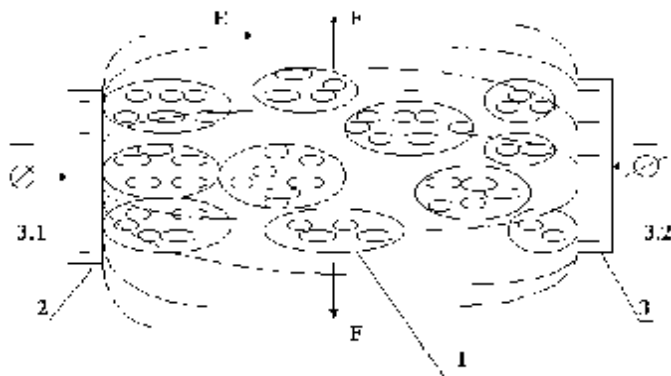


Рис. 3.27. Микрообласти скопления зарядов

Вблизи электродов воздух поляризуется (рис. 3.27) и у электродов 3.1. и 3.2 образуются области положительных и отрицательных зарядов 2, 3. Эти области с ростом напряженности электрического поля, т.е. увеличения разности потенциалов ( $j_{31} - j_{32}$ ), увеличиваются, вызывая тем самым и увеличение потенциальной энергии межэлектродного пространства. Численно полную энергию  $W$  можно выразить как [11]

$$W = W_{em} + W_M + W_{nm} + W_n, \quad (3.12)$$

где  $W_{em}$  - энергия втягивания молекул в область с повышенной напряженностью;  $W_M$  - энергия поворота молекул

воздуха вдоль линии напряженности;  $W_{пл}$  - энергия деформации молекул объема воздуха;  $W_n$  - энергия поляризации микрообъема зарядов

Практический расчет может быть осуществлен, только исходя из конкретных условий: размеров электродов, объемов межэлектродного пространства и т.д., и представляется очень сложным, что не раз отмечалось. Однако, выражение (3.12) можно использовать для пояснения некоторых явлений при электрическом разряде в воздухе, зафиксированных видеокамерой и разъяснения компьютерной модели (рис. 3.24). Фактически напрашивается полная механическая аналогия: молекулы воздуха под воздействием электрического поля совершают некоторую механическую работу, а именно: *перемещаются* (типа 1), *поворачиваются* (типа 2) и *вытягиваются* (типа 3), (см. рис. 3.26). Естественно, для восстановления исходного состояния, необходимо снять механическое напряжение молекул, т. е. осуществить электрический разряд.

Молекулы воздуха ионизированы, т.е. поляризованы, деформированы, концентрация диполей молекул в объеме между электродами очень высока, механическое напряжение молекул достигло максимума. Практически все подготовлено к электрическому разряду, т.е. снятию механической напряженности межэлектродного пространства. При определенных условиях произойдет самопроизвольный пробой воздушного промежутка, и будет наблюдаться электрический разряд в воздухе. Во время разряда можно видеть и частичный выброс заряженных частиц перпендикулярно линии напряженности электрического поля, т. е., оси канала разряда (рис. 3.11-3.13).

*Изменяя величину разрядного промежутка, также можно осуществлять управление разрядом и выбросом заряженных частиц.*

Кроме этого, вокруг металлических электродов образуется электронный газ, подчиняющийся распределению



Больцмана [4], а работа выхода электронов из металла зависит от энергетического уровня Ферми [4]. Таким образом, в разрядниках 3.1 и 3.2 всегда найдется некоторое количество электронов, которые способны выйти за пределы проводника и вызвать спонтанный пробой ионизированного воздуха, который находится в состоянии критической поляризации, когда напряженность электрического поля близка к насыщению.

Процесс происходит лавинообразно. Благодаря ударной ионизации молекул воздуха электронами образуются проводящие мостики внутри канала разряда, по которому и устремляются мощные потоки электронов, которые усиливаются процессом *фотоионизации* в самом канале разряда, еще больше ускоряя процесс разряда. Появляются кластеры ионизированных частиц, вызывающие – стримеры, которые образуют отдельные лавины, которые нагоняют друг друга, сливаются вместе, формируя тонкий проводящий канал (рис. 3.28) и рис. 3.24 [11].

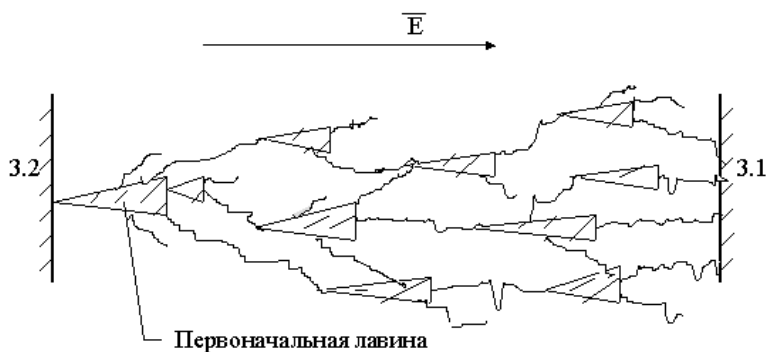


Рис. 3.28. Развитие стримера

Навстречу отрицательным лавинам движутся положительные лавины. Таким образом, потенциальная энергия, накопленная поляризованными молекулами, преобразуется в кинетическую энергию возвращения молекул в нейтральное первоначальное состояние. *Сжатые, растянутые и*

*закрученные молекулы, разжимаясь, сжимаясь и раскручиваясь, воздействуют на соседние молекулы, образуя давление и механическое воздействие на более удаленные области, т.е., вызывают частичный выброс заряженных частиц в местах особой концентрации (приблизительно в середине межэлектродного расстояния рис. 3.11-3.13).*

Естественно, навстречу потокам электронов движутся и положительные потоки ионов. Благодаря встречным потокам отрицательных и положительных частиц (ионов, электронов) и фотоионизации, образуется светящийся канал излучения, что и наблюдается в опытах. Отметим, что *с увеличением фотоионизации самопроизвольно увеличивается и количество ионизированных частиц, участвующих в электрическом разряде а, следовательно, и увеличивается мощность разряда.*

#### **3.4. Уравнения движения электромагнитной волны. Образование магнитных полюсов в зоне электрического разряда.**

В параграфе 3.3 показаны траектории и формы движения электрических зарядов, **однако** ответ на справедливый вопрос, *за счет каких сил формируются указанные траектории и формы движения зарядов вдоль траектории следования при электрическом разряде в воздушном пространстве между металлическими электродами, которые мы так подробно рассмотрели, все-таки пока не получен.*

Первое, самое легкое, на что следует обратить внимание, это то, что, такие явления можно объяснить *действием сил Лоренца*. Но для сил Лоренца необходимо присутствие магнитного поля, в котором бы закручивались заряды. Если иметь в виду, что всегда существует и присутствует магнитное поле Земли, то такое объяснение небезосновательно.

Однако, поскольку величина индукции магнитного поля Земли настолько мала, что принимать ее как основной фактор формирования *спирального движения* зарядов и их *закручивание* внутри канала разряда представляется весьма сомнительным.

Кроме этого, надо отметить, что токи в канале разряда в описанных экспериментах невелики, и составляют всего около 1мА.

По всей видимости, должен существовать *другой механизм возникновения дополнительного магнитного поля или в самом канале разряда или вблизи зоны электрического разряда или вблизи зоны самих электродов.*

Обратимся к первоисточнику, а именно, к уравнениям электродинамики, впервые предложенные Д. Максвеллом. Уравнения электромагнитного поля были установлены Максвеллом путем обобщения соотношений для постоянных электрических и магнитных полей. *Обобщения для переменных полей в любых средах были не выведены, а постулированы* [12]. Полученные таким образом уравнения автоматически обращаются в уравнения для постоянных полей, если встречающиеся в этих уравнениях производные по времени величин, характеризующих поле, приравнять к нулю.

Действительно, в системе неподвижных координат  $x, y, z$  любая из величин является функцией этих координат и времени  $t$ . Например, для магнитной индукции  $B$  в общем случае справедливо выражение [12]

$$\frac{d\dot{B}(x, y, z, t)}{dt} = \frac{\partial \dot{B}}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \dot{B}}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \dot{B}}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{\partial \dot{B}}{\partial t},$$

где  $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}$  - составляющие по осям скорости движения среды.

Для неподвижных сред эти составляющие обращаются в нуль и  $\frac{d\dot{B}}{dt} = \frac{\partial \dot{B}}{\partial t}$ .

Первое уравнение Максвелла является обобщением закона полного тока  $rot\dot{H} = \dot{d}$ . Обобщение заключается в том,

что под плотностью тока следует понимать сумму плотностей всех *трех видов тока* (*проводимости, переноса и смещения*), называемую плотностью *полного* тока. *Ток смещения* возникает при изменении электрического поля. Вектор плотности этого

$$\text{тока } \mathbf{d}_{\text{см}} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}.$$

*Ток переноса* представляет собой движение заряженных частиц или заряженных тел. Вектор плотности этого тока  $\mathbf{d}_{\text{пер}}$ , определяется объемной плотностью заряда  $r$  движущихся частиц и вектором скорости  $\mathbf{v}$  их движения  $\mathbf{d}_{\text{пер}} = r\mathbf{v}$ . Ток переноса может создаваться положительно заряженными частицами, двигающимися с положительной скоростью  $\mathbf{v}_+$  с объемной плотностью  $r_+$ , и отрицательно движущимися заряженными частицами со скоростью  $\mathbf{v}_-$  с объемной плотностью  $r_-$ .

В этом случае суммарная плотность тока переноса равна,  $r_+\mathbf{v}_+ + r_-\mathbf{v}_-$ . *Ток проводимости* определяется движением электронов в проводнике (внутри электродов) с объемной плотностью  $\mathbf{d}$ . Тогда первое уравнение Максвелла в дифференциальной форме записывается в виде [12]

$$\text{rot}\mathbf{H} = \mathbf{d} + r\mathbf{v} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}. \quad (3.12.)$$

Это уравнение выражает связь между ротором напряженности магнитного поля и плотностью тока в той же точке поля.

*Второе уравнение* Максвелла устанавливает связь между электрическим и магнитным полями и представляет собой дифференциальную форму закона электромагнитной индукции

$$\mathop{\text{rot}}\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}. \quad (3.13)$$

Физический смысл этого выражения состоит в том, что *всякое изменение* магнитного поля во времени  $\left(\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}\right)$  в какой – либо точке поля возбуждает вихрь или ротор электрического поля *в той же точке поля*, т. е. вызывает *вихревое электрическое поле*.

Обобщение теоремы Гаусса и принципа непрерывности магнитного потока дают *третье и четвертое* уравнение Максвелла [12]

$$\mathop{\text{div}}\mathbf{D} = r, \quad (3.14)$$

и

$$\mathop{\text{div}}\mathbf{B} = 0 \quad (3.15)$$

Помимо указанных четырех соотношений к системе электромагнитного поля относятся выражения, связывающие между собой величины, входящие в эти равенства [12]

$$\mathbf{D} = e\mathbf{E}, \quad \mathbf{B} = m\mathbf{H}, \quad \mathbf{d}_{np} = g\left(\mathbf{E} + \mathbf{E}_{cm}\right), \quad \mathbf{d}_{nep} = r\mathbf{v}.$$

Система уравнений должна быть дополнена также выражением для энергии электромагнитного поля. Согласно *постулату* Максвелла, плотность энергии электромагнитного поля определяется суммой плотностей электрического и магнитного полей, причем каждая из них определяется по формулам, выведенным для постоянных полей:

$$W = \frac{\mathbf{E}\mathbf{D}}{2} + \frac{\mathbf{H}\mathbf{B}}{2}, \quad (3.16)$$

К полной системе уравнений электромагнитного поля следует отнести выражение тепловых потерь в единице объема проводящей среды – закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме [12]

$$P_0 = \dot{\mathbf{d}}\mathbf{E}, \quad (3.17)$$

Величины, характеризующие поле  $\dot{\mathbf{E}}, \dot{\mathbf{D}}, \dot{\mathbf{B}}, \dot{\mathbf{H}}, \dot{\mathbf{d}}$  и среду  $\epsilon, m, g$ , являются функциями координат и времени. Они непрерывны и имеют производные во всех точках, за исключением поверхностей раздела двух сред. Условия на границе раздела двух сред в переменных полях для мгновенных значений величин остаются теми же, что и для постоянных.

Особо следует обратить внимание на *необычное спорное место*, которое занимает в уравнениях Максвелла *ток смещения*. Для этого представим плоский конденсатор в вакууме, к обкладкам которого приложена переменная э. д. с., а в подводящих проводах протекает переменный ток  $I_{np}$  (рис. 3.29) [12].

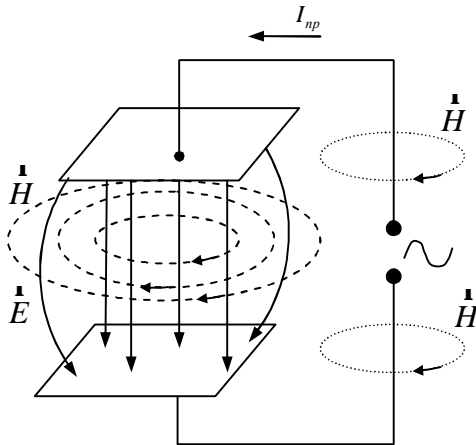


Рис. 3.29. Плоский конденсатор

Если к обкладкам конденсатора приложена переменная э. д. с., то в подводящих проводах пойдет переменный ток проводимости, обусловленный движением электронов. *Между обкладками конденсатора, разделенные вакуумом, заряды отсутствуют, и тока (не только проводимости) быть не может. В пространстве между обкладками существует только переменное электрическое поле  $\dot{E}$  и порождаемое им переменное магнитное поле напряженностью  $\dot{H}$ .* Максвелл предположил, что ток проводимости, идущий во внешней цепи, замыкается *внутри* конденсатора **особым током**, и назвал его – **током смещения**, пропорциональным скорости изменения напряженности электрического поля и равным току проводимости  $I_{пр}$  во внешней цепи. Этому току Максвелл приписал переменное поле  $\dot{H}$ , существующее внутри конденсатора. Так как *ток смещения в вакууме* не представляет собой перемещения электрических зарядов, то он не может выделять джоулево тепло.

Если пространство между пластинами конденсатора заполнено диэлектрической средой, то изменение электрического поля сопровождается движением и поворачиванием электрических диполей (полярных молекул, атомов). Смещение зарядов при поворотах этих диполей образует *дополнительный ток смещения* – поляризационный ток, (выделяющий джоулево тепло). Таким образом, согласно теории Максвелла в пространстве, охваченным переменным электрическим полем, возникает *ток смещения*, слагающийся из **собственно тока смещения** и **поляризационного тока смещения**. Переменные токи проводимости, существующие в незамкнутых контурах, *всегда* замыкаются токами смещения.

*Тогда законно возникает вопрос, что же представляет собой собственно ток смещения, если в вакууме нет свободных носителей электричества, и за счет каких природных явлений он может образовывать электрическое поле, и, как следствие, переменное магнитное поле?*

Посмотрим, как классически интерпретируется роль *тока смещения* при описании распространения электромагнитных волн. Для этого обратимся к рисунку 3.30. Представим качественную картину явления [3].

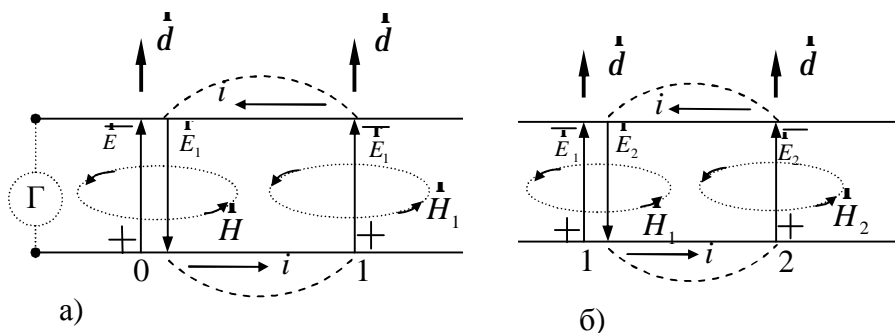


Рис. 3.30. Распространение электромагнитного поля вдоль проводов.

Предположим, что в данный момент времени источник переменного тока «Г» создает в какой-то точке «0» неограниченно простирающейся линии электрическое поле  $\vec{E}$ . Опыт показывает, что электрическое поле распространяется вдоль линии. Посредством, каких процессов происходит это распространение? Один из способов передачи электрического поля это движение электронов в линии, которые переносят свой электрический заряд, а вместе с ним и электрическое поле – так образуется *ток проводимости*. Но, благодаря Максвеллу, должен существовать *еще один способ распространения электрического поля*, который играет главенствующую роль во многих явлениях – *это распространение поля с помощью электромагнитных волн*. Этот способ и был впервые предложен Максвеллом.

Предположим, что электрическое поле  $\vec{E}$  увеличивается. Тогда согласно основному положению теории Максвелла (3.12),



изменяющееся электрическое поле, т. е. *ток смещения*, вызывает появление магнитного поля. Величина и направление этого магнитного поля соответствуют току с плотностью

$$\mathbf{d}_{\text{см}} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (\text{предполагается, что линия находится в вакууме или же, что практически тоже, в атмосферном воздухе}).$$

Так как поле  $\mathbf{E}$  увеличивается, то  $\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} > 0$  и направление тока смещения  $\mathbf{d}$  совпадает с направлением  $\mathbf{E}$ . Используя правило правого буравчика, легко определить направление индуцируемого магнитного поля  $\mathbf{H}$  (рис. 3.30а).

Согласно второму основному уравнению Максвелла (3.13), изменяющееся магнитное поле  $\mathbf{H}$  вызывает появление вихревого электрического поля. Поэтому в последующий момент времени возникнет электрическое поле  $\mathbf{E}_1$ . Оно будет направлено так же, как и индукционный ток, который возник бы в замкнутом проводнике под действием возрастающего поля  $\mathbf{H}$  (рис. 3.30а). *Если бы провода линии отсутствовали, то силовые линии поля содержали бы участки, отмеченные на рисунке пунктиром.* При наличии проводов в них возникнет ток проводимости  $i$  (рис. 3.30а). Если провода сделаны из хорошо проводящего материала, то напряженность электрического поля в них будет весьма мала и *пунктирных участков силовых линий практически не будет.*

Возрастающее электрическое поле  $\mathbf{E}_1$  представляет собой *ток смещения*, который вызовет появление магнитного поля  $\mathbf{H}_1$ . Из рисунка (3.30а) видно, что поле  $\mathbf{E}_1$  в точке «0» направлено противоположно полю  $\mathbf{E}$ , а, следовательно, будет уничтожать это поле. Точно также в точке «0» магнитное поле  $\mathbf{H}_1$  будет уничтожать поле  $\mathbf{H}$ . Таким образом, первоначальное поле  $\mathbf{E}$  и вызванное полем  $\mathbf{H}$  исчезнет, но вместо них появятся поля  $\mathbf{E}_1$  и  $\mathbf{H}_1$  в соседней точке линии «1».

В последующем явления будут происходить аналогично (рис. 3.30б). Возрастающее поле  $\dot{H}_1$  вызовет появление вихревого электрического поля  $\dot{E}_2$ , а это последнее, увеличиваясь, приведет к возникновению магнитного поля  $\dot{H}_2$ . Поля  $\dot{E}_2$  и  $\dot{H}_2$  уничтожат поля  $\dot{E}_1$  и  $\dot{H}_1$  в точке «1» и проявятся в соседней точке 2, еще более удаленной от места первоначального возмущения (точки «0»). Подобным образом электрические и магнитные поля будут распространяться вдоль линии, взаимно превращаясь, и поддерживая друг друга. В этом процессе *именно ток смещения* играет основную роль.

*Следует иметь в виду*, что точки 0, 1, 2 и т. д. находятся бесконечно близко друг к другу. Поэтому поля  $\dot{E}$ ,  $\dot{H}$ ,  $\dot{E}_1$ ,  $\dot{H}_1$  и т. д. относятся к одной и той же точке. Следовательно, там, где электрическое поле  $\dot{E}$  имеет максимум, там имеет максимум и магнитное поле  $\dot{H}$ ; в тех же точках, где поле  $\dot{E}$  равно нулю, нет и поля  $\dot{H}$ .

Отметим еще одно немаловажное обстоятельство. Если быстрота изменения полей невелика (малые частоты), то токами смещения можно пренебречь по сравнению с токами проводимости и переноса (а при постоянном токе они вообще равны нулю). В противном случае, когда поля быстро изменяются (большие частоты), то основную роль играют *токи смещения* и *электрические явления определяются электромагнитными волнами* [3].

Как известно, электрические разряды весьма быстротечны, поскольку длительность электрического разряда составляет порядка  $1 \cdot 10^{-7}$  -  $5 \cdot 10^{-6}$  сек. Поэтому для понимания форм движения зарядов внутри канала разряда, необходимо учитывать *токи смещения*, являющиеся одним из основных параметров электрического разряда. Эти токи формируют в канале разряда *переменные электрические и магнитные поля*, заставляя изменять *траектории* движения заряженных частиц

(положительных и отрицательных) и менять саму *форму канала разряда*.

Здесь следует сделать одно небольшое *замечание* или *отступление* по поводу электрического тока смещения  $\dot{E}_1$  и порождаемым им, магнитным полем  $\dot{H}_1$  (рис. 3.30).

Как уже отмечалось ранее, если бы *провода линии отсутствовали, то силовые линии поля содержали бы участки, отмеченные на рисунке 3.30 пунктиром*. Когда речь идет об электрическом разряде в воздухе между двумя электродами, то *фактически* провода линии на пути прохождения электрического тока разряда (электрического поля между электродами) от одного электрода к другому *отсутствуют*. Следовательно, сама картина распространения электрического поля и вызванное им магнитное поле должна видоизмениться. Попробуем изобразить картину распространения электромагнитной волны в таком случае, т. е. тогда, когда существуют участки с пунктирными линиями. Это можно сделать постольку, поскольку физические размеры электродов во много раз превосходят размеры заряженных частиц, участвующих в процессе разряда. Такое видоизменение представлено на рис. 3.31.

Если раньше (рис. 3.30) присутствовала проводящая линия и ток,  $i$  протекающий по линии замыкал токи смещения, то в случае отсутствия такой линии ток смещения будет замыкаться по пунктирным линиям как сверху, так и снизу (рис. 3.31). При этом ток смещения будет изменяться по гармоническому закону. Причем, как в верхней, так и в нижней части в пунктирных линиях ток смещения будет изменяться по гармоническому закону

$$E = E_1 \cdot \sin(j - kt) \quad (\text{a})$$

$$E = -E_1 \cdot \sin(j - kt) \quad (\text{б})$$

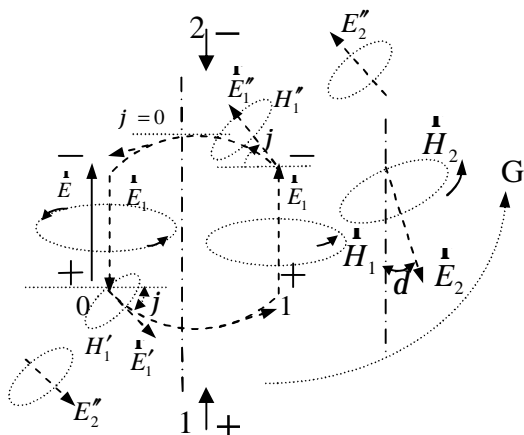


Рис. 3.31. Распространение электромагнитной волны в зоне разряда.

1- положительный электрод, 2-отрицательный электрод

Выражение (а) справедливо для верхней части рисунка, а выражение (б) для нижней части рисунка 3.31. Можно ожидать, что любой из мгновенных векторов  $\vec{E}'_1$  и  $\vec{E}''_1$ , которые образуются вдоль пунктирной криволинейной траектории, способен вызвать в пространстве и свои магнитные поля  $\vec{H}'_1$  и  $\vec{H}''_1$ . В свою очередь, последние, вызывают вихревые электрические поля  $\vec{E}'_2$  и  $\vec{E}''_2$ .

Благодаря таким изменениям, направление тока смещения  $\vec{E}'_1$  и соответственно направления вектора напряженности магнитного поля  $\vec{H}'_1$  начнут изменяться и смещаться на некоторый угол  $d$ . Общее направление такого смещения на рисунке 3.31 можно схематично показать линией  $G$ .

Так как мы рассматриваем плоскую картину распространения электромагнитной волны, то следует предположить, что пространственная огибающая будет

формироваться таким образом, что *криволинейная линия G*, начинающаяся в нижней части пунктирной линии опишет один оборот вокруг канала разряда и замкнется на верхней части пунктирной линии.

То есть она будет описывать *спиралеобразное вращение вектора тока смещения* вдоль линии распространения электромагнитной волны. Причем взаимный переход электрической составляющей  $\underline{E}$  в магнитную составляющую  $\underline{H}$  будет происходить постепенно, не разделяясь по отдельным координатным плоскостям, как это принято описывать в литературе.

Это замечание *необходимо было сделать* для того, чтобы показать *некоторое различие* от классического объяснения распространения электромагнитных волн в линиях и, в особенности, при электрических разрядах в воздухе. Итак, продолжим.

Предположим, что в точке 0 (рис. 3.32) безграничной линии электрическое поле изменяется по гармоническому закону, например  $E = E_0 \sin \omega t$  [3].

Электромагнитное поле будет распространяться вдоль линии и, следовательно, в какой – либо точке линии, удаленной на расстояние  $x$  от точки 0, также возникнут гармонические колебания. Но поскольку существует определенная скорость распространения электромагнитной волны  $v$ , то время запаздывания  $t$  можно установить, как  $t = x / v$ .

Тогда колебания электрического поля в точке  $x$  можно записать в виде [3]

$$E = E_0 \sin \omega(t - x / v). \quad (3.17)$$

Поскольку максимумы электрического поля при распространении электромагнитного импульса совпадают с максимумами магнитного поля, то в точке 0 колебания магнитного поля будут  $H = H_0 \sin \omega t$ , а в точке  $x$

$$H = H_0 \sin w(t - x/v). \quad (3.18)$$

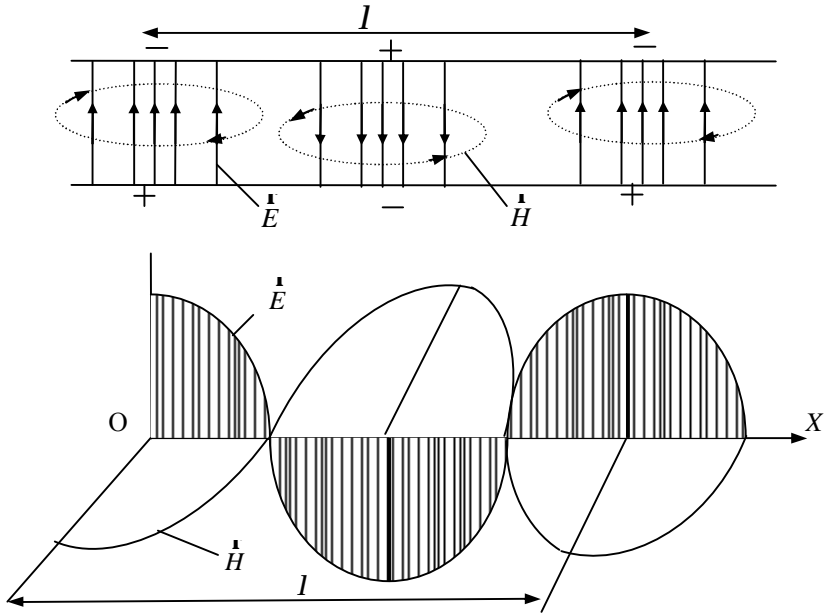


Рис. 3.32. Распределение электрического и магнитного полей при распространении электромагнитной волны.

Формулы (3.17) и (3.18) выражают закон изменения электрического поля в волне, распространяющейся в одном определенном направлении, а именно, в направлении положительной оси  $X$ . Они называются уравнениями волны [3]. Если волна распространяется в противоположном направлении (вдоль отрицательной оси  $X$ ), то уравнение волны будет:

$$E = E_0 \sin w(t + x/v), \quad H = H_0 \sin w(t + x/v). \quad (3.19)$$

Мгновенное распределение электрических и магнитных полей в электромагнитной волне показано на рис. 3.32. Для

данного момента времени магнитное, и электрическое поля достигают максимума в одних и тех же точках и в одних и тех же точках проходят через нуль. Если проследить изменения полей, в какой-то определенной точке линии, то оба поля  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  будут одновременно проходить через максимумы и одновременно через нулевые значения. Другими словами, в распространяющейся электромагнитной волне колебания электрического и магнитного поля находятся **в фазе**.

Расстояние между двумя точками, в которых отличаются по фазе на два  $2p$  (например, между двумя соседними максимумами (рис. 3.32)), есть длина электромагнитной волны  $l$ . Она равна расстоянию, на которое распространяется волна за время одного периода колебания  $T$ . Если  $v$  - скорость распространения электромагнитных волн (скорость распространения фазы колебаний), то

$$l = vT . \quad (3.20)$$

Учитывая, что  $w = 2p / T$ , уравнения волны можно записать в следующем виде:

$$E = E_0 \sin 2p(t / T \pm x / l) = E_0 \sin(wt \pm kx) , \quad (3.21)$$

Для магнитного поля уравнения волны можно записать аналогично:

$$H = H_0 \sin(wt \pm kx) , \quad (3.22)$$

где  $k = 2p / l$  - волновое число.

В реальности всегда существует сопротивление линии передач, поэтому амплитуды  $E_0$  и  $H_0$  по мере продвижения волны снижаются вследствие возникновения токов проводимости при распространении электромагнитной волны. Выражения (3.21), (3.22), определяют идеальный случай, когда

сопротивление линии равно нулю. Приближенно их можно применять для небольших (*коротких*) линий, когда, затуханием волн можно пренебречь.

Заметим, поскольку межэлектродное пространство, в котором происходит электрический разряд весьма невелико, то расстояние между электродами можно также считать *короткой линией*. Но в этом случае существенную роль начинает играть *отражение электромагнитных волн от концов линий*, т. е. от электродов. *Отраженные волны* начинают складываться друг с другом и с первоначальной волной, в результате возникают сложные колебания – *стоячие электромагнитные волны*.

Поскольку при электрическом разряде между электродами, расстояние сравнительно невелико (для наших примеров 4 – 12мм), стоячие волны начинают играть немаловажную роль для характера процессов движения зарядов в канале разряда. Ввиду этого кратко посмотрим на основные положения и особенности стоячих электромагнитных волн. Для этого вначале обратимся к рисунку 3.33 [3].

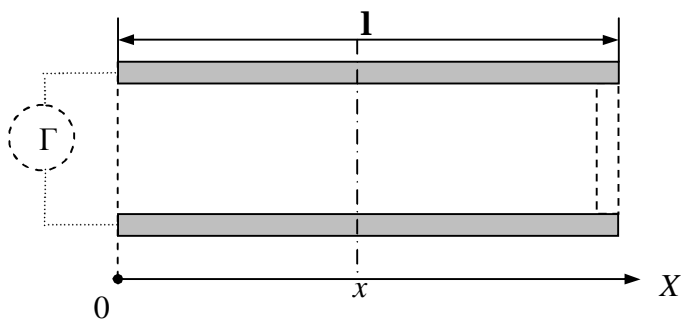


Рис. 3.33. Ограниченная двухпроводная линия.

Для выяснения основных особенностей стоячих электромагнитных волн достаточно проанализировать только две волны: *первичную* и *отраженную* от конца линии. В точке 0 (рис. 3.33) колебания первичной волны электрического поля



будет иметь вид:  $E_1 = E_0 \sin \omega t$ . Тогда колебания в точке линии  $x$  будут  $E_1 = E_0 \sin(\omega t - kx)$ .

Если считать, что волна отражается полностью, то колебания поля в той же точке  $x$  для отраженной волны можно представить формулой

$$E_1 = E_0 \sin(\omega t + kx - j) , \quad (3.23).$$

Знак «+» у слагаемого  $kx$  подчеркивает, что отраженная волна идет в обратном направлении к точке «0», т. е. в отрицательном направлении оси  $X$  (справа налево). Угол  $j$  - это угол запаздывания по фазе колебаний поля отраженной волны в точке «0» по сравнению с колебаниями первичной волны в той же точке. Во-первых, это запаздывание объясняется двойным путем, проходящим первичной волной к точке «0» отчего возникает отставание по фазе  $2p \cdot \frac{2l}{l}$ , и, во-вторых, возможно изменением фазы колебаний при самом отражении. Складываясь, обе волны дают результирующее поле  $E$  [3]

$$E = E_1 + E_2 = E_0 [\sin(\omega t - kx) + \sin(\omega t + kx - j) ] .$$

Если упростить это выражение с помощью несложных тригонометрических преобразований, то результирующее поле  $E$  можно записать в виде:

$$E = 2E_0 \cos(kx - j / 2) \sin(\omega t - j / 2) . \quad (3.24)$$

Формула (3.24) показывает, что в линии будут происходить гармонические колебания поля с частотой первичной волны  $\omega$  и с начальной фазой  $-j / 2$ . Однако амплитуда  $E_a = 2E_0 \cos(kx - j / 2)$  этих колебаний, будет зависеть от координаты точки  $x$ , и поэтому различна в разных

точках линии. При таких колебаниях на линии могут возникать *пучности* электрического поля, когда  $E_a$  достигает максимума, и *узлы* электрического поля, когда амплитуда  $E_a$  обращается в ноль. Координаты точек *пучностей* определяются условием:  $kx_n - j / 2 = 0, p, 2p, \dots, np$ .

Для расстояния  $\Delta x$  между двумя соседними пучностями имеем  $k\Delta x = p$ . Так как волновое число  $k = 2p / l$ , то  $\Delta x = l / 2$ . В точках, где образуются *узлы* электрического поля, координаты можно найти из условия:  $kx_y - j / 2 = p / 2, 3p / 2, \dots, (2n + 1)p / 2$ . Тогда для расстояний между двумя узлами можно написать соотношение:  $\Delta x = p / k = l / 2$ .

Таким образом, расстояние между соседними узлами и пучностями одинаково и равно половине длины волны  $l / 2$ . Рисунок 3.34 поясняет характер колебания поля в стоячей электромагнитной волне [3].

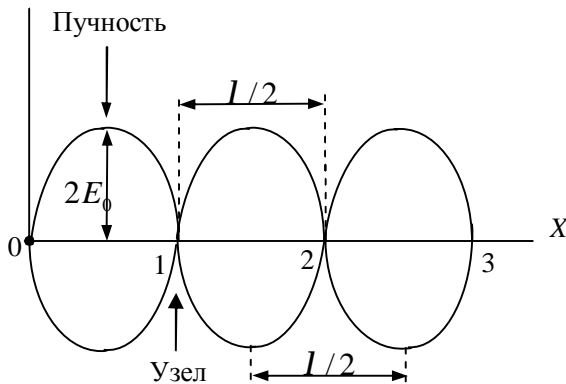


Рис. 3.34. Колебания электрического поля в стоячей волне.

Вдоль горизонтальной оси отложены перемещения  $x$  вдоль линии, а по вертикальной оси – амплитуда колебания поля  $E_a$ . Во всех точках между двумя соседними узлами (0-1, 1-2, и т. д.) колебания происходят с одинаковой начальной фазой, так что  $E$  во всех точках одновременно достигает максимума и

одновременно обращается в нуль (3.24). При переходе через каждый узел,  $\cos(kx - j / 2)$  изменяет знак, что соответствует изменению фазы колебаний на угол  $\rho$ . Когда мы рассматривали колебания распространяющейся электромагнитной волны (рис. 3.32), в длинной линии, то полагали что колебания электрической волны электрического поля и колебания волны магнитного поля *находятся в фазе*.

*Однако в стоячей электромагнитной волне этот факт уже не имеет места. В этом случае уже имеются несоответствия фаз между колебаниями  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ , поэтому пучности и узлы электрического и магнитных полей уже не смогут совпасть.* Причина этого различия заключается в том, что при отражении электромагнитной волны от конца линии происходит изменение фазы колебаний.

Поскольку направления векторов  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  и  $\vec{v}$  связаны с направлением скорости распространения волны  $\vec{v}$  правилом правого буравчика. Рассмотрим рисунок 3.35 [3]

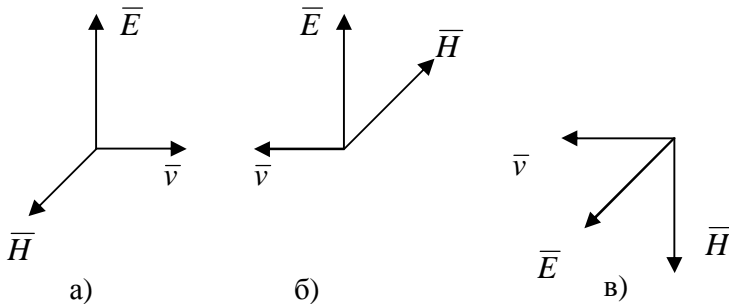


Рис. 3.35. Ориентация электрического и магнитного векторов до (а) и после (б и в) отражения электромагнитной волны.

Предположим, что первичная волна движется слева направо и направление векторов такое, какое показано на рис 3.35а. Чтобы скорость волны изменилась в противоположную сторону, необходимо, чтобы *хотя бы один* из векторов  $\vec{E}$  или

$\dot{H}$  изменил знак (рис. 3.35б или 3.35в). Но изменение знака поля обозначает изменение фазы колебания на величину « $\pi$ ». Поэтому при отражении *фаза колебаний* одного из полей должна *обязательно скачкообразно* измениться на величину « $\pi$ ». В случае, когда изменится фаза электрического поля, то фаза магнитного поля останется без изменений, и наоборот, *если скачек фазы испытывает магнитное поле, то фаза электрического поля не изменяется* [3].

Не вдаваясь в строгие математические рассуждения, покажем механизм такого процесса. Прежде всего, предположим, что линия на конце разомкнута. В этом случае переменные токи, возникающие в проводах, будут создавать *на конце линии наибольшие колебания зарядов*. Это автоматически приводит к тому, что на конце линии будет расположена одна из *пучностей электрического поля (напряжения) и возможно максимальная пучность*. Это можно объяснить, что электрическое поле в отраженной волне направленно так же, как и в падающей, т. е. оно не изменяет фазы.

Однако, при тех же условиях, так как на границе линии граничат с диэлектриком, амплитуда тока, на конце линии будет равна нулю. *Здесь будет узел тока, а значит и узел магнитного поля*. Следовательно, *магнитное поле в отраженной волне направлено противоположно полю падающей волны, т. е. оно изменяет фазу на величину « $\pi$ »*

Если линия замкнута на конце проводящим мостиком, то будет происходить обратное явление. Так как концы проводов замкнуты то напряжение между ними будет всегда равно нулю и на конце линии будет расположен узел напряжения и электрического поля. Напротив, *амплитуда тока* в проводящем мостике *будет наибольшая* и на *конце линии образуется пучность тока*. Здесь же будет *и пучность магнитного поля!* Таким образом, в стоячей электромагнитной волне узлы электрического поля (напряжения) совпадают с пучностями магнитного поля (тока) и наоборот.

Распределение амплитуд колебаний электрического и магнитного полей в стоячей волне изображено на рис. 3.36 [3].

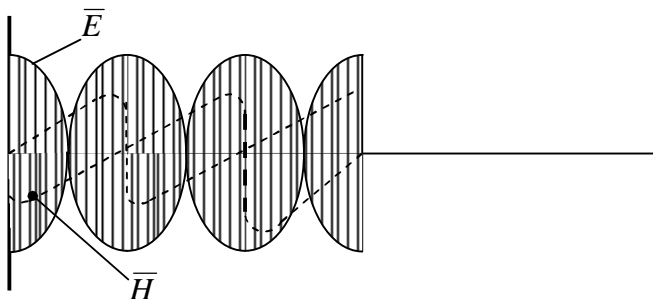


Рис. 3.36. Пространственное распределение амплитуд электрического и магнитного полей в стоячей волне.

Следует отметить, что указанные свойства электромагнитных волн подобны свойствам механических волн. Аналогия правдоподобна тем, что, как и в механических волнах имеет место два вида колебания: собственно деформацией струн (как вида потенциальной энергии), так и кинетической, связанной со скоростью отдельных элементов среды.

В распространяющейся механической волне колебания деформации и скорости находятся в фазе; в распространяющейся электромагнитной волне фазы колебаний электрического и магнитного полей также совпадают. Наконец, в стоячей механической волне узлы деформации совпадают с пучностями скорости и, наоборот; в стоячей электромагнитной волне узлы электрического поля совпадают с пучностями магнитного поля и наоборот.

Для того чтобы в двухпроводной линии могли возникнуть стоячие волны, длина электромагнитной волны должна иметь определенные значения, зависящие от длины линии. Рассмотрим линию длиной  $l$  и положим, что она разомкнута на обоих концах. В этом случае на концах линии всегда будут образовываться пучности напряжения (электрического поля) и узлы тока (магнитного поля). Поэтому в линии могут образовываться только такие стоячие волны,

которые удовлетворяют этим условиям на границе. Тогда очевидно, что длина волны  $l$  удовлетворяла соотношению [3]

$$l = \frac{1}{2} l_n, n=1, 2, 3, \dots \quad (3.25)$$

На рисунке (3.37а) представлены две стоячие волны, соответствующие  $n=1$  и  $n=2$ .

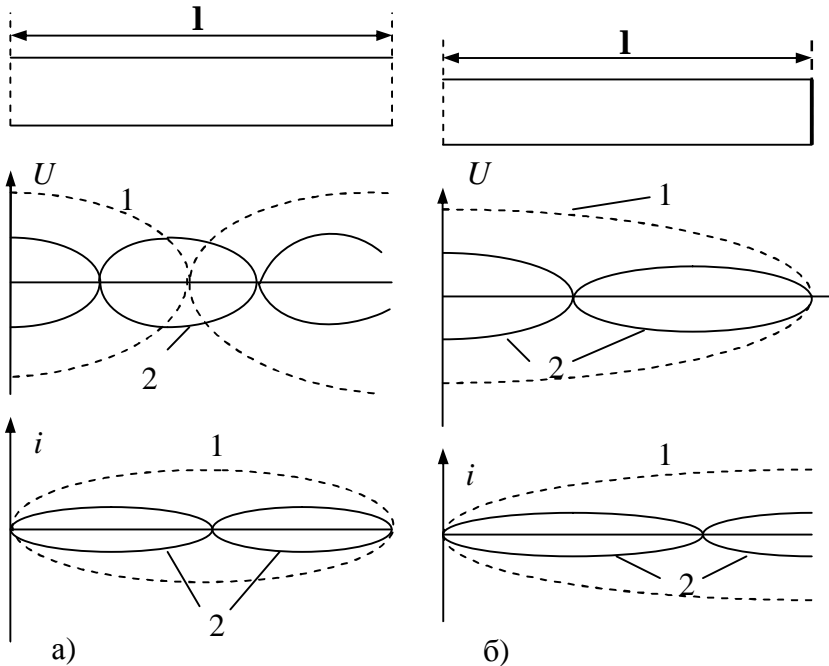


Рис. 3.37. Два первых колебания двухпроводной линии при разомкнутых концах (а), и при замкнутом на одном конце проводником (б).

Первая из них (1), называемая основным колебанием, имеет один узел напряжения  $U$  и одну пучность тока  $i$ , расположенные на середине линии. Вторая (2) имеет два узла напряжения и две пучности тока. В обоих случаях на концах

линии находятся пучности напряжения и узлы тока в соответствии с граничными условиями. Помимо указанных двух стоячих волн, возможно еще бесконечное количество других, которые соответствуют  $n=3, 4, \dots$

Так как длина волны  $l$  частота колебаний  $n$  и скорость электромагнитной волны  $v$  связаны между собой соотношением  $v = n l$ , то можно найти частоты  $n_n$  различных стоячих волн:

$$n_n = \frac{v}{2l} n, n=1, 2, 3, \dots \quad (3.26)$$

Аналогичные результаты мы будем получать и тогда, когда оба конца будут замкнуты. Только в этом случае, на концах линии будут находиться узлы напряжения (а не пучности) и пучности тока (вместо узлов). Если замкнуть линию проводящим мостиком на одном конце (рис. 3.37б.), то всегда на разомкнутом конце линии всегда будет находиться пучность напряжения и узел тока. На замкнутом участке будут образовываться узел напряжения и пучность тока. Поэтому в линии будут образовываться только волны такого типа, как показано на рис. 3.37б [3].

В этом случае, частота стоячих волн будет определяться длиной волны  $l = (2n - 1)l / 4$ , а так как, длина волны  $l = v / n$ , то частота стоячих волн равна  $n_n = v / 4l(2n - 1)$ ,  $n=1, 2, 3, \dots$  Это означает, что стоячие волны суть собственные колебания линии и их количество может быть бесконечным, поскольку линия имеет бесконечно большое число степеней свободы.

Представим теперь двухпроводную линию, замкнутую на одном из концов, из концов, и раздвинем свободные концы проволок. Тогда в пределе мы получим отрезок прямой проволоки, или *открытый вибратор*. Длина возможных в нем стоячих электромагнитных волн определяется длиной вибраторов  $l$  и условиями на концах. *Если оба конца вибратора граничат с диэлектриком, то на них должны быть*

*расположены узлы тока и пучности напряжений (3.37а). Поэтому возможные длины волн  $l$  определяются условием*

$$l = n\lambda / 2, n=1, 2, 3, \dots$$

А частота колебаний  $n$  в различных стоячих волнах будет:

$$n = \frac{v}{l} = \frac{v}{2\lambda} n, n=1, 2, 3, \dots \quad (3.27)$$

Стоячая волна соответствующая  $n=1$  называется *основным колебанием* вибратора. Частота основного колебания при этом (оба конца разомкнуты) равна  $n_1 = \frac{v}{2l}$ , а во втором

(один конец разомкнут)  $n_1 = \frac{v}{4l}$ , т. е. при замыкании одного из концов частота основного колебания уменьшается вдвое.

Распределение амплитуд и напряжения и тока показано на рисунке 3.38а. Если же один из концов вибратора заземлить (рис. 3.38б), то на этом конце будет расположен *узел напряжения* и, следовательно, *пучность тока* (напомним, что это *пучность магнитного поля*) [3]. Из рисунка видно, что при заземлении вибратора длина волны его основного колебания увеличивается, а частота уменьшается в два раза.

Как можно видеть на рисунке 3.38б, внизу, у заземленного конца, образуется *пучность магнитного поля «МП max»* и *узел электрического поля «ЭП мин»*, т. е. в этом участке магнитное поле достигает своего максимума, а электрическое поле минимума.

Таким образом, во время электрического разряда, в канале разряда образуется две особые области, в которых можно заметить два вида колебаний электромагнитной волны. У отрицательного электрода всегда образуется *пучность магнитного поля* отрицательных зарядов, что приводит к появлению мощного магнитного полюса на этом электроде.



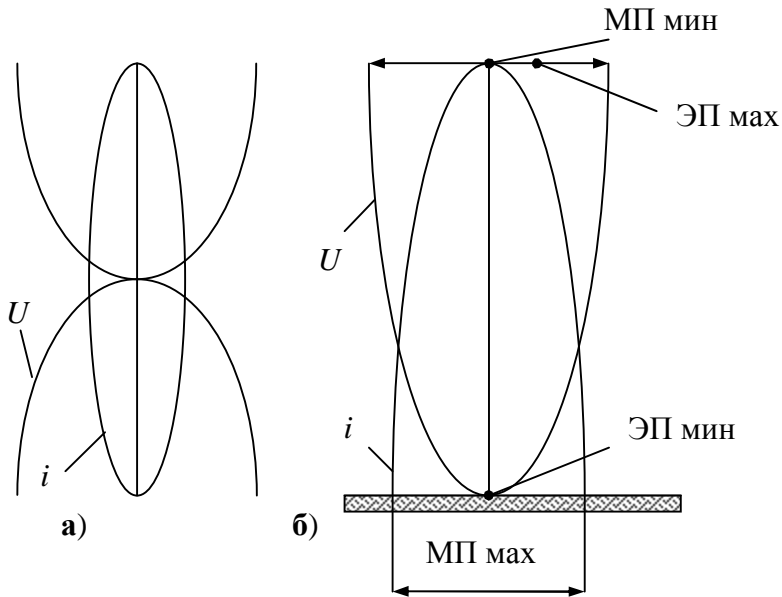


Рис. 3.38. Основные колебания незаземленного (а) и заземленного (б) вибратора.

$U$  положительного электрода образуется пучность магнитного поля положительных зарядов, образуя дополнительный магнитный полюс из положительных зарядов. В средней части образуется узел магнитной напряженности, где магнитное поле имеет значение напряженности близкое к нулю.

Описанные процессы приводят к тому, что в межэлектродном пространстве образуется **дополнительное магнитное неоднородное поле**. На отрицательном электроде образуется «южный» полюс, а на положительном электроде «северный» полюс, а в средней части магнитное поле близко к нулю. Это может пояснить рисунок 3.39. Такое образование **дополнительных магнитных полюсов** приводит к тому, что в зоне разряда образуется **неоднородное магнитное поле** (рис. 3.39а). В этом случае заряды будут двигаться в таком

сформировавшемся *неоднородном магнитном поле* (рис. 2.12 глава 2) по спиральным траекториям.

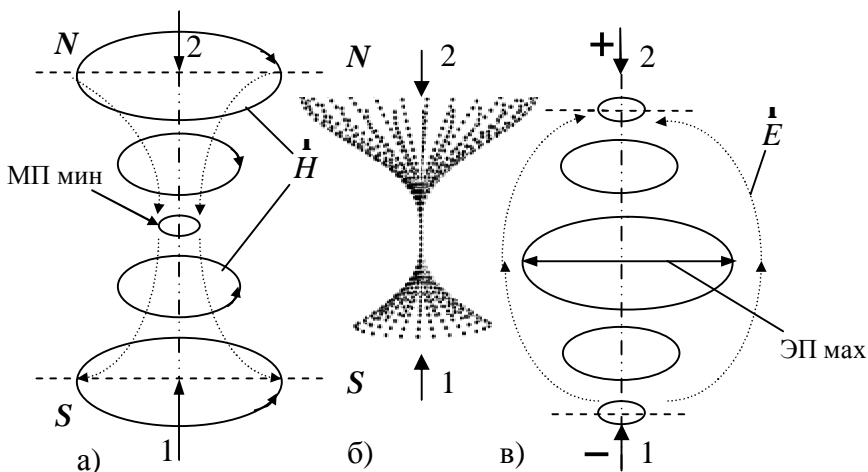


Рис. 3.39. Распределение пучностей и узлов магнитного и электрического полей вдоль канала разряда. 1, 2 - электроды

Учитывая тот факт, что пучностей и узлов магнитного поля по длине канала разряда чрезвычайно велико и их количество зависит только от длины волны  $\lambda$  (от отрицательного электрода к положительному электроду), то такое распределение пучностей и узлов вызывает неоднородность магнитного поля *вдоль всего* канала разряда.

Это обстоятельство как раз и является еще одной причиной, которая заставляет перемещаться заряды по спиралеобразным траекториям, описанным выше. Иначе говоря, спиралеобразные формы огибающей линии канала разряда вдоль оси линии канала разряда и спиралеобразные формы вращения самих зарядов внутри канала разряда создают пучности и узлы магнитного поля.

Эти явления были показаны ранее на фотографиях и компьютерных моделях (рис. 3.15, 3.16, 3.22).

Итак, *всегда на концах электродов* (открытого вибратора) будет образовываться пучности магнитного поля так, как это представлено на рисунке 3.39, т. е. будут создаваться *дополнительные магнитные полюса* (глава 2. рис. 2.17) противоположного знака.

Чтобы экспериментально доказать такое утверждение, в лабораторных условиях был осуществлен опыт над *медной и магнитной стрелкой* (намагниченная стальная игла). Стрелки подвешивали на шелковой нити и размещали вблизи электродов в одном случае на воздухе, а в другом случае помещали в изолированный металлической фольгой пластиковый стакан (стакан Фарадея). На рис. (3.40) показан такой изолированный алюминиевой фольгой стакан.



Рис. 3.40. Изолированный от электрического поля пластиковый стакан.

Стрелка, подвешенная свободно на шелковой нити без стакана, легко передвигалась от активного положительного металлического электрода 1, на котором увеличивался

электрический потенциал к заземленному разряднику 2, рис. 3.41, 1-7.

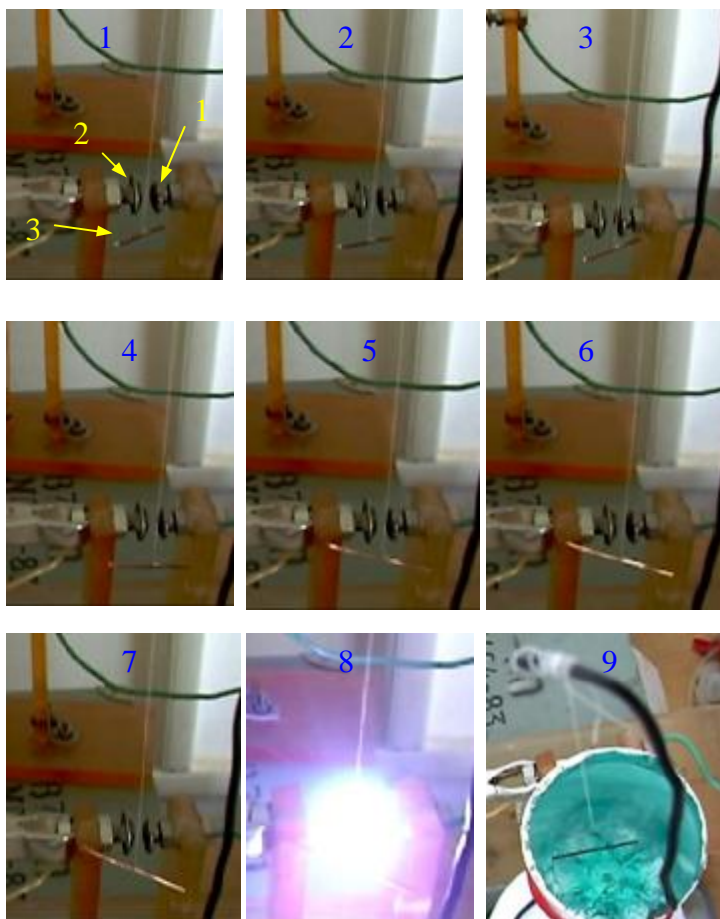


Рис. 3.41. Фрагменты движения медной стрелки.  
1-положительный разрядник, 2-отрицательный разрядник, 3-медная стрелка.

Такое поведение стрелки можно объяснить наведением (индукцией) на медную стрелку электрических зарядов,

образующихся на электроде 1 и 2 при возрастании электрического потенциала. По мере роста напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве, наступал электрический пробой между электродами.

На рисунке 3.41 показаны фрагменты поведения медной стрелки по мере увеличения электрического потенциала на положительном электроде 1. Фотография положения медной стрелки в момент электрического разряда показана на рис. (3.41) под номером 8. Пробой обычно наступал при напряжении 15-25кВ, в зависимости от длины разрядного промежутка (от 4 до 12мм). В металлическом стакане стрелка, выполненная из меди, не перемещалась (фотография 9, рис. 3.41) при увеличении напряженности электрического поля в зазоре между электродами вплоть до наступления электрического разряда и после него.

Это легко объясняется тем, что внутри изолированного от электрического поля металлическим стаканом электрическое поле отсутствует. Это явление впервые наблюдал М. Фарадей, отсюда и такое название «стакан Фарадея». Этим свойством широко пользуются и в настоящее время для защиты от высоких напряжений.

Поведение магнитной стрелки в открытом пространстве вблизи электродов 1 и 2 (рис. 3.41) ничем не отличалось от поведения медной стрелки. В этом случае магнитная стрелка точно также поворачивалась за счет электрической индукции до тех пор, пока не наступал электрический разряд. Однако, в отличие от опыта с медной стрелкой, по мере накопления электрического потенциала на положительном разряднике 1, магнитная стрелка, помещенная в изолированный от электрического поля стакан, *начала поворачиваться* к этому разряднику. Как только происходил разряд, магнитная стрелка возвращалась в исходное положение.

Это могло означать только одно: при появлении электрического потенциала на разряднике 1 (фото 1, рис. 3.41), *образуется магнитный полюс*, который заставляет двигаться магнитную стрелку, причем, чем больше накапливался

электрический потенциал на разряднике, тем отклонение стрелки было больше. Таким образом, по мере прохождения *токов* ионизации (токов смещения) между электродами 1 и 2 (фото 1, рис. 3.41) и накопления электрического потенциала на положительном электроде магнитная стрелка перемещалась к разряднику, на котором накапливался электрический потенциал.

На рис. 3.42 представлен ряд фотографий, фиксирующих момент изменения угла поворота магнитной стрелки вследствие повышения электрического потенциала на положительном разряднике. Все фотографии смонтированы из видеозаписи движения магнитной стрелки в стакане Фарадея при электрическом разряде. Фотографии перемещения магнитной стрелки в открытом пространстве не приводятся вследствие подобия процессов движения с медной стрелкой.

Ввиду того, что магнитная стрелка внутри стакана Фарадея видна не особенно четко, на рисунке 3.42 размещены указательные стрелки, позволяющие лучше рассмотреть положение магнитной стрелки. Кроме этого, на рисунке 3.42 на фотографиях 1-6, рядом с магнитной стрелкой показаны углы поворота относительно вертикальной оси, которые также помечены пунктирными линиями со стрелками.

Минимальный угол отклонения от вертикальной оси можно видеть на фотографии 1, а максимальный угол отклонения на фотографии 6 (рис. 3.42). На остальных фотографиях магнитная стрелка занимает промежуточное положение. Рассмотренное поведение магнитной и медной стрелки полностью согласуется с законами электростатики [5].

Подобно магнитному полю, образуются *пучности и узлы электрического поля* (рис. 3.39в). Причем, если узлы электрического поля приходятся на электроды, то пучности (ЭП *max*) формируются в основном в *средней части* межэлектродного промежутка. Точно также, поскольку пучностей и узлов электрического поля, которые образуются при движении электромагнитной волны также велико, то число таких участков на протяжении оси канала тоже достигает значительных величин (рис. 3.16-3.18).

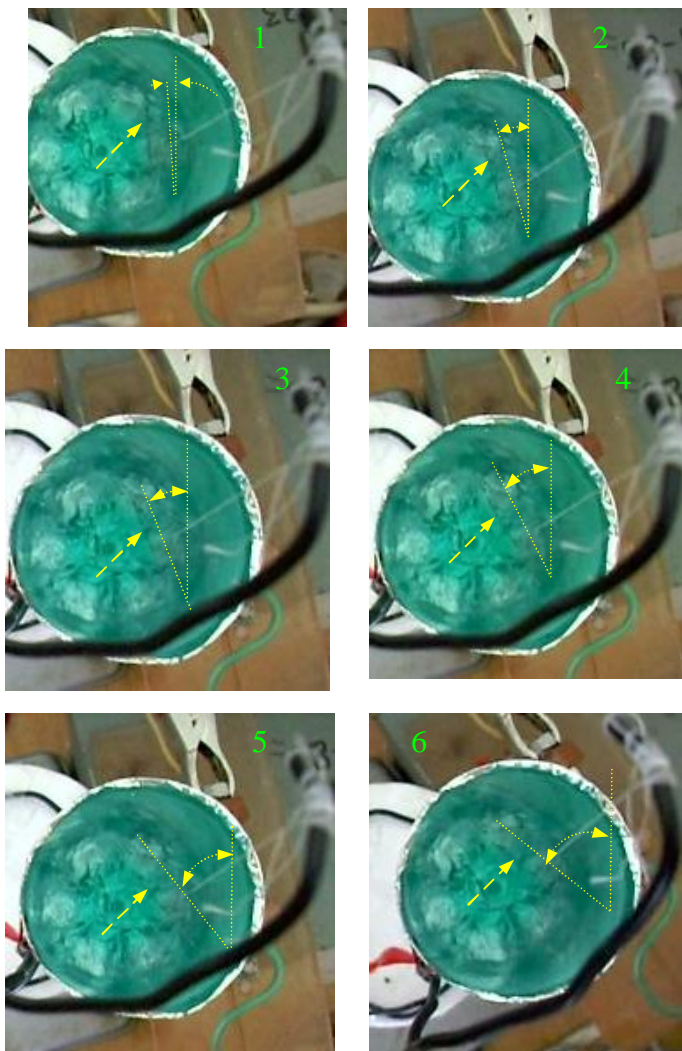


Рис. 3.42. Перемещение магнитной стрелки в стакане Фарадея.

Наибольшее значение пучность электрического поля достигает в первой гармонике приблизительно на середине межэлектродного участка. Такое поведение зарядов можно объяснить не только той причиной, что в этой средней части

канала разряда встречаются два встречных потока из положительных и отрицательных зарядов, но и встречаются *две отраженные волны* положительных и отрицательных зарядов.

Это обстоятельство вызывает всплеск и выброс заряженных частиц, подобно тому, как мы могли наблюдать на фотографиях электрических разрядов (рис. 3.11, 3.12). Многие *другие гармоники могут* складываться на пути движения зарядов и *образовывать дополнительные резонансные области*, где также образуются стоячие волны (рис. 3.16). На этом рисунке хорошо видны *уплотнения белого цвета*.

Точно такие же уплотнения можно наблюдать и на фотографиях реальных молний (рис. 3.43), фото: <http://www./trinixy.ru>.



Рис. 3.43. Фотография реальной молнии.



Стрелками вблизи молнии обозначены уплотнения белого цвета, которые соответствуют пучностям электромагнитных волн. На фотографии (рис. 3.43) показана ось вокруг которой *по спирали* перемещаются электрические заряды.

Вот мы, наконец, добрались *до причины резкого увеличения магнитного поля у поверхности Земли*. Откуда же еще взяться такому невероятному магнитному полю у поверхности земли, как не из грозовой тучи. А поскольку у поверхности Земли появился высокий потенциал магнитного поля, то в верхних слоях и в самой грозовой туче будет образовываться другой полюс противоположного знака, например, *южный* или *северный*. Суть явления теперь достаточно ясна.

*Наличие грозового электрического потенциала вызывает появление магнитного потенциала у поверхности Земли и в верхних слоях атмосферы*, т. е. образуется тот самый «*вертикальный инур силовых магнитных линий*», вокруг которых и будут двигаться заряды *по спиральным траекториям* согласно правилу Лоренца. Следует особо подчеркнуть, что «*стоячие волны*», а значит, *пучности и узлы электрического и магнитного полей* могут создаваться как между различными участками грозового облака, так и между грозовой тучей и земной поверхностью. В соответствие с этим в облаках могут образовываться *дополнительные пучности и узлы* электрического и магнитного поля, т. е. такие же криволинейные участки, в которых в соответствии с силой Лоренца траектория движения зарядов будет напоминать спираль.

Причем, в тех участках траектории, где образуются узлы напряжений, образуются и узлы *уплотнения* зарядов, которые визуально можно наблюдать на фотографиях разрядов (рис. 3.16, 3.17) и реальных молний (рис. 3.43). В таких участках энергия разряда будет многократно увеличиваться.

В общем случае практически любое крупное формирование скоплений положительных и отрицательных зарядов в грозовых облаках или на пути следования основного разряда вызывает свои дополнительные «стоячие волны», а значит, свои пучности и узлы электрического и магнитного полей, которые проявляются в виде боковых ответвлений (россыпей) от основного канала разряда.

Что это может означать для грозовой тучи (или просто заряженной области с подобным расположением электрических зарядов), нависшей над местом скопления зданий, сооружений и других объектов?

Это может означать только одно – в этой зоне резко изменяется магнитная обстановка, т. е. напряженность магнитного поля в этом месте резко увеличивается. Это воздействие начинает оказывать влияние на электрические сооружения и оборудование.

Иначе говоря, в этом месте образуется мощный магнитный полюс. Именно сюда будет направлен острый конец раскрученной спирали электрических зарядов, как это схематично показывает компьютерная модель (рис. 3.44).

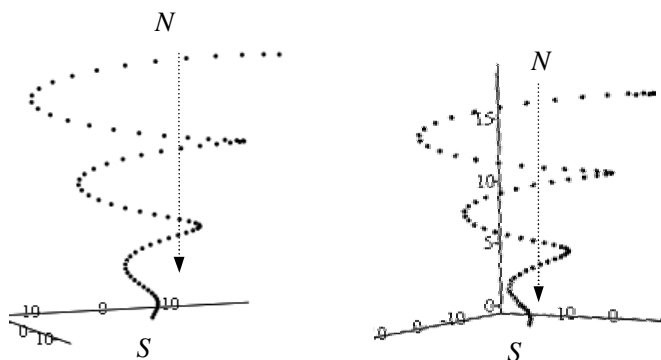


Рис. 3.44. Компьютерные модели движения зарядов к дополнительному магнитному полюсу земной поверхности, образованному молнией.

Поскольку энергией обладает *электрическое поле*, следовательно, следует ожидать всплеск различных динамических электрических явлений, виной которым будет образующееся мощное магнитное поле, видоизменяя траекторию движения заряженных частиц.

Итак, можно с уверенностью заключить что, *токи смещения* и *стоячие волны*, играют важную роль при электрических разрядах. Причем электрический разряд, внутри грозового облака точно также как и в обыкновенном разряднике, одновременно образует, узлы и пучности электрического и магнитного полей (рис. 3.37а), вызывая *резонансные явления*, во много раз превосходящие по мощности обычные разряды.

Таким образом, можно заключить, что *в любом месте, где образуется электрический потенциал противоположного знака, образуется и магнитный полюс противоположного знака*. Поэтому при грозах часто видны и молнии, которые направлены между соседними облаками.

Нечто подобное по явлению *резонансных явлений* впервые демонстрировал Тесла. В качестве примера, приведем один из многочисленных опытов, этого великого физика по изучению стоячих волн в катушках для устройств с резонансными трансформаторами (рис. 3.45). Проволочные катушки, как и двухпроводные линии, обладают определенной индуктивностью и емкостью на каждую единицу длины, т. е, представляют собой электрические распределенные системы. Поэтому в них возможны также *стоячие электромагнитные волны*.

Тесла использовал *стоячие волны* в катушках для устройства резонансного трансформатора (рис. 3.45) [3].

Его первичная обмотка  $L_1$  имеет небольшое число витков и входит в состав колебательного контура (например, искрового контура, содержащего искровой промежуток П. и конденсатор С). Вторичной обмоткой служит проволочная катушка  $L_2$ . Когда

происходит пробой искрового промежутка «П», во вторичной обмотке  $L_2$  наводится переменная э. д. с.

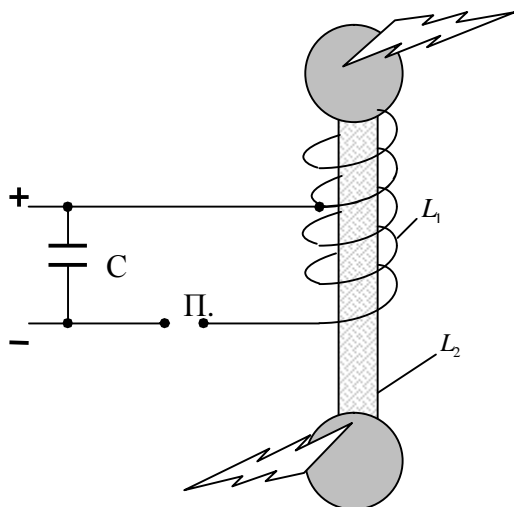


Рис. 3.45. Схема трансформатора Тесла.

Если подобрать частоту колебаний в первичной обмотке так, чтобы она совпала с частотой одного из собственных колебаний (*стоячих волн*) катушки  $L_2$  (обычно - основного колебания), то вследствие резонанса в этой последней возникнет интенсивная стоячая волна и между концами катушки появится высокое *резонансное* напряжение. Причем, при резонансе из концов вторичной катушки можно извлекать длинные искры, а электрическое поле возле шаров многократно возрастет.

Сразу приходит мысль о том, что в наполненном электричеством воздухе (канале разряда) при сильной ионизации возникают сотни таких участков, где имеются отдельные участки подобные замкнутым и разомкнутым проводникам (рис. 3.36–3.38) со стоячими электрическими волнами и образующие местные пучности электрических потенциалов и узлы магнитных полей. Подобные явления могут создавать локальные электрические и магнитные поля, заставляя

менять прямолинейное движение заряженных частиц в неоднородных магнитных полях и совершать *криволинейное движение*, спиралеобразное движение.

Чтоб показать какие криволинейные траектории могут образовываться в воздухе при электрическом разряде, приведем одну фотографию, полученную из Интернета и описанную в статье «Как сделать молнию у себя во дворе» на сайте [http://www. Mignews.com.ua](http://www.Mignews.com.ua). (рис. 3.46).



Рис. 3.46. Искусственная молния

Как видно на фотографии, распространяющиеся электрические шнуры описывают различные криволинейные траектории, но самое главное, хорошо показано движение электрических зарядов, которые по пути следования принимают *винтовые, спиралеобразные* траектории (рис. 3.46).

Рассматривая подробно явления в канале электрического разряда, нельзя не обойти стороной еще одну тему, связанную с особенностью электрического разряда в воздухе. В литературе по магнитогидродинамике и ряде других работ рассматриваются вопросы о течении жидкости или газа в электрическом поле.

Так, например, если имеет место тлеющий разряд, то при малых значениях давления газа и малом токе разряда, тлеющий разряд заполняет все пространство между электродами.

При больших значениях давлений и токов, таких как, например, искровой разряд в воздухе при атмосферном давлении происходит «отшнуровывание» разряда, когда весь разрядный ток проходит по узкому каналу – «шнуру».

Отшнуровывание разряда представляет собой сложное явление, до сих пор еще полностью не исследованное [12]. Одной из причин отшнуровывания является то, что разряд происходит при наименьшем напряжении и наибольшем токе, т. е. при наименьшей напряженности поля и наибольшей плотности тока. При одном и том же значении разрядного тока напряженность поля будет меньше, когда ток сосредоточен в тонком канале – *шнуре*, чем в случае заполнения разрядом всего междуэлектродного пространства, так как шнуру соответствует большая плотность тока и, следовательно, меньшая напряженность поля.

Другой причиной является высокая температура газа в канале разряда, имеющая наибольшее значение на оси канала. Это обеспечивает наибольшую удельную проводимость на оси канала, где и сосредоточивается основная доля тока.

Кроме указанных причин имеет место сжатия шнура тока собственным магнитным полем – *эффект сжатия (пинч – эффект)*.

Пусть разряд происходит в цилиндре, ось которого совпадает с осью  $Z$  цилиндрической системы координат (рис. 3.47) [12]. Плотность тока имеет единственную составляющую по оси  $Z$  и ввиду аксиальной симметрии зависит только от расстояния от оси:  $d_z = d_z(r)$ . Тогда, применяя закон полного тока к окружности радиуса  $r$  можно определить напряженность магнитного поля.

При условии симметрии задачи, можно найти единственную составляющую напряженности магнитного поля [12]:

$$H_a = 1/r \int_0^r d_z r dr, \quad \text{откуда } d_z = \frac{H_a}{r} + \frac{\partial H_a}{\partial r}.$$

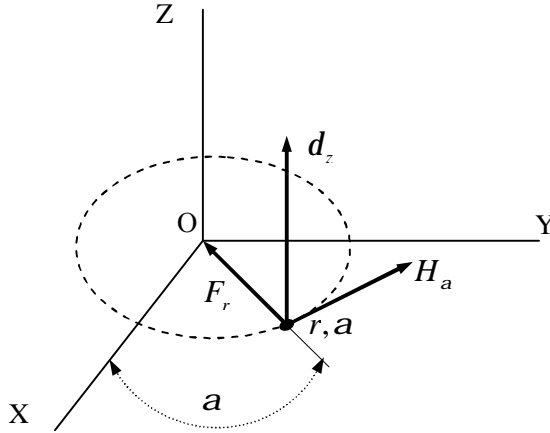


Рис. 3.47. Разряд в цилиндрической системе координат.

Сила, действующая на единицу объема, находящегося на расстоянии  $r$  от оси равна [12]:

$$\vec{F} = m[\vec{d}\vec{H}], \quad (3.28)$$

где  $\vec{d} = i/d\vec{S}$  плотность тока, который протекает в объеме  $dV = dl d\vec{S}$ .

Сила  $\vec{F}$  имеет единственную радиальную составляющую, направленную к оси Z

$$F_r = m d_z H_a = m \left( \frac{H_a^2}{r} + H_a \frac{\partial H_a}{\partial r} \right). \quad (3.29)$$

Под действием этой силы все заряженные частицы приобретают составляющую скорости в направлении к оси Z.

Поэтому давление газа возрастает по мере приближения к оси. В равновесном состоянии давление газа будет уравниваться действием сил от магнитного влияния, тогда можно записать

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -F_r = -\left(\frac{H_a^2}{r} + H_a \frac{\partial H_a}{\partial r}\right),$$

откуда после интегрирования

$$p = p_0 - m \int_0^r \frac{H_a^2}{r} dr - m \frac{H_a^2}{2}, \quad (3.30)$$

здесь  $p_0$  - давление на оси, так как при радиусе  $r = 0$  напряженность поля  $(H_a)_{r=0} = 0$ .

Такое распределение давления влечет за собой увеличение плотности тока по мере приближения к оси  $Z$ . Таким образом, магнитное поле тока разряда концентрирует разряд около оси. Движение заряженных частиц к оси приведет к возрастанию плотности частиц у оси, пока оно не скомпенсируется диффузией, направленной от оси и обусловленной градиентом плотности. Это явление мы можем наблюдать на компьютерной модели (рис. 3.48), а также на приведенных выше рисунках (рис. 3.16, 3.22 в, д, 3.24, 3.39).

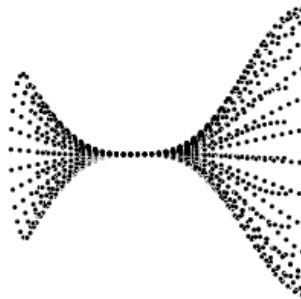


Рис. 3.48. Эффект сжатия шнура тока в канале разряда магнитным полем (компьютерная модель).



Если рассматривать канал электрического разряда как *некий цилиндр*, то имеет место еще один эффект. Кроме эффекта сжатия существует еще одно явление – *обратный поверхностный эффект* [12]. Если газ ионизирован внутри цилиндра радиуса  $r_a$  и двумя круглыми плоскими электродами  $Z = \pm Z_a$  (рис. 3.49).

При подключении постоянного напряжения к электродам между ними создается электрическое поле с напряженностью  $\vec{E}$ , но устанавливающийся ток из-за обычного поверхностного эффекта пойдет лишь в тонком слое у боковой поверхности цилиндра. Возникает магнитное поле и с ним сила, действующая на газ в направлении к оси  $Z$ . Движение газа со скоростью  $\vec{v}$  в магнитном поле создает дополнительное электрическое поле напряженностью  $\vec{E}_u = [\vec{v}\vec{B}]$ , направленное против внешнего поля. При сжатии магнитным полем, температура газа растет по мере приближения к оси. Это влечет за собой дополнительное увеличение градиента давления, а, следовательно, скорость  $\vec{v}$  растет по мере приближения к оси.

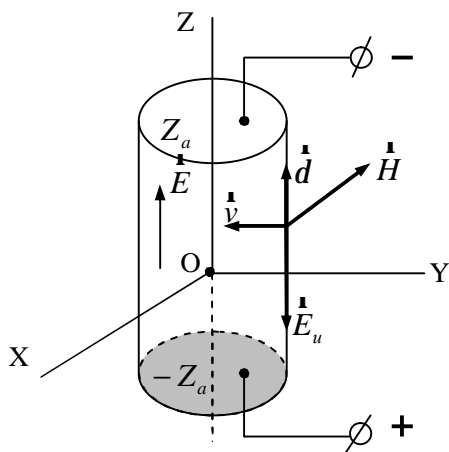


Рис. 3.49. Ионизированный газ внутри цилиндра.

Поэтому встречное индуктированное поле  $\overset{1}{E}_u$  также растет с уменьшением расстояния от оси, а результирующее поле оказывается наименьшим на оси. Соответственно этому плотность тока будет наибольшей на оси, а по мере приближения к боковой поверхности цилиндра уменьшаться. В этом и заключается явление *обратного поверхностного эффекта* [12].

Подведем некоторые *итоги* этой главы. В третьей главе были подробно рассмотрены вопросы *формы и траектории движения электрических зарядов при электрическом разряде в воздухе*. Экспериментальные исследования движения электрических разрядов, проведенные в лабораторных условиях, показали, что они носят *спиралеобразный характер* вдоль *пути следования* от одного электрода к другому.

Чтобы убедиться в этом в параграфе 3.2 был приведен широкий спектр экспериментальных фотографий, полученных при видеосъемке электрических разрядов в воздухе. Для этого необходимо было выполнить специальные условия, а, именно, видеосъемка должна была проводиться *в трех осях координат X, Y, Z: при горизонтальном, вертикальном и осевом расположении* видеокамеры.

Обычно фотографируя электрические разряды, например, молнию, мы можем наблюдать *только плоскую* картину явления. Видеосъемка же с трех ракурсов позволила показать траекторию движения зарядов сразу в трех плоскостях. Если заряды двигаются *по прямой* линии, *в какой-то из плоскостей*, то на фотографиях в зоне электрических разрядов можно было бы наблюдать *только прямые* линии. В противном случае, вдоль любого направления перемещения зарядов можно ожидать *кривую* линию, причем, как в *горизонтальной* плоскости, так и в *вертикальной* плоскости.

Эксперименты показали, что это так. А из этого следует вывод, что заряды *перемещаются по спиральным траекториям*, поскольку невозможно представить, чтобы траектория движения электрических зарядов вдоль пути следования зарядов является

прямолинейной, если она криволинейна одновременно в разных (*перпендикулярных*) плоскостях. Форма движения электрических зарядов по пути следования непосредственно в канале разряда также соответствует *спиралеобразной* линии. Это утверждение также подкрепляется представленным экспериментальным фотоматериалом.

В параграфе 3.3 были представлены некоторые компьютерные *модели траекторий движения* электрических зарядов при электрическом разряде в воздухе, которые во многом совпали с формой и траекториями движения зарядов, показанных на фотографиях в параграфе 3.2.

Для ответа на справедливый вопрос, *за счет каких сил* формируются указанные *траектории и формы движения зарядов вдоль траектории следования* при электрическом разряде в воздушном пространстве между металлическими электродами, которые мы так детально разобрали в параграфе 3.2, в параграфе 3.4 был подробно рассмотрен механизм распространения электромагнитной волны при электрическом разряде.

Было выяснено, что при распространении электромагнитной волны в заземленном вибраторе, которым можно считать межэлектродный промежуток, в канале электрического разряда образуются области, вызывающие *пучности и узлы* электрического и магнитного поля.

Причем, во время электрического разряда, у *отрицательного электрода*, всегда образуется *пучность магнитного поля* отрицательных зарядов, что приводит к появлению мощного *магнитного полюса* на этом электроде. У *положительного электрода* образуется *пучность магнитного поля* положительных зарядов, образуя *дополнительный магнитный полюс* из положительных зарядов. В средней части образуется узел магнитной напряженности, где магнитное поле имеет значение напряженности близкое к нулю.

Описанные процессы приводят к тому, что в межэлектродном пространстве образуется *дополнительное магнитное неоднородное поле*. Таким образом, на одном из

электродов, например, заземленном или отрицательном электроде образуется «южный» магнитный полюс, а на другом положительном электроде «северный» полюс, тогда как в средней части канала разряда магнитное поле близко к нулю. Создание такого *неоднородного магнитного поля вдоль оси разряда* как раз и приводит к тому, что заряды начинают двигаться *по спирали*, постепенно ускоряясь, точно также как это было показано во второй главе.

Чтобы экспериментально показать образование магнитных полюсов на электродах, в параграфе 3.4 приведены фотографии, выполненные из видеосъемки движения магнитной стрелки в изолированном от электрического поля стакане Фарадея. Эти фотографии позволяют увидеть *отклонение магнитной стрелки* при повышении электрического потенциала на положительном электроде или электрической напряженности в межэлектродном зазоре вплоть до наступления электрического пробоя. Отклонение магнитной стрелки как раз и подтверждает факт формирования магнитных полюсов на электродах.

Подобно магнитному полю, в канале разряда образуются пучности и узлы электрического поля. Причем, если узлы электрического поля приходятся на электроды, то пучности (ЭП мах) формируются в основном в *средней части* межэлектродного промежутка.

Наибольшее значение пучность электрического поля достигает в *первой гармонике* приблизительно на *середине* межэлектродного участка. Такое поведение зарядов можно объяснить не только той причиной, что в этой средней части канала разряда встречаются два встречных потока из положительных и отрицательных зарядов, но и встречаются *две отраженные волны* положительных и отрицательных зарядов. Это обстоятельство вызывает всплеск и выброс заряженных частиц, подобно тому, как мы могли наблюдать на фотографиях электрических разрядов (рис. 3.11, 3,12).

Многие *другие гармоники* могут складываться на пути движения зарядов и *образовывать дополнительные резонансные области*, где также образуются стоячие волны (рис. 3.16). На

этом рисунке хорошо видны *уплотнения белого цвета*. Точно такие же уплотнения можно наблюдать и на фотографиях реальных молний (рис. 3. 43).

Итоги этой главы позволяют сделать важное заключение. Основной *причиной резкого увеличения магнитного поля у поверхности Земли* или создание *дополнительных магнитных полюсов*, которой мы объясняли явление «*торнадо*» во второй главе, является наличие высокой разности потенциалов между Землей и грозовой тучей при образовании молнии. Поскольку у поверхности Земли и в самой грозовой туче появляется высокий электрический потенциал, то в верхних слоях будет образовываться магнитный полюс одной полярности, а у поверхности Земли другой полюс противоположной полярности, например, *южный* или *северный полюс*. Теперь суть явления «*торнадо*» становится достаточно ясной.

Образование *спиральной формы траектории движения электрических зарядов при наличии электрического потенциала между двумя областями пространства*, позволяет объяснить многие явления и в природе, в том числе рост и развитие растений, которые были рассмотрены в первой главе.

Поскольку в земной атмосфере всегда существует разность потенциалов (глава 2), то все растения и деревья подвергаются воздействию электрического и магнитного поля Земли. Но кроме основного магнитного поля Земли возникает и *дополнительное магнитное поле* в районе произрастания растения или дерева. Этим обстоятельством во многом и объясняется *спиралеобразный характер развития растения или дерева*, фотографии которых были представлены в первой главе.

Кроме того, поскольку в течение дней, месяцев или лет, *величина электрической напряженности* меняется, то, следовательно, меняется и величина магнитной напряженности в зоне произрастания объекта, а это в свою очередь вызывает неодинаковый угол закручивания веток деревьев или цветков относительно оси дерева или цветка. В дополнение к сказанному, пучности и узлы электрического и магнитного поля позволяют формировать уровни нахождения веток на стволе

дерева и разветвленность самих веток. Вот почему мы видим что высота, на которой находятся ветки, различна для одного и того же дерева. Таким образом, различие электрической и магнитной обстановки во времени во многом определяет рост и развитие флоры, а возможно и фауны на Земле, в том числе и человека с его *спиральной* молекулой ДНК, которую мы показали в первой главе.

Проведенный в этой главе анализ траекторий и форм перемещения электрических зарядов, представленные эксперименты и осознание движения электрических зарядов под воздействием электрического и магнитного поля как *спиралеобразного* движения, дало возможность подойти к открытию *нового механизма генерации электрического тока в неподвижном проводнике в постоянном магнитном поле*. Только в этом случае, постоянное магнитное поле формируется особым способом. Подробному описанию механизма генерации электрического потенциала и областям применения *эффекта генерации* посвящена следующая глава.

## ГЛАВА 4. ЭФФЕКТ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В НЕПОДВИЖНОМ ПРОВОДНИКЕ В СПИРАЛЕОБРАЗНОМ ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ.

В предыдущих главах были подробно рассмотрены траектории движения заряженных частиц в электрическом и магнитном поле в вакууме или в воздухе. Возникает справедливый вопрос, возможно ли такие же траектории движения создать в проводнике? Иначе говоря, действуют такие же закономерности и в проводнике? И другой вопрос, можно ли так сформировать *постоянное* магнитное поле, чтобы получить *перемещение* заряженной частицы или создать электрический ток *внутри неподвижного проводника*?

Для этого необходимо проанализировать некоторые особенности постоянного магнитного поля вокруг проводника и движение заряженных частиц внутри проводника. Обобщая вышеизложенный материал, можно выделить некоторые основные положения, позволяющие перейти к описанию экспериментов, подтверждающих возможность создания электрического потенциала *в неподвижном проводнике*, который помещается *в спиралеобразное постоянное магнитное поле*. Вот основные положения.

1. Электрический ток – это движение электронов от наибольшей их концентрации к наименьшему скоплению. В атоме электроны движутся по разным орбитам и находятся на разных энергетических уровнях. Чем ближе к ядру атома, тем крепче электрон связан с ядром атома и наоборот. Электроны дальних орбит слабо связаны с ядром и могут покидать атом. Эти электроны называют свободными.

2. Свободные электроны при определенной температуре находятся в хаотическом состоянии. В любом проводнике, на концах его можно замерить малую переменную ЭДС – эффект Джонсона, ибо нельзя представить себе, чтобы один и тот же электрон в одно и тоже время находился на двух концах проводника.

3. Магнитное поле вокруг проводника с постоянным магнитным полем представляет собой *спиралеобразную конфигурацию* (опыты Эрстеда, параграф 2.3). Постоянное магнитное поле влияет на движущийся свободный электрон. В этом случае электрон может начать движение по спирали вокруг магнитной силовой линии под действием силы Лоренца (условно от северного полюса к южному полюсу), вследствие чего можно ожидать возникновение постоянной электродвижущей силы (э. д. с.).

4. В классической электродинамике используется *макроперемещение*, т. е. видимое перемещение конструктивных элементов машин и механизмов, но не всегда учитывается *микроперемещение*, т. е. не видимое невооруженным глазом движение микрочастиц. Поскольку микрочастицы находятся в постоянном движении, то почти все законы макромира можно применить и к микромиру. Например, если на неподвижный, с точки зрения макромира проводник, воздействовать постоянным магнитным полем, то можно заставить электроны в нем двигаться определенным образом.

5. В металлах имеются два вида электронов: валентные, которые тесно связаны атомами кристаллической решетки, и свободные, которые находятся в хаотическом движении и свободно перемещаются между атомами кристаллической решетки, блуждая по всему объему материала. Концентрация свободных электронов в металле велика порядка  $10^{28} - 10^{29} \text{ м}^3$ . Если к металлу приложить напряжение, то свободные электроны получают направленное движение и переносят свой заряд, таким образом, металлы становятся электрическими проводниками.

#### **4.1. Еще раз о движении заряженной частицы в постоянном магнитном поле и силе Лоренца.**

Для того чтобы исключить расхождение в понимании термина «заряженная частица», введем определение этому



понятию. Под заряженной частицей в общем случае следует понимать любую частицу, обладающую некоторым зарядом  $q$ , причем как со знаком «плюс», так и со знаком «минус».

Так, если под заряженной частицей понимать электрон, то его заряд будем обозначать  $q_e$ . Принято считать, что этот *элементарный* заряд обладает отрицательным знаком заряда и численно равен  $q_e = 1,601 \cdot 10^{-19} \text{К}$ , а масса электрона равна  $m_e = 0,91 \cdot 10^{-27} \text{г}$  [4]. Точно таким же по величине зарядом обладает и протон в атоме водорода, но противоположного знака. Существует еще целый ряд элементарных частиц, образующиеся при столкновении электронов с ядрами атомов, время жизни которых весьма невелико. Эти частицы также обладают некоторой величиной заряда, соотнесенной к заряду электрона. Наконец, существуют еще один тип зарядов - положительные и отрицательные *ионы*, которые образуются в результате потери внешних электронов атомов вследствие различных физических или химических реакций.

Как видим, термин «заряженная частица» является наиболее широким и общим понятием по сравнению с элементарным зарядом электрона и поэтому в дальнейшем изложении материала все те свойства, относящиеся к элементарному заряду электрона, может быть применены и к другим вышеперечисленным частицам.

Нас интересует движение заряженной частицы *в постоянном магнитном поле*. Если за такую частицу принять электрон, то, как известно, при нахождении его в магнитном поле на электрон будет действовать сила Лоренца, которая численно равна [5]

$$\vec{F}_L = q_e [\vec{v} \cdot \vec{B}], \quad (4.1)$$

где  $q_e$  - заряд электрона,  $\vec{v}$  - скорость движения электрона,  $\vec{B}$  - магнитная индукция магнитного поля.

На рис. 4.1 показано направление действия силы Лоренца на электрон, движущийся в постоянном магнитном поле, если учитывать знак силы и знак электрона [13].

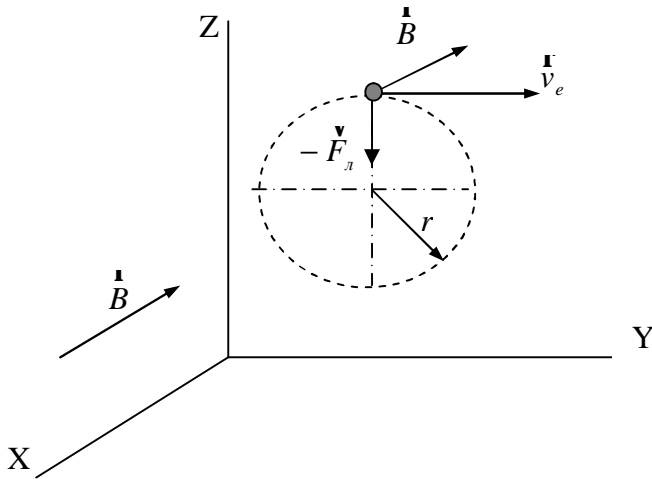


Рис. 4.1 Направление действия силы Лоренца на электрон.

Как видно из рисунка, сила Лоренца является центробежной силой и направлена перпендикулярно скорости  $\vec{v}$ . Сила Лоренца изменяет только направление скорости, не меняя ее величину. Электрон будет двигаться по окружности радиуса  $r$  с угловой частотой  $\omega_c$ , которую называют *циклотронной частотой*. Центробежное ускорение можно определить по формуле Ньютона как силу  $F_L$ , деленную на массу электрона  $m_e$  [13]

$$\frac{v^2}{r} = \frac{q_e \cdot v \cdot B}{m_e}, \quad (4.2)$$

Из выражения (2) следует, что радиус вращения электрона равен

$$r = \frac{v \cdot m_e}{B \cdot q_e}, \quad (4.3).$$

Время обращения электрона вокруг окружности радиуса  $r$ , или период будет равняться

$$T = \frac{2 \cdot p \cdot r}{v} = \frac{2 \cdot p \cdot m_e}{B \cdot q_e}, \quad (4.4)$$

Откуда следует, что циклотронную частоту можно определить как

$$\omega_{ц} = \frac{2 \cdot p}{T} = \frac{B \cdot q_e}{m_e}, \quad (4.5)$$

Рассмотрим движение заряженной частицы в неизменном во времени (постоянном) магнитном поле, когда скорость электрона *не перпендикулярна* силовым магнитным линиям. Для этого проведем анализ поведения заряженной частицы (например, электрона) *в трех случаях*: в первом электрон будет двигаться *в равномерном* поле, во втором *в неравномерном* поле и в третьем *в неравномерном спиралеобразном* магнитном поле.

1. Движение *в равномерном* магнитном поле. На рисунке 4.2 показано движение электрона в равномерном магнитном поле, когда электрон движется под некоторым углом  $\alpha$  к направлению магнитной индукции  $\vec{B}$ . Если разложить скорость движения электрона  $\vec{v}_e$  на две составляющие: одну, перпендикулярную к силовой магнитной линии  $\vec{B}$  -  $\vec{v}_2$  и другую, направленную вдоль направления силовой магнитной линии  $\vec{B}$  -  $\vec{v}_1$ , то получим следующую картину [13]

Составляющую скорости электрона  $\vec{v}_1$ , ориентируемую вдоль направления магнитной индукции  $\vec{B}$  можно определить из треугольника скоростей, численно она равна

$$v_1 = v_e \cdot \cos a , \quad (4.6)$$

а перпендикулярную составляющую скорости  $\vec{v}_2$ , можно вычислить как

$$v_2 = v_e \cdot \sin a , \quad (4.7)$$

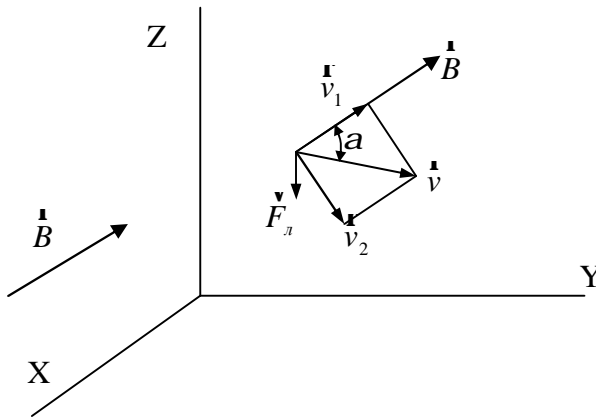


Рис. 4.2. Электрон движется под углом  $a$  к направлению магнитной индукции.

Так как угол между векторами  $\vec{v}_1$  и  $\vec{B}$  равен нулю, то наличие составляющей  $\vec{v}_1$  не вызывает появления силы воздействия на электрон в силу формулы (1). Электрон начнет движение со скоростью  $\vec{v}_2$  вокруг магнитной силовой линии  $\vec{B}$  под действием силы Лоренца, подобно тому, как это показано на рис. 4.1. В этом случае электрон будет перемещаться по *спиралеобразной* траектории, осевой линией которой является линия магнитной индукции, это показано на рис. 4.3. Говорят электрон «накручивается» на магнитную силовую линию. Такое поступательное и одновременно вращательное движение еще иногда называют «*дрейфом электрона*» [13].

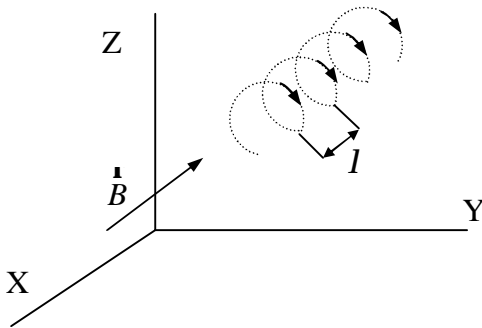


Рис. 4.3. Движение электрона в равномерном магнитном поле.

Радиус образованной спирали можно вычислить по формуле (4.3), т. е.  $r = \frac{v_2 \cdot m_e}{B \cdot q_e}$ , а шаг спирали  $l$  можно подсчитать исходя из периода обращения электрона и скорости  $v_1$

$$l = T \cdot v_1 = \frac{2 \cdot p \cdot m_e}{B \cdot q_e} \cdot v_1. \quad (4.8)$$

2. Движение в *неравномерном* магнитном поле. Если магнитное поле неравномерно, например, сгущается, то при движении по спирали электрон будет попадать в точки поля, где индукция  $B$  увеличивается. Тогда, чем больше индукция, тем при прочих равных условиях меньше радиус спирали (3). Дрейф электрона будет происходить с все уменьшающимся радиусом, а угловая скорость вращения электрона будет возрастать. Подобную картину можно представить, если обратиться к рисунку 4.4 [13].

На практике создать сгущающееся магнитное поле несложно. Для этого можно использовать, например, тороидальную катушку, в которой магнитные силовые линии сгущаются в центральной оси тора. Если бы электрон попал в

расходящееся магнитное поле с уменьшающейся индукцией, то электрон описывал бы расходящиеся окружности.

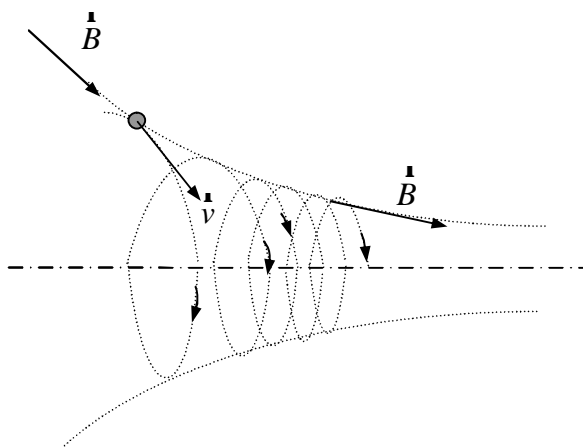


Рис. 4.4. Движение электрона в неравномерном сгущающемся магнитном поле.

3. Движение электрона в *неравномерном постоянном спиралеобразном* магнитном поле. Этот случай движения наиболее сложный и требует более тщательного разъяснения. В предыдущих случаях были рассмотрены движение заряженных частиц в постоянном равномерном и неравномерном магнитном поле.

В классической электродинамике обычно используется *макроперемещение*, т.е. видимое перемещение конструктивных элементов машин и механизмов, но не всегда учитывается *микроперемещение*, т. е. не видимое невооруженным глазом движение микрочастиц. Поскольку микрочастицы находятся в постоянном движении, то все законы макромира можно применить и к микромиру.

Например, если *на неподвижный, с точки зрения макромира проводник*, воздействовать постоянным магнитным полем, то можно заставить электроны в нем двигаться определенным образом. В металлах имеются два вида

электронов: валентные, которые тесно связаны с атомами кристаллической решетки, и свободные, которые находятся в хаотическом движении и свободно перемещаются между атомами кристаллической решетки, блуждая по всему объему материала. Концентрация свободных электронов в металле велика – порядка  $10^{28}$  -  $10^{29} \text{ м}^3$ . Если к металлу приложить напряжение, то свободные электроны получают направленное движение и переносят свой заряд, таким образом, металлы становятся электрическими проводниками.

Для пояснения характера движения свободных заряженных частиц *в спиралеобразном магнитном поле*, создадим такое спиралеобразное магнитное постоянное поле и рассмотрим, как воздействует это поле на свободные электроны в металле.

*Искривить траекторию движения* электрона, заставив его двигаться в нужном направлении, можно с помощью влияния постоянного магнитного или электрического поля. Таким образом, для транспортировки электронов в нужном направлении могут применяться магнитное, электрическое поля или их совокупность.

Однако для отклонения электронов все же удобнее использовать *магнитное поле*, чем электрическое. И дело здесь не в различии направления действия силы. Главное, что для придания электронам заметного отклоняющего импульса требуются весьма большое электрическое поле и относительно умеренное магнитное.

Магнитное поле направляет частицы, перпендикулярно как их скорости, так и самому полю, например, для частиц, движущихся в *прямолинейном равномерном* магнитном поле, это движение будет таким, как представлено на рис. 4.3 и 4.5.

Поместим металлический проводник 1 *в спиралеобразное постоянное магнитное поле*, образованное магнитопроводом 2, выполненный в виде спирали и на который навита соленоидальная катушка возбуждения 3, по которой течет ток возбуждения  $I_g$ , рис. 4.6.

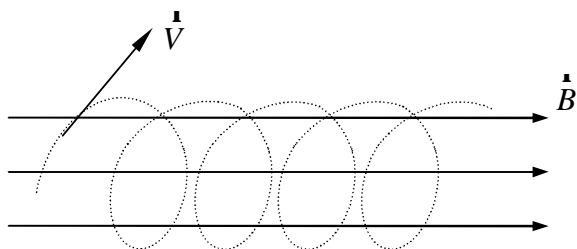


Рис. 4.5. Движение заряженной частицы в *прямолинейном*, постоянном магнитном поле.

Если металлический проводник поместить в спиралеобразное постоянное магнитное поле, то *свободные электроны в металле могут получить возможность направленного движения*. В этом случае металлический проводник может стать *источником* электрической энергии, поскольку направленное движение электронов и есть электрический ток (рис. 4.6).

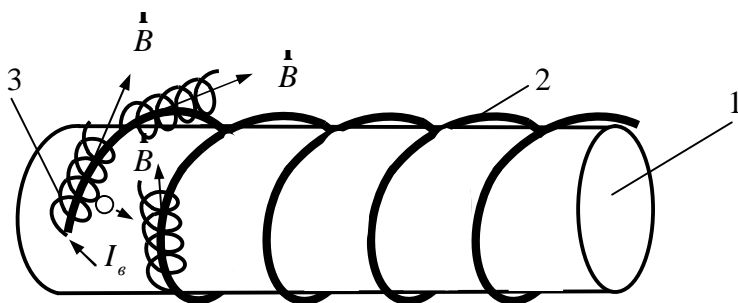


Рис. 4.6. Металлический проводник в спиралеобразном магнитном поле

Покажем, почему такое событие может произойти. Для этого рассмотрим составляющие вектора магнитной индукции и векторы скорости, которые образуются при таком конфигурировании магнитного поля. В произвольной точке в



каждый момент времени  $t_i$  вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  будет направлен по касательной к окружности проводника, и его траектория будет представлять собой кривую, которая описывает *спиралеобразную* кривую вокруг проводника (рис. 4.6).

Тогда общее направление перемещения заряженной частицы в спиралеобразном магнитном поле будет *квазипрямолинейным*, как это показано на рис. 4.7.

Пусть  $q$  — заряд электрона,  $V_{\perp}$  — составляющая скорости электрона, перпендикулярная магнитному полю,  $\vec{B}$  — магнитная индукция,  $F_L$  — сила Лоренца перпендикулярна как составляющей  $\vec{V}_{\perp}$ , так и вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ .

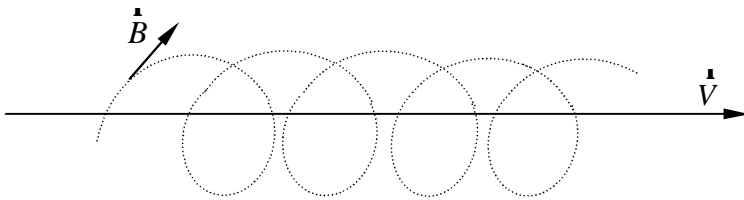


Рис. 4.7. Направление движения свободного электрона в *спиралеобразном* постоянном магнитном поле.

Если направление скорости электрона параллельно вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ , то сила Лоренца равна нулю,  $F_L = 0$ , и электрон свободно движется вдоль магнитного поля (рис. 4.8). Если же скорость движения электрона  $\vec{V}_{\perp}$  перпендикулярна силовым магнитным линиям  $\vec{B}$ , то сила Лоренца действует в направлении, перпендикулярном скорости движения, и сообщает частице массой  $m$  нормальное ускорение  $a_H$ . В этом случае сила Лоренца определяется формулой (4.1) или  $F_L = m \cdot a_H = q \cdot V_{\perp} \cdot B = m \cdot V_{\perp}^2 / R$  не равна нулю.

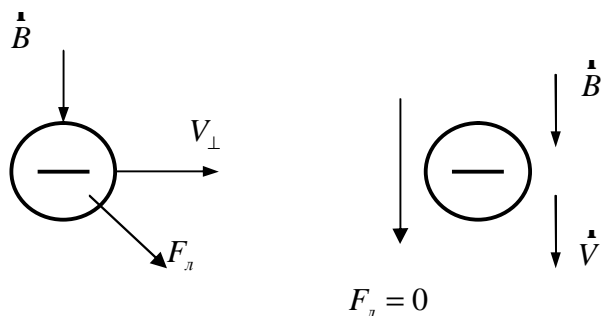


Рис. 4.8. Сила Лоренца при движении электрона перпендикулярно и параллельно направлению силовых линий магнитной индукции.

В общем случае, когда скорость частицы направлена под произвольным углом к направлению магнитного поля, одно движение накладывается на другое и частица движется по спирали. Заряженные частицы как бы нанизываются на силовые линии магнитного поля и сохраняют способность свободно передвигаться только в направлении вдоль силовой линии рис. 4.3, 4.5.

Таким образом, расположив вокруг металла спиралеобразное постоянное магнитное поле (рис. 4.6), мы создали следующую обстановку:

- направили магнитный поток по траектории силы Лоренца, т. е. совместили направление силовой магнитной линии с направлением движения электрона, что привело к тому, что сила Лоренца стала равна нулю рис. 4.8. В идеале, наилучшим вариантом в данном случае будет тот, когда радиус закручивания магнитного потока будет равен лармонову радиусу (см. формулу 2.15, глава 2);

- исключили торможение магнитным полем продвижения заряженной частицы (электрона) и заставили его двигаться по квазипрямой линии на расстоянии лармоновского радиуса от огибающей спирали;

- уменьшили длину пробега электрона за счет изменения траектории движения электрона со спиралеобразной траектории, на квазипрямое направление движения рис. 4.7.

Итак, мы создали картину *конфигурации* магнитного поля вокруг проводника подобно тому, как это происходит в случае прохождения постоянного электрического тока в атмосфере (глава 2), т. е. отвечающей истинной конфигурации магнитного поля, *как спиралеобразной* силовой линии (согласно изложенному выше материалу). Такое представление соответствует физической сущности магнитного потока, основанной на электронном строении, взгляда на проводник как на динамичную систему с постоянно движущимися свободными электронами. Кроме этого, это согласуется и с релятивистским представлением об относительности движения.

Еще раз напомним, что согласно квантовой теории, магнитное поле, возбуждаемое *спиновыми моментами* частиц, аналогично полю движущихся электрических зарядов и может быть сведено к полю электрических токов, определенным образом распределенных в пространстве. Поэтому во всех случаях, кроме возбуждения магнитного поля переменным электрическим полем, можно считать, что источник магнитного поля – движение заряженных частиц внутри проводника. Поскольку действие изменяющегося электрического поля также рассматривается как действие электрического тока – тока смещения, поэтому следует всегда считать, что источником магнитного поля является электрический ток.

#### **4.2. Основные схемы получения эффекта генерации электрического потенциала в неподвижном проводнике.**

Впервые схему получения электрического потенциала в проводнике, находящемся в *постоянном спиралеобразном магнитном поле* предложил в 1996г Б. П. Бусыгин в работе [14]. Чтобы практически создать спиралеобразное магнитное поле и получить постоянный электрический потенциал,

достаточно изогнуть *в спираль* магнитопровод 2 и намотать на него соленоид 3. После этого подключить соленоид к источнику постоянного напряжения  $E$ , а внутрь спиралеобразного магнита поместить проводник из металла 1, рис. 4.9. Гальванометр  $G$  измеряет потенциал, образующийся на концах проводника.

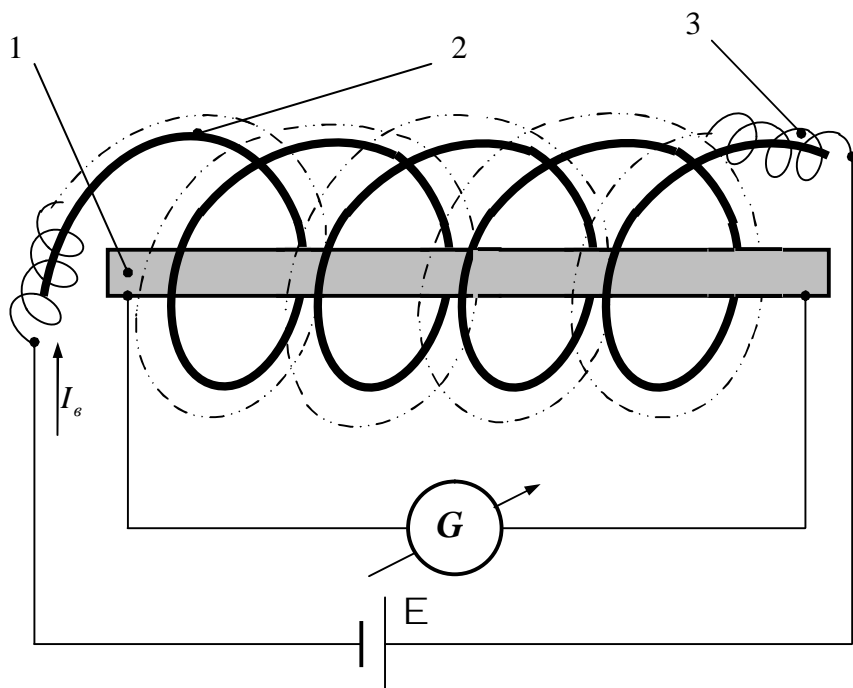


Рис. 4.9. Металлический проводник в спиралеобразном магнитном поле. 1- проводник, 2 – магнитопровод, 2 – соленоид.

Абсолютная величина постоянной э. д. с. проводника не зависит от способа намотки спиралеобразного электромагнита (С.Э.М.). Направление тока, индуцируемого в проводнике 1, зависит только от направления тока в обмотке возбуждения 3 -  $I_0$  при одной и той же величине намагничивающей силы С.Э.М.

Изменение магнитной полярности С.Э.М. приводит к изменению электрической полярности проводника. В случае использования в качестве проводника 1 спиралеобразного проводника с обмоткой, то электрический потенциал может меняться и по величине.

Так, при намотке обмотки спиралеобразного электромагнита по часовой стрелке и намотке С.Э.М. на основной проводник также по часовой стрелке при прочих равных условиях в основном проводнике индуцируется максимальная величина постоянной э. д. с.

Если направление намотки обмотки спиралеобразного электромагнита и направление намотки С.Э.М. на проводнике противоположны, то на проводнике постоянная электродвижущая сила значительно снижается.

Если на проводник намотаны два С.Э.М. с одинаковыми параметрами, то при противоположной их магнитной полярности электродвижущая сила (э. д. с.) проводника близка нулевому значению. Если на проводник намотаны два С.Э.М. с одинаковыми параметрами, причем один из них намотан на проводник по часовой стрелке с одной магнитной полярностью, а другой – против часовой стрелки, но с другой магнитной полярностью, постоянная электродвижущая сила (э. д. с.) на проводнике возрастает. При последовательном и параллельном соединении С.Э.М. электродвижущая сила на проводнике возрастает пропорционально количеству С.Э.М.

*Описанный способ создания электрического потенциала в проводнике, расположенном в спиралеобразном магнитном поле, обладает одним существенным **недостатком**, а, именно, индуцируемый электрический потенциал весьма мал и неочевиден, поэтому его довольно сложно зафиксировать. Такой эффект граничит с эффектом, возникающим при соединении проводников из разных материалов, т. е. по - сути является аналогом *контактной* электродвижущей силы. Поэтому чтобы измерить этот потенциал и доказать, что электрический потенциал возникает за счет *спиралеобразной конфигурации* постоянного магнитного поля, требуется не только высокоточная*

аппаратура, но и довольно тщательная подготовка при проведении экспериментов для исключения влияния внешних магнитных и электрических полей.

Более значительных величин электрического потенциала в неподвижном проводнике можно достичь, если применить способ впервые предложенный В.В. Горшиным в 2007г. [15]. Схема соединения проводника, и обмотки возбуждения спиралеобразного магнитного поля, реализующая данный способ представлена на рис. 4.10.

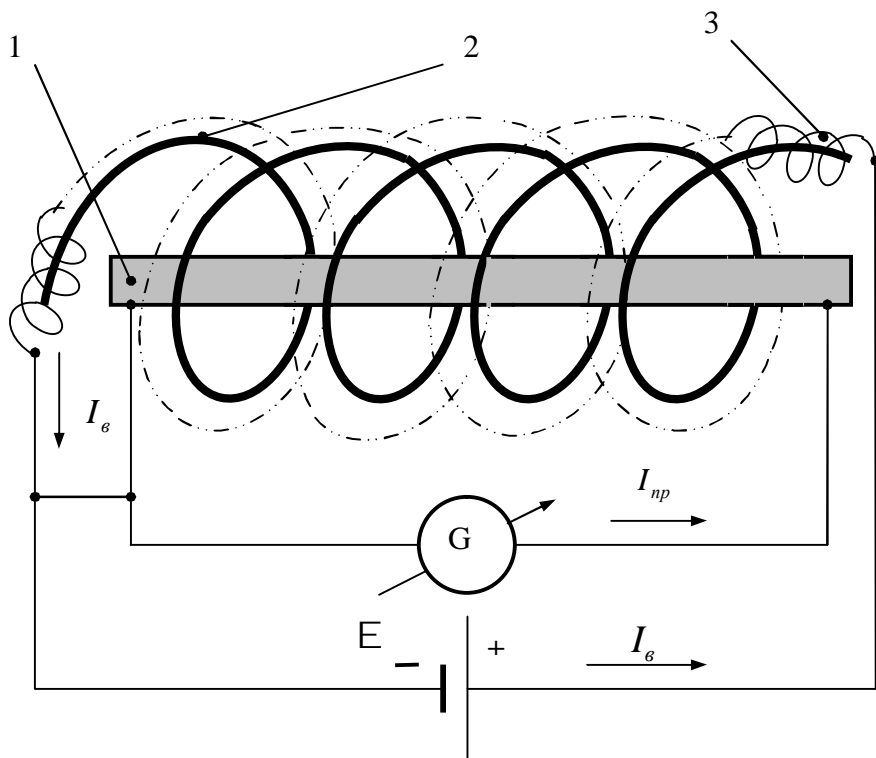


Рис. 4.10. Схема получения электрического потенциала в спиралеобразном магнитном поле. 1 – проводник, 2 – магнитопровод, 3 – обмотка возбуждения

Такая схема создания электрического потенциала в спиралеобразном магнитном поле обладает рядом преимуществ по сравнению со схемой, изображенной на рис. 4.9. Главным достоинством схемы (рис. 4.10), следует считать получение более существенных значений электрического потенциала по сравнению со схемой (рис. 4.9), а, следовательно, дает возможность легкой фиксации потенциала *обычными* измерительными приборами, без использования высокоточной аппаратуры. Это означает, что при использовании такой схемы подключения проводника, в котором индуцируется электрический потенциал, эффективность действия магнитного *спиралеобразного* поля сильно возрастает. Например, в экспериментах по схеме рис. 4.9. достигнуты значения индуктированного тока всего  $(9 \div 13,5) \cdot 10^{-7}$  мкА, а в схеме, представленной на рис. 4.10,  $(100 \div 200) \cdot 10^{-7}$  мкА и более, т. е. в  $10 \div 20$  раз и больше. Такое значительное увеличение электрического тока требует специального пояснения и может быть объяснено целым рядом особенностей взаимодействия электрического и магнитного поля.

Основным и главным отличием схем индуцирования электрического тока в проводнике, помещенным в спиралеобразное постоянное магнитное поле, следует считать то, что *в схеме, предложенной В.В. Торшиным, совмещаются в пространстве одновременно два поля, а именно, электрическое и магнитное поле.*

Для того чтобы представить такую физическую картину обратимся вначале к электрической схеме замещения данного генератора постоянного тока, она показана на рис. 4.11. Как видно из рисунка 4.11 (схема 1)) металлический проводник 1, обмотка возбуждения 2, гальванометр **G** и источник постоянного напряжения **E** имеют общую линию соединения *a - b*, образуя два контура **A** и **B**. В контуре **A** протекает индуцированный ток проводника  $I_{np}$ , фиксируемый гальванометром **G**, а в контуре **B** ток спиралеобразной обмотки возбуждения  $I_{ос}$ . Поскольку оба контура независимы друг от

друга в электрическом отношении, ток в проводнике  $I_{np}$  в контуре **A**, не может быть образован источником постоянного напряжения  $E$ .

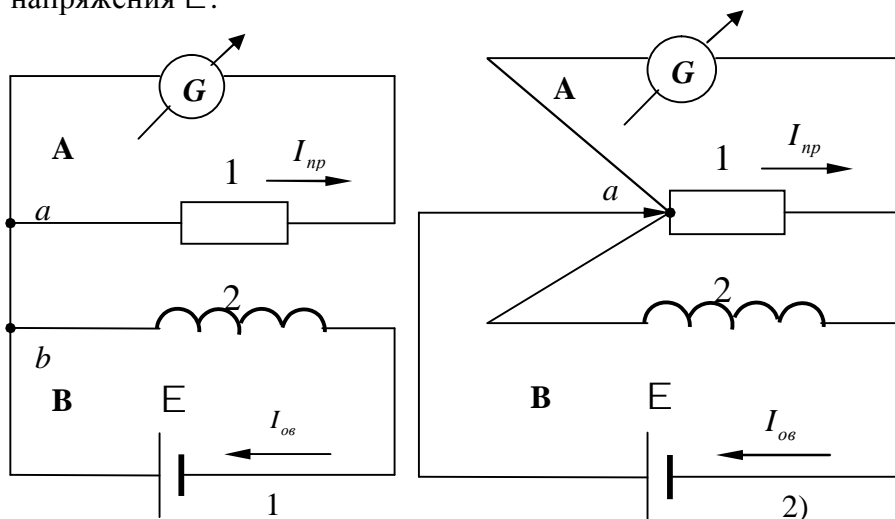


Рис. 4.11. Схема замещения генератора постоянного тока  
1 – проводник, 2 – обмотка возбуждения.

Схема замещения 2) отличается от схемы 1) отсутствием перемычки  $a - b$ . Все провода соединяются на проводнике 1 в одной точке  $a$ . В электрическом отношении контур тока **A** и контур тока **B** в этой схеме также независимы. Однако показания гальванометра в первой и второй схемах значительно отличаются.

Если в первой схеме 1) при изменении напряжения источника питания  $E$  от 0 до 12 вольт показания гальванометра близки к нулю (3-5 делений), то для схемы 2) показания гальванометра даже при напряжении 0,5 В уже составляет более 20 делений (цена одного деления шкалы гальванометра составляет  $4,5 \cdot 10^{-7}$  мкА).

В качестве перемычки используется медный многожильный проводник сечением  $0,5 \text{ мм}^2$  и длиной 8 мм.



Естественно возникает вопрос: *почему гальванометр G обнаруживает такие значения постоянного электрического тока в схеме 2), и не дает значительных отклонений стрелки гальванометра в схеме 1)?*

Для ответа на этот непростой вопрос рассмотрим более подробно картину возникновения постоянного электрического потенциала. Если в электрическом отношении оба контура имеют только *одну линию* соединения  $a - b$  (в схеме 1)) или одну точку  $a$  (схема 2)) , то в магнитном отношении эта взаимосвязь *двухсторонняя*. Действительно, если внимательно посмотреть на рис. 4.10, то нельзя не заметить, что проводник 1 полностью охвачен *спиралеобразным* магнитопроводом 2 с обмоткой возбуждения 3.

Как уже не раз отмечалось, создание спиралеобразного постоянного магнитного поля заставляет электроны проводника ориентироваться вдоль проводника определенным образом, а именно, по квазипрямой линии (рис. 4.7). Когда мы останавливались на опытах Г.-Х. Эрстеда (глава 2), то обратили *особое внимание* на его замечание в части конфигурации магнитного поля вокруг проводника с постоянным электрическим током, как, возможно, тоже имеющего *улиткообразную (спиралеобразную)* форму. Тогда, учитывая оба отмеченных обстоятельства, можно предположить, что оба магнитных поля (*спиралеобразного* поля возбуждения и *спиралеобразного* поля проводника), образуют третье поле – электрическое поле движущихся зарядов, направленное вдоль проводника рис. 4.12.

Причем, начало электрического поля проводника (ток проводника  $I_{np}$ ) и поля возбуждения  $\overset{\cdot}{B}_{co}$  (тока возбуждения  $I_{os}$ ), совпадают в точке  $a$  - точке пересечения плоскости S первого витка и точки начала (*втекания*) электрического тока, образуя тем самым как бы «монополь» - *квазимонополь*.

На схеме 2) (рис. 4.11.), ток от источника сразу втекает в проводник (точка  $a$ ), помещенный в спиралеобразное магнитное поле. Это вызывает *мгновенное* образование

магнитного полюса проводника (северного  $N$  или южного  $S$ ), в зависимости от полярности источника тока).

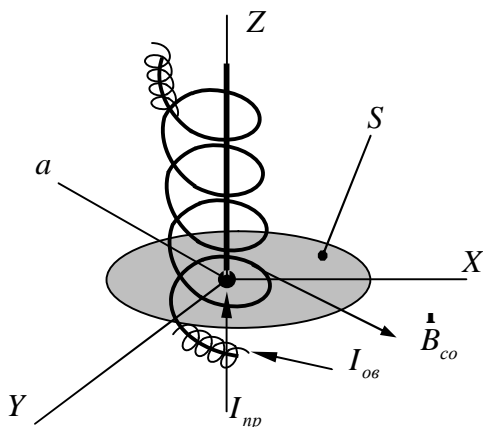


Рис. 4.12. Картина начала образования «квазимонополя» электрического и магнитного поля.

Поскольку магнитное поле проводника также спиралеобразно, как мы уже это показали ранее. Это поле мгновенно начинает воздействовать на электроны проводника, заставляя их перемещаться вдоль проводника, образуя тем самым электрический ток в проводнике  $I_{np}$ .

В схеме 1) (рис. 4.11), ток от источника, втекая в перемычку в точке  $b$ , воздействует своим магнитным полем только на точку  $b$  перемычки  $a - b$ , и не воздействует на проводник 1. Это означает, что магнитный полюс образуется в точке  $b$  перемычки (чистого проводника), а не проводника, помещенного в обмотку возбуждения, как это имеет место в случае с точкой  $a$ , т. е. в начале проводника 1, (схема 2).

Таким образом, действие любого источника постоянного тока подразумевает возникновение магнитного поля только в точке входа (втекания) тока в проводник. Это подтверждает замечательный вывод Г.-Х Эрстеда, сделанный два века тому

назад (!) о том, что «...отрицательная электрическая сила или вещество пробегает спираль, завитую вправо, и **отталкивает** северный полюс...» [7].

Что, переводя на современный язык, означает начало возникновения электрического и магнитного поля *только в точке входа тока* в проводник! Это и объясняет различие в показаниях гальванометра **G** в схемах 1) и 2).

Для подтверждения данного факта, изменим электрическую схему включения перемычки *a - b* (рис. 4.11.), и изобразим ее в виде, изображенном на рис. 4.13.

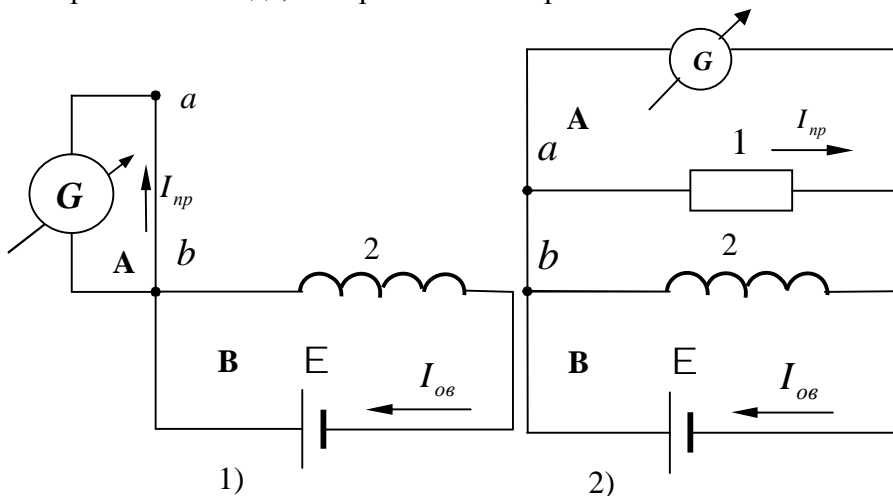


Рис. 4.13. Схема замещения проводника 1 перемычкой *a - b*.

На схеме замещения рис. 4.13, 1) проводник 1 отсутствует, поскольку проводник 1 удален из схемы 2). Теперь в роли проводника 1 выступает проволочная перемычка *a - b*. Остальные элементы схемы остались без изменений. Остается только ответить на вопрос: показывает ли ток гальванометр **G** в контуре «А»?

*Эксперимент дает положительный ответ на этот вопрос!* Ток действительно существует, только значение этого тока весьма невелико 1-2 деления шкалы гальванометра. Чем же

может быть объяснено существование тока  $I_{np}$  в замкнутом контуре **A**, который просто «висит или подвешен» в точке  $b$  к контуру **B**? Точка  $b$  находится под потенциалом источника  $E$ , ток в контуре **B** легко может быть вычислен по формуле Ома для электрической цепи.

$$I_{ov} = \frac{U}{r_{ov} + r_{вн}},$$

где  $U$  - напряжение источника  $E$ ,  $r_{ov}$  - сопротивление обмотки возбуждения,  $r_{вн}$  - внутреннее сопротивление источника  $E$ .

Ток  $I_{np}$  в контуре **A** может быть подсчитан по правилу Кирхгоффа следующим образом. Рассмотрим потенциалы точек контура **A**. Как известно, электрический ток течет от большего потенциала к меньшему потенциалу. Итак, пусть потенциал точки  $b$  равен  $j_b$ . При движении вдоль контура, допустим к точке  $a$ , потенциал точки  $a$  должен возрасти на величину  $I_{np} \cdot r_{ab}$ . При дальнейшем движении к гальванометру **G** потенциал возрастет еще на величину  $I_{np} r_{aG}$ .

Окончательно цепь замкнется опять в точке  $b$ , причем падение напряжения на этом участке составит  $I_{np} \cdot r_{Gb}$  и будет равно потенциалу точки  $b$ . Общее уравнение цепи контура **A** можно записать:

$$j_b - j_b = I_{np} \cdot r_{ab} + I_{np} r_{aG} + I_{np} \cdot r_{Gb},$$

откуда ток  $I_{np}$  в контуре **A** можно вычислить как:

$$I_{np} = (j_b - j_b) / (r_{ab} + r_{aG} + r_{Gb}) = 0.$$

Такой результат закономерен при любых классических электротехнических расчетах электрических цепей. Действительно, во-первых, в контуре нет источника тока, а, во-вторых, движение по контуру от точки к точке, имеющие одинаковые потенциалы (точка  $b$ ) не может вызвать никакого тока.

Таким образом, *экспериментальное подтверждение существования тока  $I_{np}$  в контуре А* может быть объяснено *только одной причиной: в точке касания (соприкосновения, входа, втекания) проводника или контура и присоединяемого к внешнему источнику тока или контуру внутри которого протекает электрический ток, мгновенно начинает распространяться действие активного источника постоянного тока или активного контура.*

*Особо подчеркнем, этот факт не столь очевиден, поскольку присоединенный проводник или контур и не имеющий общей связи с «землей» или отрицательным полюсом источника тока, просто находится под потенциалом участка схемы, к которому он присоединен.*

Во всех практически схемах по теории цепей постоянного тока рассматриваются только двухсторонние схемы, где все элементы соединены разнообразным способом, но всегда имеют положительный и отрицательный полюс. Передача электрической энергии по одному проводу не рассматривается. Такие попытки передачи энергии рассматриваются только в генераторе Ван де Графа [3], известной вилки Авраменко (передача электроэнергии на расстояние по одному проводу). Но в этих случаях передача заряженных положительных частиц производится накоплением порционно, частями, что позволяет постепенно накапливать огромные электрические напряжения (миллионы вольт). Вторым отрицательным проводом в этих случаях служат ионы, которые в массовом порядке присутствуют в воздухе.

В нашем случае, ни о какой частичной порционной передаче речь не идет. Управление током в проводнике 1 рис.

4.10 производится плавно и по линейному закону. Покажем еще раз физическую картину явления, чтобы более подробно пояснить эффекты, которые возникают при такой схеме включения рис. 4.10.

Итак, мы определили, что в проводнике, к которому приложен электрический ток, возникает электрическое поле. Согласно Г.-Х. Эрстеду (параграф 2.4), в этой же точке возникает и магнитное поле проводника, причем оно направлено спиралеобразно вдоль проводника. Условно такое явление можно представить в виде рис. 4.14.

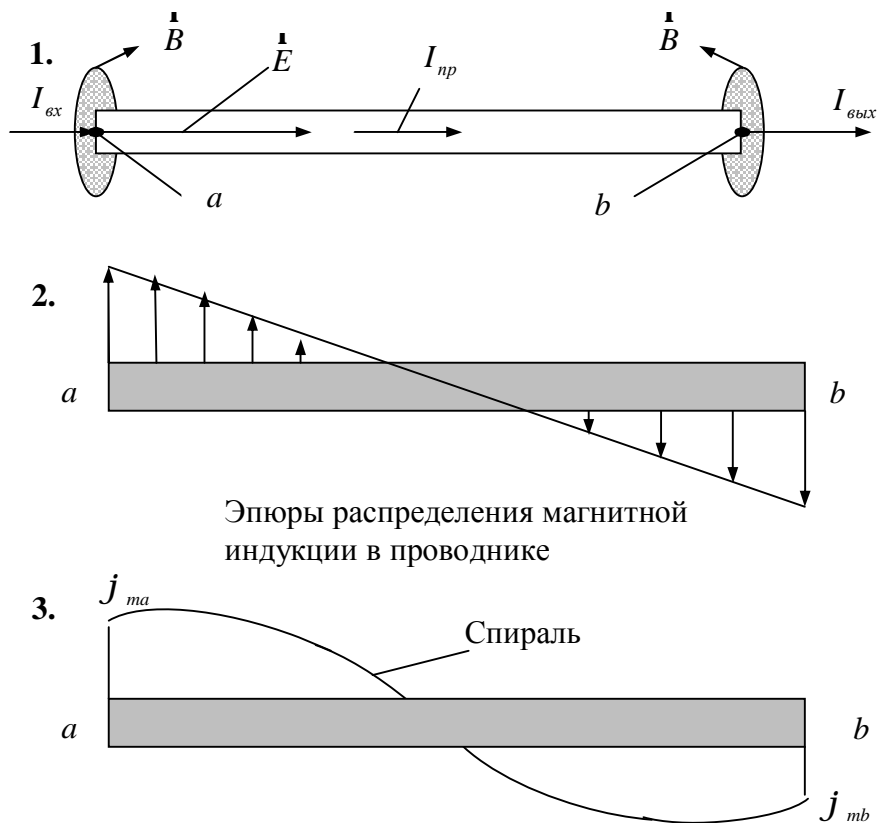


Рис. 4.14. Распределение магнитного поля вдоль проводника.

В точке  $a$  внешний ток  $I_{\text{вх}}$  входит в проводник, а в точке  $b$  ток  $I_{\text{вых}}$  выходит из проводника (4.14, 1). На этом же рисунке показана спираль и эпюра распределения магнитной индукции вдоль проводника  $a - b$  (4.14, 2, 3) На входе и выходе проводника образуются высокие потенциальные барьеры, как электрического, так и магнитного характера.

В точке  $a$  перед входом в проводник образуется скопление зарядов, чтобы войти в проводник. Поскольку сечение проводника  $a - b$  слишком узкое, чтобы вместить все электрические заряды, поэтому в точке  $a$  образуется потенциал  $j_a$  (рис. 2.18а). По мере всасывания зарядов, последние распределяются вдоль проводника (рис. 2.18б).

На выходе проводника в точке  $b$  обратная картина (рис. 2.18а). Все заряды, скопившиеся в конце проводника, также не могут одновременно покинуть проводник, и на конце проводника образуется уже другой потенциал – выходной потенциал  $j_b$ . Таким образом, на концах проводника образуются потенциалы, которые и воздействуют на магнитную стрелку. Это явление и было блестяще подмечено Г.-Х. Эрстедом почти два века тому назад.

Фактически такое скопление зарядов и было принято за существование магнитных полюсов – северного полюса  $N$  и южного полюса  $S$  проводника и используется до настоящего времени. На самом деле, как мы это показали это всего лишь скопление движущихся электрических зарядов, стремящихся поскорее «втиснуться» в узкую трубку проводника. Как известно, движущийся заряд всегда обладает собственным магнитным полем. Сумма элементарных магнитных зарядов и будут образовывать северный и южный полюсы, которые легко можно обнаружить магнитной стрелкой. Описанные явления хорошо демонстрирует рисунок 2.19 (параграф 2.4.).

Итак, поместив такой проводник, имеющий спиралеобразное магнитное (электрическое) внешнее поле в поле такой же конфигурации можно усилить электрическое поле проводника за счет суммирования внешнего и внутреннего

магнитного (электрического) поля. Математически это можно выразить как:

$$\vec{E}_{\Sigma} = \vec{E}_{\text{внеш}} + \vec{E}_{\text{вн}}, \quad (4.9)$$

где  $\vec{E}_{\text{внеш}}$  - электрическая составляющая от внешней спиралеобразной обмотки возбуждения,  $\vec{E}_{\text{вн}}$  - электрическая составляющая проводника.

Рисунок 4.15 графическим способом поясняет механизм возникновения постоянной электродвижущей силы (э. д. с.) в проводнике, который помещен в спиралеобразное постоянное магнитное поле.

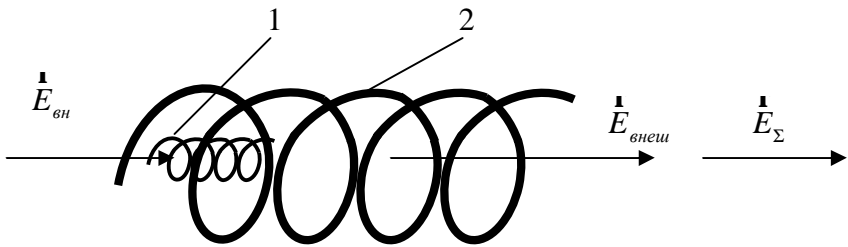


Рис. 4.15. Проводник во внешнем спиралеобразном поле.

1 - спиралеобразное постоянное магнитное поле проводника, 2 - внешнее постоянное спиралеобразное магнитное поле.

Итак, *общая картина* явления выглядит следующим образом. При подсоединении проводника к активному контуру со спиралеобразной обмоткой возбуждения, в проводнике в точке *a* образуется скопление зарядов, стремящихся распределиться вдоль проводника (рис. 2.18). Движущиеся заряды проводника образуют магнитное поле *спиралеобразной* формы.

Это магнитное поле проводника начинает взаимодействовать с внешним *спиралеобразным* полем



*возбуждения* (рис. 4.15, 2.20) Оба поля суммируются и усиливают электрическое поле проводника, вынуждая электрические частицы двигаться еще интенсивнее вдоль проводника. Причем, следует заметить что, чем ближе к началу проводника находится источник зарядов (положительный или отрицательный полюс источника), тем ток в проводнике больше. Это и понятно, поскольку *максимальный уровень* зарядов ближе непосредственно к источнику.

Максимальный эффект достигается когда источник соединяется непосредственно с проводником, т. е. с точкой входа в проводник. Если источник соединен с проводником дополнительной линией, пусть и короткой, интенсивность зарядов в этой линии падает, часть энергии источника затрачивается на перемещение зарядов по этой дополнительной линии. Это хорошо согласуется с экспериментом, который проводился в соответствии со схемой, показанной на рис. 4.11. Вот на наш взгляд общий механизм явления или эффекта, зафиксированного 10 февраля 2007г. [15].

Таким образом, *эффект генерации* электрического тока в *неподвижном проводнике*, помещенном в *спиралеобразное постоянное магнитное поле* можно реализовать в *генераторе постоянного тока без движения проводника, без изменения магнитного поля, и без скользящих контактов, предложенном В.В. Торшиным* (рис. 4.10).

Теперь коротко покажем некоторые схематические решения такого генератора и расскажем о первых экспериментальных результатах, полученных характеристиках генератора, а также дадим некоторые рекомендации по перспективам использования *нового эффекта*.

### **4.3. Эксперименты с эффектом генерации электрического тока в неподвижном проводнике, расположенном в спиралеобразном постоянном магнитном поле.**

Для того чтобы показать *реальность* существования *эффекта* генерации постоянного электрического тока в

постоянном магнитном поле, *без движения проводника*, был проведен ряд научных экспериментов. В основе *обнаруженного эффекта* как уже не раз отмечалось, лежит факт образования электрического тока *в неподвижном проводнике*, помещенном в *спиралеобразное постоянное магнитное поле*. Схема, реализующий данный эффект представлена на рис. 4.10.

На первый взгляд, полученный научный экспериментальный результат вступает в противоречие с законом электромагнитной индукции Фарадея, поскольку генерация электрического потенциала происходит *в постоянном магнитном поле без перемещения проводника*. Действительно. Как известно, согласно закону Фарадея индуцирование электрического потенциала в проводнике возможно *только* при наличии либо *движения проводника* в магнитном поле либо в результате *изменения индукции* магнитного поля, либо в случае *изменения контура или длины* проводника, который помещен в магнитное поле. Эти условия выражены в известной формуле для электродвижущей силы, возникающей в проводнике, который помещен в магнитное поле [5]

$$E = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t = B \cdot l \cdot v, \quad (4.10)$$

где,  $E$  – электродвижущая сила,  $l$  – длина проводника,  $B$  – магнитная индукция,  $v$  – линейная скорость перемещения проводника,  $\omega$  – угловая скорость движения проводника,  $\Phi$  – магнитный поток,  $t$  – время,  $S$  – площадь контура.

В нашем случае, *магнитное поле постоянно*, т. е. магнитный поток не изменяется,  $\frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0$ , поскольку для возбуждения магнитного поля используется источник постоянного тока, и скорость перемещения проводника  $v = 0$ , поскольку *проводник неподвижен*. Следовательно, индуцируемая электродвижущая сила (э. д. с.) должна быть равна нулю  $E = 0$ , что вытекает из формулы (4.10).

Несмотря на это, проведенные эксперименты показывают, что в соответствии со схемой (рис. 4.10), в проводнике 1 *все-таки индуцируется электрический потенциал и появляется электрический ток в контуре, фиксируемый гальванометром G.*

Чтобы исключить случайные ошибки в экспериментах и подтвердить обнаруженный эффект, рассмотрим более подробно электрическую схему включения обмотки возбуждения и проводника, в котором индуцируется э. д. с. (рис. 4.16).

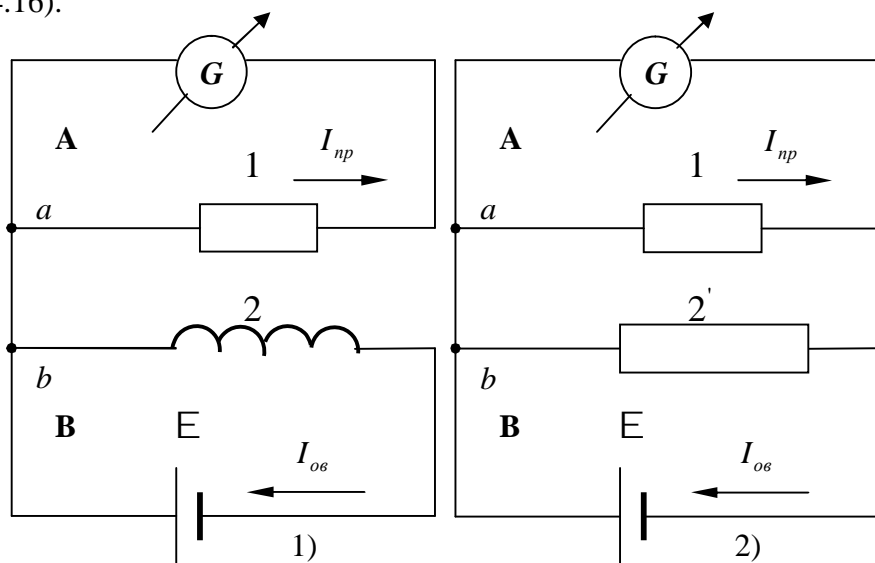


Рис. 4.16. Электрическая схема включения обмотки возбуждения.

На рисунке 4.16, 1) показана электрическая схема включения *спиралеобразной* обмотки возбуждения 2 постоянного магнитного поля и проводника 1, помещенного в это поле (в соответствии с рис. 4.10). Как видно на рисунке 4.16, 1), обмотка возбуждения и проводник образуют *два независимых* контура «А» и «В», которые соединяются линией «а – б». В контуре «В» располагается источник постоянного

тока «Е» и протекает ток возбуждения  $I_{ov}$ . В контуре «А» находится гальванометр «G», фиксирующий появление электрического тока в проводнике 1  $I_{np}$ .

Чтобы подтвердить полученные результаты, была собрана схема, в которой вместо *спиралеобразной обмотки* возбуждения 2 (рис. 4.16, 1)), в схему вводился реостат 2', активное сопротивление которого было равным активному сопротивлению обмотки возбуждения (рис. 4.16, 2)). В этой схеме также образуются два независимых контура «А» и «В». Однако в этом случае гальванометр «G», фиксирует нулевое значение тока в проводнике 1 при любом изменении напряжения источника питания «Е» (в пределах от 0 до 12В и соответственно тока возбуждения  $I_{ov}$  в контуре «В» в пределах от 0 до 0,5А).

Это означает, что при такой схеме включения, как и ожидалось, никакой электродвижущей силы в *неподвижном* проводнике (в контуре «А») возникнуть не может, и закон *электромагнитной индукции Фарадея строго соблюдается*. Ток  $I_{np}$  в контуре «А» может быть подсчитан по правилу Кирхгоффа, что мы уже сделали ранее, когда рассматривали схемы замещения (рис. 4.11, 4.13).

Несмотря на отмеченные теоретические возражения, *ток в контуре «А» существует в реальности, этот факт доказан экспериментально*. Рассмотрим более подробно несколько опытов, которые позволили обнаружить *эффект генерации постоянного тока в неподвижном проводнике в постоянном магнитном поле*.

**Приборы и оборудование.** Основная схема эксперимента представлена на рис. 4.10. Обмотка возбуждения выполнена из медного изолированного провода марки ПЭЛ-0,1. Магнитопровод *в виде спирали* выполнялся из разных материалов: меди, железа, бронзовой трубки, медной трубки, олова и др. Количество витков обмотки варьировалось от 500

витков до 2000 витков. Омическое сопротивление обмотки возбуждения составляло от 50 до 300 Ом. Диаметр магнитопровода варьировался от 1 до 3мм. В качестве проводника 1 использовались следующие материалы. Медный проводник диаметром 5мм и длиной 300мм. Алюминиевая пластина размерами 20×200×1мм. Железные стержни разного диаметра от 2мм до 6мм и длиной от 100мм до 400мм. Стержни из олова диаметром 6мм и длиной 400 и некоторых других материалов. Таким образом, сопротивление проводников колебалось от значений 0,1Ом до значений 0,5Ом. В качестве источника постоянного тока использовался стационарный регулируемый источник постоянного тока ТЭС 15, рассчитанный на ток до 8А и напряжение 12В, а также пальчиковые элементы 1,5В различных марок: Duraset, Panasonic и др. В качестве гальванометра использовался прибор марки М2032/2, цена деления  $6,5 \cdot 10^{-7}$  А/дел, класс точности 0,5. Чтобы исключить электрический контакт (касание) проводов обмотки возбуждения с проводником, в любых других точках кроме общей точки «b», обмотка возбуждения была тщательно изолирована.

**Опыт 1 (основной).** Основная электрическая схема в эксперименте представлена на рис. 4.10. В качестве проводника использовался медный проводник диаметром 5мм и длиной 200мм. В качестве магнитопровода использовался спиралеобразный медный сердечник диаметром 1мм, количество витков 1700, омическое сопротивление обмотки составило 45Ом. Диаметр спирали составлял 30мм.

Напряжение обмотки возбуждения изменялось от 0 до 12В, ток возбуждения при этом изменялся от 0,05 до 0,2А, показания гальванометра составили от 5 до 20 делений (цена деления  $6,5 \cdot 10^{-7}$  А/дел).

Общий характер изменения тока в проводнике, представлен на рис. 4.17. Как видно из рисунка, прямая линия представляет собой *линейную зависимость* тока в проводнике  $I_G$ , от напряжения обмотки возбуждения  $U_{возб}$ , т. е. в конечном итоге от напряжения источника питания.

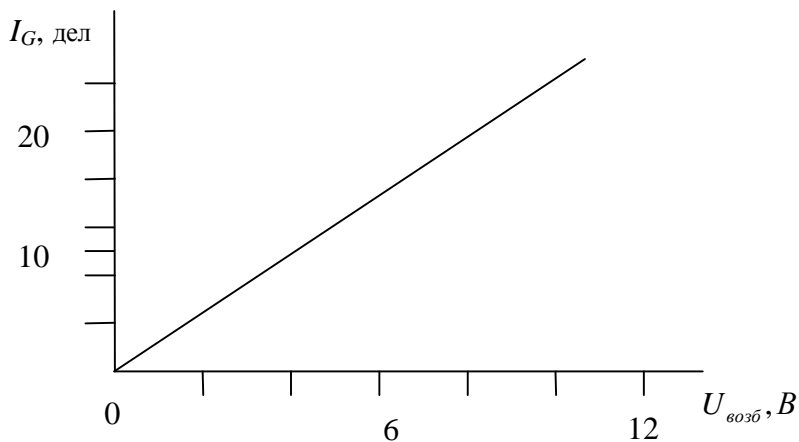


Рис. 4.17. Зависимость изменения тока проводника от напряжения источника

**Опыт 2.** Этот эксперимент был поставлен с целью определения зависимости тока, индуцированного в проводнике от шага спирали магнитопровода рис. 4.18.

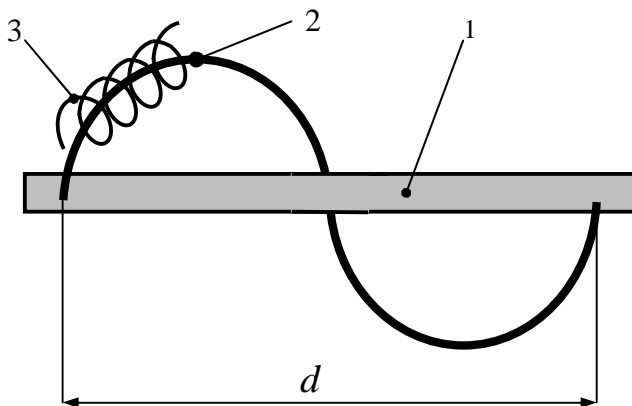


Рис. 4. 18. Спиралеобразный магнитопровод из меди с шагом спирали  $d$  . 1 - проводник, 2 – магнитопровод, 3 – обмотка возбуждения.

С этой целью на медный стержень 2 диаметром 1мм была намотана обмотка возбуждения 3, выполненная из медного провода марки ПЭЛ, диаметром 0,1мм. Наличие, гибкого магнитопровода из меди, давало возможность легко изменять шаг спирали. В качестве проводника 1, использовался железный стержень диаметром 2мм и длиной 200мм. При изменении шага спирали  $d$  изменялся и ток, замеряемый в проводнике 1 (рис. 4.18). Так, при шаге спирали магнитопровода  $d$  равном 190мм максимальное значение тока в проводнике составило 23 делений по шкале гальванометра при напряжении источника обмотки возбуждения 4,5В. При шаге спирали  $d$  равном 95мм, т. е. при двойном шаге - 19 делений, при напряжении 9В. Графики изменения тока в проводнике 1 в зависимости от шага спирали 2, показаны на рис. 4.19.

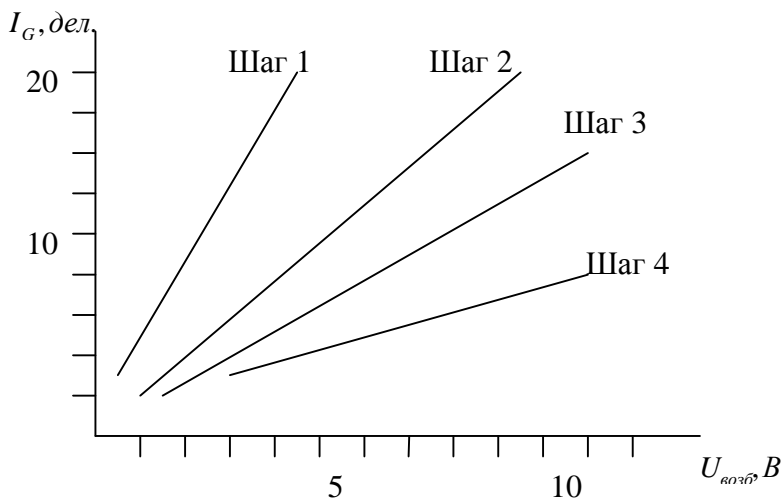


Рис. 4.19. Ток в проводнике в зависимости от шага спирали магнитопровода.

Шаг 1 – 190мм, шаг 2 – 95мм, шаг 3 – 48мм, шаг 4 – 35мм.

Характер изменения тока в проводнике еще раз подтверждает те выводы, который мы делали выше:

*во-первых*, ток начинается в том месте, где происходит первичный контакт с источником (вывод Г.Х Эрстеда тот же). И, *во-вторых*, также тот факт, что ток в проводнике носит *спиралеобразный характер*. Когда мы увеличиваем количество шагов спирали, тем самым мы создаем дополнительные тормозящие преграды (электрическое поле), которые не ускоряют заряженные частицы, а наоборот тормозят их. Чем больше витков спирали, тем больше величина торможения, о чем и свидетельствуют представленные графики.

**Опыт 3.** При исследовании полученного эффекта проверялось воздействие спиралеобразного магнитного поля одновременно на два проводника. Интерес представляли случаи, когда две спиралеобразные обмотки действовали на один проводник (располагались на одном проводнике), в которые он помещался. И другой, не менее интересный случай, когда два проводника со своими спиралеобразными обмотками возбуждения соединялись параллельно или последовательно.

В первом случае в зависимости от полярности включения обмоток возбуждения, ток в проводнике или просто отсутствовал (при встречном включении), либо увеличивался, но не в два раза, как ожидалось, а немного меньше в 1,8 раза. Второй случай более интересен, и мы его рассмотрим более подробно. Схема такого эксперимента представлена на рис. 4.20. Как показано на рисунке, обмотки возбуждения включены параллельно для увеличения тока возбуждения спиралеобразных обмоток с целью получения большей магнитной индукции постоянного магнитного поля. А вот измерительный гальванометр  $G$  подключен несколько иначе.

При такой схеме включения ток замеряется между двумя проводниками, а не между общей точкой и концом проводника как в предыдущих схемах (рис. 4.20). Значения токов столь высоки, что стрелка гальванометра мгновенно зашкаливает за 20 делений, уже при напряжении источника 0,5В. Такое явление наблюдалось при *согласном* включении обмоток возбуждения.



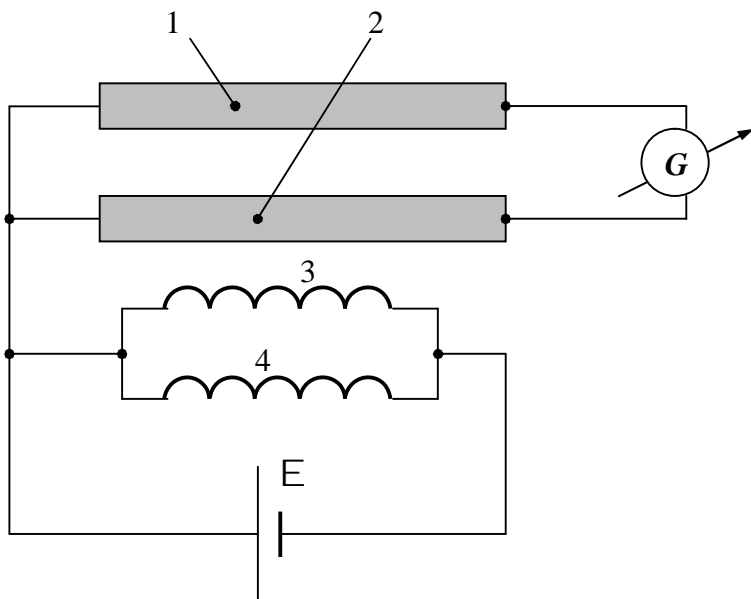


Рис. 4.20. Схема включения двух проводников.  
 1 – первый проводник, 2 – второй проводник, 3 – обмотка возбуждения первого проводника, 4 – обмотка возбуждения второго проводника.

Однако при встречном включении обмоток, ток, измеряемый гальванометром  $G$  не равен нулю, а имеет 1-3 деления шкалы гальванометра даже при 10В. Максимальное значение тока, индуктируемого в проводнике, в отдельных экспериментах (здесь не описываются) достигало значений 100мА при напряжении источника 12В, токе возбуждения 0, 5А.

**Опыт 4.** Была проверена возможность индуктирования тока внутри *спирального* магнитопровода. В качестве магнитопровода была использована бронзовая трубка диаметром 3мм с обмоткой из медной проволоки 0,1мм намотанной внавал. Число витков 1800. Диаметр спирали равнялся 30мм.

Схема включения аналогична схеме рис. 4.10, однако в качестве проводника использовался сам *магнитопровод*, ток в

котором  $I_{\text{маг}}$  измерялся гальванометром G. Условно схема представлена на рис. 4.21.

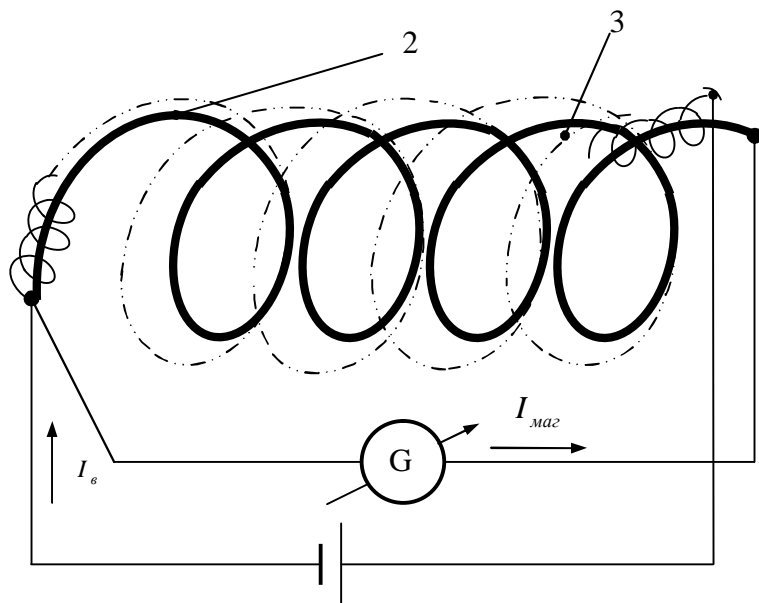


Рис. 4.21. Опыт измерения электрического потенциала на магнитопроводе (ток  $I_{\text{маг}}$  отсутствует).

Опыт дал отрицательный результат, т. е.  $I_{\text{маг}} = 0$ . В «чисто» соленоидальном постоянном магнитном поле индуктирование электрического тока невозможно, поскольку оно однородно, а, следовательно, там отсутствует ускорение электронов, о чем было сказано ранее (параграф 4.1, рис. 4.3).

После внесения изменений в схему и разместив в спиральном магнитопроводе проводник, мгновенно был зафиксирован ток гальванометром G. Так, при напряжении возбуждения 3В ток в медном проводнике составил 15 делений и аналогично изменялся по линейному закону от нулевой отметки (рис. 4.17).

**Опыт 5.** В этом эксперименте была проверена обратная зависимость индуцирования тока в обмотке возбуждения, когда

к проводнику было приложено напряжение источника, а в обмотке возбуждения замерялся ток гальванометром  $G$  (рис. 4.22). Результат опыта показал наличие тока в цепи возбуждения, фиксируемый гальванометром  $G$ , причем стрелка гальванометра отклонилась на 5 делений. Напряжение источника составляло 1,5В (батарея Durasel).

Таким образом, получился **трансформатор чисто постоянного тока**. Поскольку проводник находился практически в режиме короткого замыкания, то кратковременное закорачивание полюсов источника вызвало бросок тока в обмотке возбуждения и заставило стрелку гальванометра резко отклониться. Опыт проводился по схеме рис. 4.10.

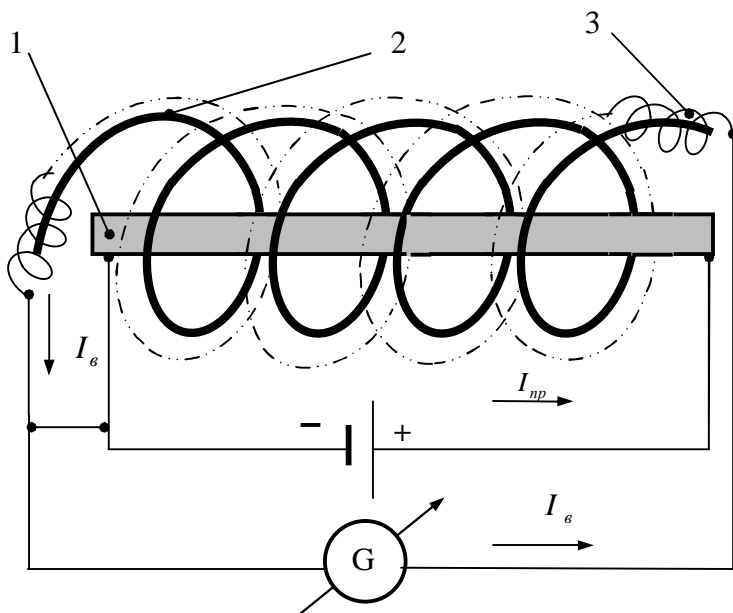


Рис. 4. 22. Получение тока в обмотке возбуждения (трансформаторный эффект).

**Опыт 6.** Этот опыт проводился для случая, когда вместо проводника в спиральный магнитопровод помещался соленоид, схема эксперимента представлена на рис. 4.23.

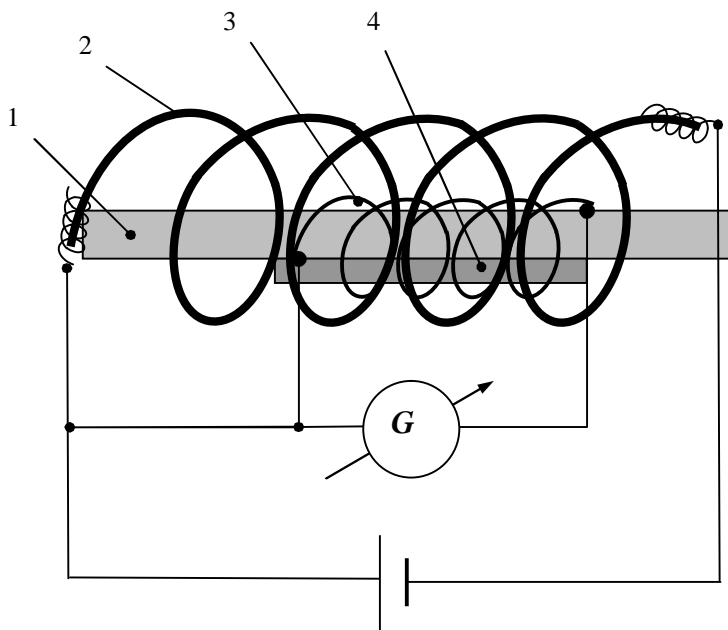


Рис. 4.23. Соленоид в спиралеобразном постоянном магнитном поле. 1- проводник, 2- магнитопровод, 3- соленоид, 4- стальной стержень.

На медную трубку 1 была намотана обмотка 3 в виде соленоида. Диаметр трубки составлял 6мм длина 300мм. Для увеличения магнитной индукции в соленоиде на трубку поместили стальной стержень 4. Цель опыта состояла в проверке возможности индуктирования электрического тока не в проводнике, а в чисто соленоидальном поле, т. е. в соленоиде 3, размещенном на медной трубке 1. Трубка с навитым соленоидом помещалась в спиралеобразное магнитное поле с магнитопроводом 2.

Во время проведения опыта было замечено, что ток в гальванометре индуктировался *только в момент замыкания источника*, а затем плавно возвращалась на нулевую отметку. Это был типичный случай опытов Ампера и Фарадея (электромагнитной индукции). Если исключить связь цепи гальванометра с обмоткой возбуждения, и включить в цепь гальванометра только соленоидальную обмотку медной трубки, ток индуктировался только в момент подсоединения источника тока, т. е. опять же получался опыт Ампера и Фарадея.

В случае, когда соленоид трубки 3 соединялся с медной трубкой, и собиралась схема по рис. 4.10, стрелка гальванометра отклонялась на 4 деления при напряжении источника 1,5В и на 9 делений при 3В.

В опытах с соленоидом *также* наблюдался *трансформаторный эффект!* Схему опыта поясняет рис. 4.24.

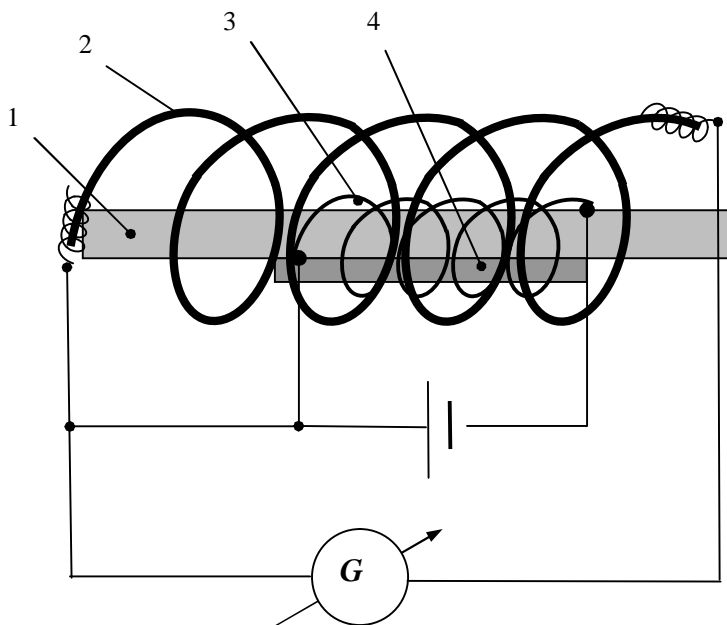


Рис. 4.24. Схема получения трансформаторного эффекта

Когда в соленоид 3, расположенный на медной трубке 1 и соединенный с ней одним концом, подавался постоянный электрический ток источника, то в обмотке возбуждения, расположенной на спиралеобразном магнитопроводе 2 индуктировался электрический ток, фиксируемый гальванометром G, и составлял 5 делений.

Таким образом, был вновь получен **трансформатор чисто постоянного тока**. Если наоборот возбуждать обмотку возбуждения спирали, то при общей точке всех обмоток, во внутренней соленоидальной обмотке ток возникает только в момент включения или выключения источника тока.

**Опыт 7.** При проведении экспериментов было зафиксировано еще одно явление. Максимальный ток в проводнике наблюдался в следующем случае. Если проводник от источника возбуждения располагался непосредственно в плоскости первого витка спиралеобразного магнитопровода (точка *a*, рис. 4.11), то ток в проводнике имел максимальное значение и стрелка гальванометра, как правило, зашкаливала за 20 делений уже при 0,5В источника тока.

Причем диаметр спирали обмотки возбуждения незначительно влиял на значение индуктируемого тока. Точка *b*, (рис. 4.11) подключения остальных проводников схемы (проводник от гальванометра и обмотки возбуждения) располагалась ближе к концу проводника. Условно эта схема включения представлена на рис. 4.25.

*Полученный результат экспериментально подтверждает наш теоретический вывод о том, что и спиралеобразное магнитное поле проводника и электрическое поле проводника начинается в одной точке – точке входа источника тока в проводник (рис. 4.12).*

На рис. 4.25 изображена плоскость, в которой находятся векторы электрических и магнитных полей. Эта плоскость является *начальной плоскостью*, в которой начинается взаимодействие магнитного поля проводника и магнитного поля обмотки возбуждения. Эта же плоскость содержит *точку*, в которой начинается действие электрического поля проводника,

электрического поля обмотки возбуждения и электрического поля источника тока. Причем потенциальные составляющие перечисленных параметров в этой точке принимают максимальные значения.

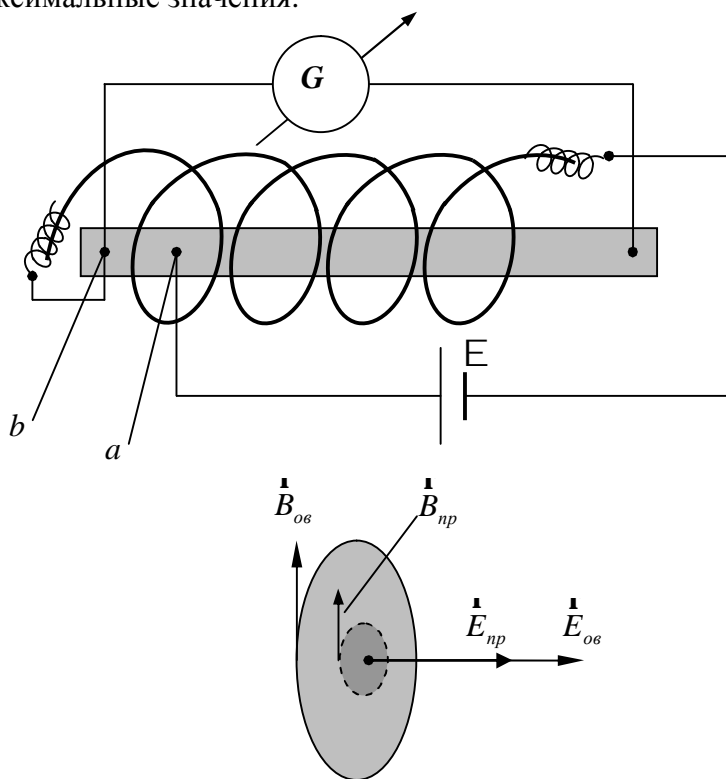


Рис. 4.25. Схема включения источника тока в плоскость первого витка спиралеобразного магнитопровода.

**Опыт 8.** Максимальный ток был достигнут при использовании постоянных магнитов в так называемом «обводном» проводнике 2 (рис. 26). При использовании постоянных магнитов возникало достаточно много неясных и не совсем понятных эффектов. Для осмысления всех полученных результатов потребуется еще немало времени, поэтому описать все эксперименты с постоянными магнитами

просто не представляется возможным. Но один опыт, в котором ток в проводнике был просто гигантским по сравнению с другими опытами (порядка 100мА) при напряжении источника тока 1,2В (батарея Panasonic) достоин описания. Схема установки изображена на рис. 4.26.

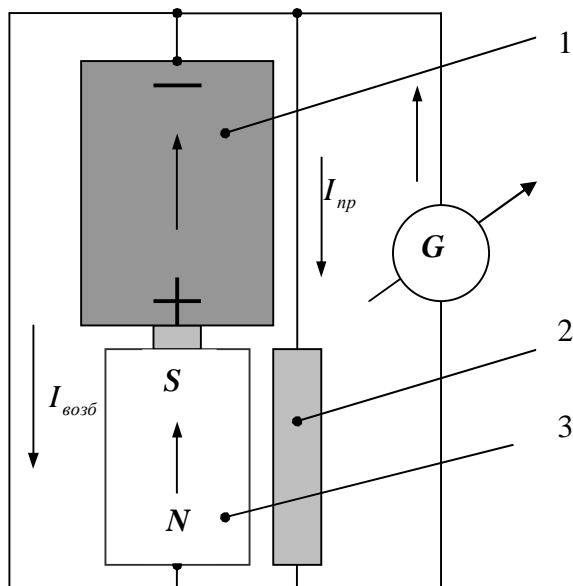


Рис. 4.26. Схема возбуждения с использованием постоянного магнита. 1 – батарея Panasonic, 2 – проводник, 3 – постоянный магнит

Магнит 3 соединялся с батареей последовательно. И магнит и батарея соединялись проводником, при этом в цепи «-» батареи северный полюс магнита  $N$  южный полюс магнита  $S$  положительный полюс батареи «+», образовывался ток возбуждения  $I_{возб}$ . В другой цепи – проводник 2, гальванометр и отрицательный полюс батареи образуется ток проводника  $I_{пр}$ . Использование разных материалов проводника 2 изменяли ток в гальванометре  $G$ . Наибольшее значение тока было достигнуто



при использовании проводника из алюминиевой пластины (значение тока 100мА). Существенное значение на показания гальванометра оказывало расположение проводника вокруг магнита. Наилучший результат получался, когда проводник обвивал магнит один раз, образуя спираль с одним шагом.

Более значительных показаний гальванометра можно достигнуть, если общую точку расположить в месте соединения *полюса магнита* в точке *S* или точке *N* с источником тока возбуждения (батареи). В этом случае образуется непосредственный контакт магнитного и электрического поля. Такой опыт аналогичен опыту 7.

**Опыт 9.** Еще одним из *удивительных* результатов, который был получен в ходе научных исследований эффекта, является опыт, когда проводник помещается *за пределами спиралеобразного магнитопровода*. Схема такого эксперимента показана на рис. 4.27.

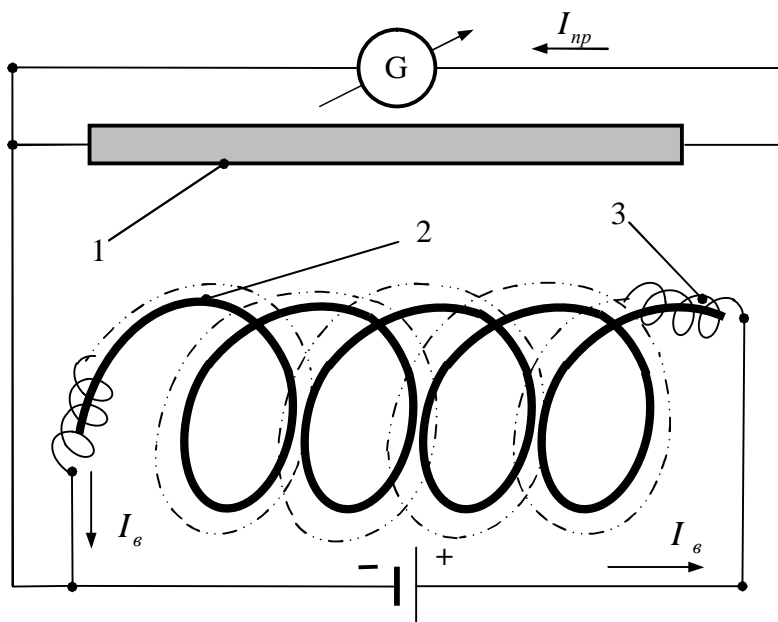


Рис. 4.27. Проводник за пределами магнитопровода.

1- проводник, 2- магнитопровод, 3- обмотка возбуждения.

Правда, в этом случае ток, генерируемый в проводнике в несколько раз меньше, чем в случае непосредственного расположения проводника в спиралеобразном магнитном поле. Так, ток проводника *при внутреннем* расположении внутри магнитопровода составлял 16 делений по шкале гальванометра, а *при внешнем* расположении проводника ток гальванометра составил только 6 деления шкалы. В этом эксперименте использовался гальванометр марки М 314 с ценой деления  $C \leq 0,3 \cdot 10^{-6} \frac{A}{дел}$ . Ток обмотки возбуждения составлял 0,5А, напряжение источника 3В.

В качестве проводника использовалась алюминиевая пластина. Причем проводник мог находиться *в любом положении* относительно магнитопровода: на некотором расстоянии от магнитопровода (до 20см); вертикально по отношению к оси магнитопровода; под любым углом к магнитопроводу, как в горизонтальном положении, т. е. под углом основному магнитному полю Земли, так и в вертикальном положении; над и под магнитопроводом. Ток в проводнике возрастал только с увеличением тока возбуждения до указанных значений по линейному закону (рис. 4.17).

**Опыт 10.** Еще один эксперимент, который нельзя не представить. Когда проверялся эффект, как указывалось ранее вместо обмотки возбуждения был введен реостат (рис. 4.16), который имитировал спиралеобразную обмотку возбуждения, для этого значение активного сопротивления реостата подбиралось равным значению активного сопротивления обмотки возбуждения на спиралеобразном магнитопроводе. В этом случае в проводнике (алюминиевой пластине), электрический ток не генерируется.

Когда же последовательно с реостатом 2 была введена *спираль* 3, состоящая из нескольких витков медного провода диаметром 0,6мм, навитая на стеклянную трубу диаметром 100мм, то в цепи такого проводника 1, появился электрический ток. Этот опыт поясняет рис. 4.28.

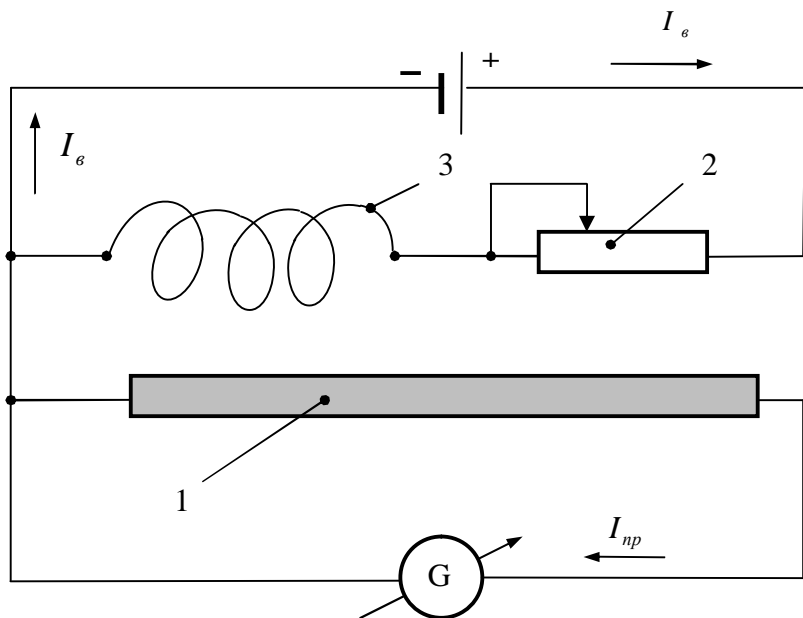


Рис. 4.28. Спираль в цепи реостата

В случае простой *спирали 3* ток, конечно, не мог быть значительным и составлял порядка 2-4 делений шкалы гальванометра. Однако *сам факт генерации электрического тока в проводнике 1 благодаря введению в цепь даже простой спирали 3*, показывает, что *появление спиралеобразного магнитного поля вызывает образование электрического потенциала*. Если вместо спирали, ввести *прямой проводник* (например, медный стержень) или *резистор*, то ток не генерируется. Вместо *спирали* вводился *конденсатор*, но ток также не генерировался.

В ходе научных исследований были проведены и проанализированы еще целый ряд опытов с различными конфигурациями магнитопровода и проводников. Описать все опыты не представляется возможным, однако во всех экспериментах не переменным условием было *наличие* в цепи

*спиралеобразной составляющей магнитного поля в цепи источника тока.*

В третьей главе мы рассматривали *прямую закономерность*, когда разность потенциалов между двумя заряженными областями вызывала *спиралеобразное движение заряженных частиц* и образование *магнитных полюсов* противоположной полярности в этих областях. Основываясь на представленных экспериментальных данных, можно убедиться в *обратном эффекте*, который заключается в том, что *создание спиралеобразного магнитного поля вызывает появление электрического потенциала в проводнике*, и как следствие квазипрямолинейное движение заряженных микрочастиц в проводнике, т. е. тока в цепи гальванометра.

Подводя итоги проведенным экспериментом можно констатировать, что *получение чисто постоянного тока без движения проводника, без изменения магнитного потока и без скользящих контактов, возможно*. Открывается *новый раздел физики*, который требует еще дальнейшего тщательного изучения.

Во многих случаях жизни необходимо знать распределение потенциалов, как в технических системах, так и в биологических системах. Полученные результаты позволяют это осуществить. Не всегда возможно сформировать электрическую цепь, чтобы измерить ток посредством организации двухпроводной линии от «+» к «-». Особенно это касается биологических объектов.

*Трансформация чисто постоянного тока через магнитное поле вообще науки неизвестна*. Исследование с помощью других материалов (например, полупроводниковых) может дать такие результаты, которые на данном этапе исследований просто трудно представить. Замена электромагнита, используемого в схеме постоянными магнитами, может дать начало совершенно новой отрасли – *магнитоэнергетике*. Мы намеренно не стали показывать результаты экспериментов при переменном токе. Использование новой схемы передачи переменного тока, возможно, даст

вообще невероятные результаты, особенно при трансформации тока в спиралеобразных обмотках возбуждениях, когда можно добиться результатов трансформации, посредством изменения шага спирали и расположение спиралей друг в друге, для получения разных резонансных эффектов.

#### **4.4. Перспективы применения эффекта генерации тока в неподвижном проводнике в спиралеобразном магнитном поле.**

Открытый эффект генерации тока в неподвижном проводнике, который помещается в спиралеобразное магнитное поле имеет неплохие перспективы использования и прежде всего в системах автоматического управления в качестве *многофункционального датчика*. Хорошо известно, что эффективность систем автоматического управления во многом зависит от достоверности данных о техническом объекте.

Для измерения параметров технических систем используются датчики различного типа и назначения. Принятие конкретного решения по выбору того или иного типа датчика зависит как от самого технического объекта, так и от вида проектируемой или уже применяемой системы управления. Можно по-разному проектировать систему управления техническим объектом: полностью в автоматическом режиме или автоматизированном режиме. В первом случае весь процесс управления происходит в автоматическом режиме без участия оператора. В автоматизированной системе управления результаты измерений и команды выводятся на дисплей, а управление исполнительными механизмами производится техническим персоналом вручную. В любом случае независимо от типа системы управления, ее неотъемлемой частью являются *датчики*.

Большинство известных датчиков базируются на *измерении активного, индуктивного или емкостного сопротивлений или замерах токов и напряжений, возникающих в чувствительном элементе*. При измерении активного

сопротивления используется закон Ома. В индуктивных датчиках используются известные электромагнитные законы взаимодействия магнитного и электрического полей с проводником. В емкостных датчиках определяется зависимость емкости конденсатора от возмущающих факторов. В настоящее время существует большое число датчиков перечисленных типов, которые хорошо освоены и отличаются друг от друга в своем классе лишь конструктивным исполнением. Однако *потребность в новых типах датчиков, базирующихся на новых физических эффектах и закономерностях*, еще достаточно высока.

Как правило, для измерения некоторого физического параметра используется свой, ориентированный на выполнение конкретной задачи, датчик. Например, для измерения температуры используются термоэлектрические датчики на основе термопары, для измерения усилий тензометрические датчики и т. д. Вследствие такого разделения, датчиком, который предназначен для измерения температуры, *нельзя* измерить усилие и наоборот. Такая специфика приводит к тому, что схема управления существенно усложняется, а стоимость самой системы увеличивается, поскольку каждый фиксируемый параметр требует своей схемы усиления первичного сигнала, приведения в соответствие принятого сигнала к физическому параметру с целью последующей обработки (тарирование сигнала) и т.п. Все это влияет на качество обработки и способы передачи информации о техническом объекте. Кроме этого, повышается требовательность к качеству и надежности работы датчиков к воздействию внешних факторов, поскольку каждому датчику в отдельности требуются свои условия работы.

Задача сбора информации и управление техническим объектом значительно упрощается, если для измерения *различных физических параметров* объекта используется *один и тот же тип датчика*, т. е. в случае использования *универсального* датчика. Применение таких датчиков даст возможность существенно сократить стоимость систем

автоматического сбора информации и управления, что в конечном итоге повысит надежность самих систем.

Одним из таких *универсальных* датчиков может быть предложен датчик, базирующийся на полученном *новом* физическом эффекте, а, именно, на *эффекте генерации электрического потенциала в спиралеобразном постоянном* магнитном поле. Для реализации данного эффекта, как это было показано в параграфе 4.3, достаточно поместить *неподвижный* проводник в *спиралеобразное* постоянное магнитное поле, а на концах проводника измерить индуктируемый ток.

В зависимости от вариантов исполнения магнитопровода и проводника можно конструировать *разнообразные датчики*. В качестве магнитопровода может быть использован любой металл (ферро или парамагнетик), в том числе железный, медный или алюминиевый провод (для лучшего изгибания).

Например, если магнитопровод выполнить из *пружинящего* материала (тем самым, изменяя шаг спирали магнитопровода), получаемый электрический потенциал может измерять величину внешней воздействующей силы  $G$ , т. е. замерять вес, усилия, давление, вибрации уровни шумов и т. д. в различных физических объектах. Это возможно, исходя из технических характеристик, которые были представлены в опыте 2 (рис. 4.19).

Принципиальная схема такого датчика представлена на рис. 4.29. Эта схема измеряет вес тел  $G$ , которые воздействуют на платформу 1. По мере изменения шага спирали 2, которая опирается на опору 4, изменяется ток в цепи проводника, измеряемый гальванометром «Г». Приводя в соответствие перемещение платформы  $\Delta x$  с током в проводнике, при изменении шага от  $S_1$  до  $S_2$ , можно оттарировать датчик под разный вес. Точно такая же схема может быть использована при измерении других механических характеристик: *силы, давления, вибрации, шумов* и т. п.

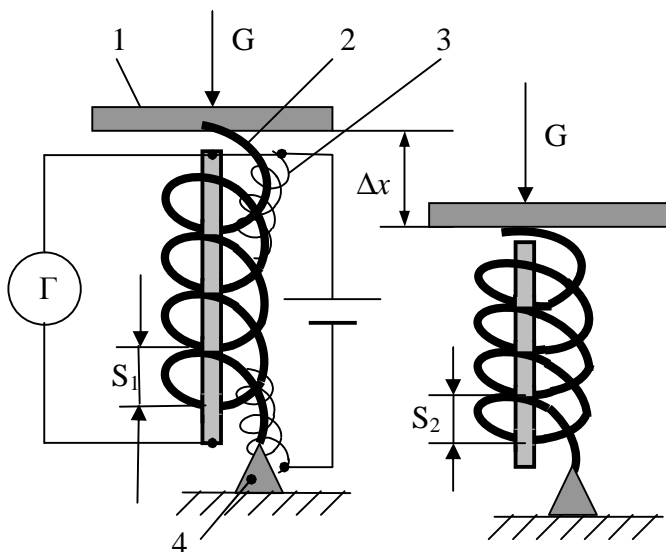


Рис. 4.29. Схема измерения веса тел посредством *изменения шага спирали* магнитопровода.

В общем случае в качестве проводника возможно использование любого металла, в том числе полупроводники и проводники второго рода (растворы солей или щелочи, обыкновенной воды, даже молоко), ионизированный газ (плазму) и т.д. Основным условием для образования *эффекта генерации* электрического потенциала является наличие в проводнике подвижных носителей зарядов (электронов, ионов) и *спиралеобразного постоянного* магнитного поля.

В качестве проводника можно использовать разнообразные материалы и объекты, помещаемые в спиралеобразное магнитное поле. Например, если проводник нагревают внешним источником тепла, то фиксируемые изменения электрического потенциала в проводнике можно использовать для *определения температуры* объекта, подобно термопаре. Это качество легко объяснить тем фактом, что с увеличением температуры количество *подвижных носителей* (электронов, ионов) в проводнике увеличивается.



На рис. 4.30. показана схема при прямом воздействии источника тепла 4 (спиртовой горелки) на проводник 1. В этом случае генерируемый ток может измерять температуру проводника. Причем необязательно помещать проводник в магнитопровод, так как эффект проявляется и при внешнем расположении проводника (рис. 4.27, опыт 9). Главное, чтобы был обеспечен контакт общей точки с проводником.

Другая схема измерения температуры может быть использована по принципу, который описан в опыте 3.

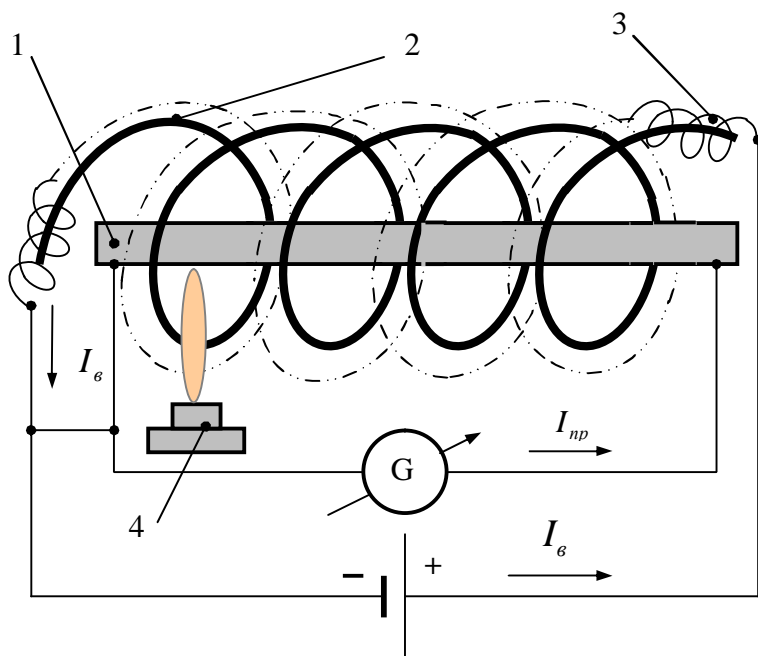


Рис. 4.30. Воздействие спиртовой горелки на проводник.

В качестве проводника может использоваться любая проводящая жидкость (различные кислоты, щелочи, вода и т. д.) или газ с целью получения информации об их химическом составе, скорости течения и расходе жидкости или газа, влажности и многом другом. Так на рисунке 4.31 схематично

представлен способ для измерения плотности, скорости, расхода жидкости (газа), химического состава жидкости (газа).

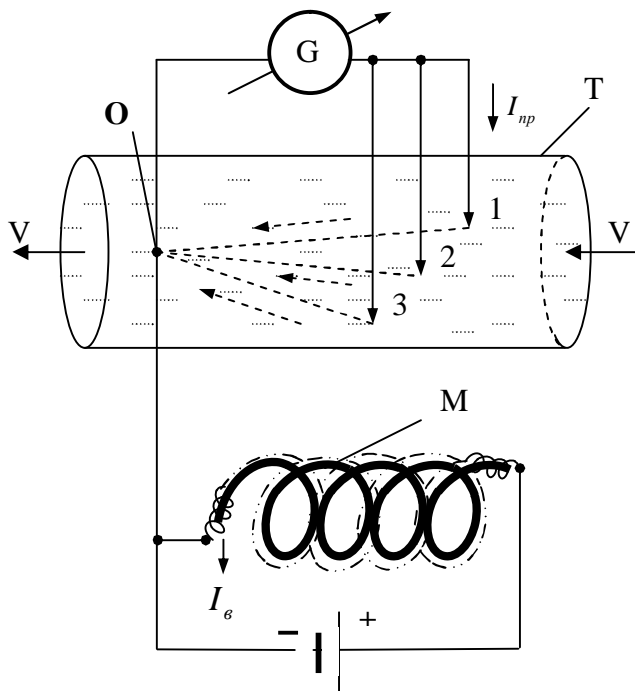


Рис. 4.31. Схема для измерения параметров жидкости (газа).

При протекании жидкости (газа) по трубе «Т» со скоростью  $V$ , гальванометр  $G$  измеряет ток, который образуется в жидкости (газе) под воздействием спиралеобразного магнитного поля образованного обмоткой возбуждения, располагаемой на магнитопроводе  $M$ . Если поток жидкости прекращается, то ток, измеряемый гальванометром, будет равен нулю. Так можно замерить *расход* жидкости (газа). Каждая жидкость (газ) обладает определенной *плотностью*, а, следовательно, имеет *разную* электрическую *проводимость*, поэтому показания гальванометра будут различны для разных жидкостей (газа). В зависимости от *скорости течения* жидкости

(газа), количество ионов, проносящихся в трубе, увеличивается, а значит, ток измеряемый гальванометром также возрастает.

Приводя в соответствие ток проводника  $I_{np}$  со скоростью перемещения жидкости  $V$ , измеряя ее другими методами, т. е. тарируя датчик, можно измерять *скорость течения* жидкости (газа).

Способ позволяет измерять и химический состав жидкостей, делая экспресс – анализ. На разных уровнях жидкости 1 – 3 (рис. 4.31) разная проводимость, поскольку более тяжелые соли и металлы опускаются на нижний уровень, поэтому токи, протекающие в жидкости, будут отличаться друг от друга. Тарируя показания гальванометра другими известными методами, можно проводить быстрый *химический экспресс – анализ* жидкости.

Естественно, при всех измерениях, *жидкости или газы должны обладать электропроводностью*, в противном случае показания гальванометра будут равны нулю. Например, если газ ионизирован (плазма), то такой датчик будет работать, в нейтральных газах такие измерения невозможны.

Перечисленные технические характеристики, которые можно контролировать с помощью полученного эффекта дают возможность заключить, что датчики, построенные на этом принципе, обладают *многофункциональностью* или широким диапазоном применения для измерения *обширного спектра физических величин*. Датчики, построенные на основе эффекта генерирования электрического потенциала в постоянном спиралеобразном магнитном поле, имеют стабильные, а главное, *линейные характеристики* и высокий электрический потенциал, а, значит, легко могут фиксироваться обычными измерительными приборами.

Кроме применения *эффекта генерации* для измерения *разных физических величин*, есть еще одно немаловажное свойство этого способа.

Не надо забывать, что полученный эффект имеет еще одно замечательное качество, а именно, *трансформацию*

*постоянного тока* (опыты 5, 6, рис. 4.22, 4.24). Эту весьма важную особенность можно использовать для непосредственного измерения постоянного тока в электрических цепях с высокими значениями величины постоянного тока и напряжения, что является одной из проблем большой энергетики. При измерениях тока можно использовать как стационарную схему, т. е. когда магнитопровод располагается непосредственно на проводнике, так и схему внешнего расположения спирального магнитопровода в режиме тестера.

Схема такого измерения показана на рис. 4.32. На рисунке показана высоковольтная шина (проводник) 1 по которой протекает ток цепи  $I$ , в точке «а» проводника проводится измерение щупом, который соединен с обмоткой возбуждения 2, расположенной на спиралеобразном магнитопроводе 3. Гальванометр  $G$  измеряет электрический потенциал, возникающий в обмотке возбуждения за счет эффекта трансформации постоянного электрического тока в проводнике 1.

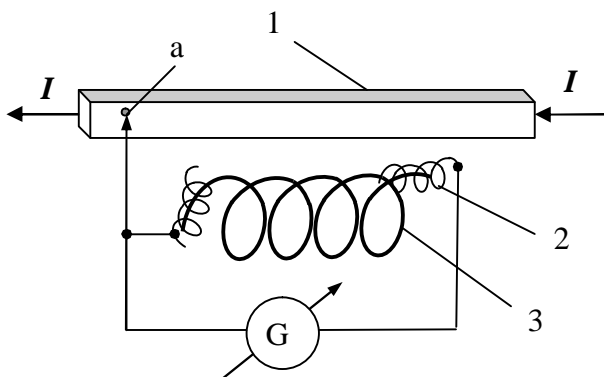


Рис. 4.32. Измерение тока в цепи постоянного тока.

Кроме этого, *трансформацию чисто постоянного тока* еще не придумали, поэтому, чтобы осуществить такую передачу энергии, требуется применение различных преобразователей,

которые имеют значительные габариты, вес, а комплектация, которых содержит большое количество элементов.

Как правило, вначале осуществляется преобразование постоянного тока в переменный, далее его трансформация, и после этого опять обратное преобразование переменного тока в постоянный ток.

Такая технология передачи тока не только сложна, но и весьма дорога. В нашем же случае, технология передачи значительно упрощается, что ведет к снижению массогабаритных характеристик особенно в тех отраслях промышленности, где применяются постоянные токи, прежде всего *автомобильный и железнодорожный транспорт, авиация, судостроение* и целый ряд других отраслей.

Кроме перечисленных возможностей эффекта генерации тока, есть одно качество, которое позволяет использовать его в *медицине* для сбора информации о биологических объектах. Как известно, кровь это по существу электролит, а значит, ее можно использовать в качестве проводника.

Причем используя эффект генерации, не требуется пропускать значительные токи через человеческое тело (что опасно для людей с кардиостимуляторами) при снятии различных кардиограмм, энцефелограмм и т. д.

Приложив к человеческому телу только один общий конец обмотки возбуждения (точка О) согласно опыту 1 (рис. 4.17) и организовав *спиралеобразное* магнитное поле *вокруг или вне частей тела* человека, другим концом, идущим от гальванометра можно исследовать практически любые (в том числе все известные болевые) точки человека (точки 1, 2, 3, 4). Схематично такая система измерения может быть изображена, как это показано на рис. 4.33.

В настоящее время все больше внимание уделяется *нано* технологиям. Если переходить на этот уровень в медицине, то с помощью эффекта генерации, можно осуществлять доставку лекарств непосредственно к больной клетке или любой другой части человеческого организма.

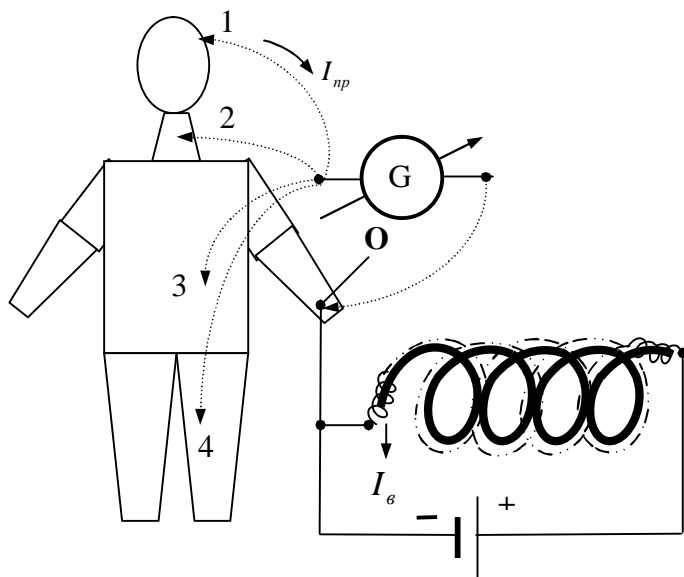


Рис. 4.33. Измерение электрического потенциала в биологических точках человека.

Электрофизиологи изучают реакцию ионных каналов на вещества-кандидаты в лекарственные препараты, измеряя изменения в окликах каналов на одни или другие лекарства. Обычно эти измерения производятся следующим образом: клетка помещается между двумя электродами, фиксирующими потенциалы клеточной мембраны.

Хотя такой метод изучения клеточных каналов уже автоматизирован, его ограничениями является большая длительность анализа и возможность повреждения клеток в ходе измерения [16]. Многочисленные мелкие сосуды, капилляры, мембраны и многие другие неназванные составляющие имеют одно общее свойство, все они являются проводниками или транспортными дорогами, по которым течет электролит (кровь, лимфа и т. п.). Движение ионов по клеточным каналам позволяет регулировать концентрации ионов в клетках, поддерживая, таким образом, их метаболизм. Эта способность

клеточных каналов делает их перспективными мишенями для лекарств, однако мембранные каналы слишком быстро реагируют на изменение концентрации, что затрудняет изучения механизма их действия.

Существует возможность на молекулярном уровне доставлять полезные для организма лекарства непосредственно в клетку, или то место, куда приходит сосуд, капилляр, мембрана или наоборот удалять вредные образования из клетки, сосуда, т. е. транспортировать вещества из одной точки организма в другую. И все это возможно осуществить, используя эффект генерации тока в неподвижном проводнике (читай сосуд, капилляр, клетка и т. д.). На рис. 4.34 показана схема для реализации такой возможности.

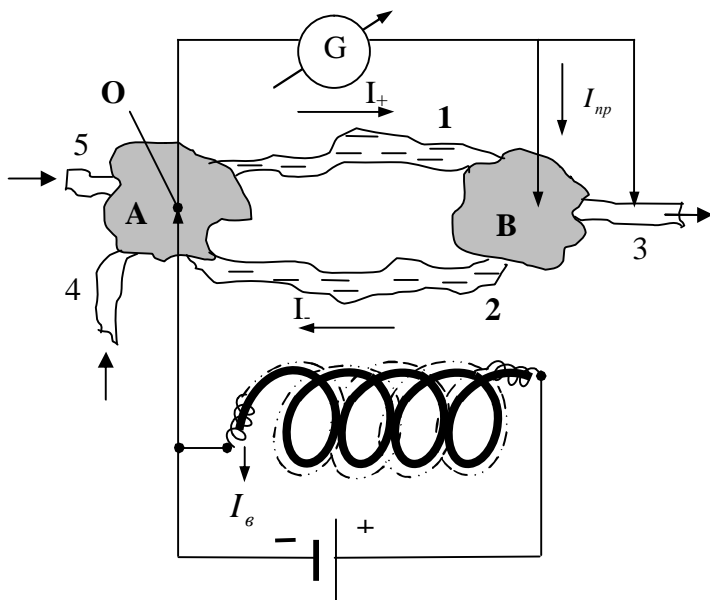


Рис. 4.34. Измерения и транспортировка лекарственных средств.

На рисунке 4.34 показаны здоровая **A** и больная область **B** биологического объекта, к которым примыкают сосуды (капилляры) 3, 4, 5. Между двумя зонами имеется связь по

сосудам (капиллярам) **1** и **2**. Изменяя напряжение источника тока, тем самым изменяя ток возбуждения *спиралеобразного* магнитного поля можно усиливать или ослаблять движение крови в этих сосудах. Смена полярности источника позволяет изменять направление тока в сосудах **1** и **2**. На рисунке 4.34 условно показано направление движение в сосудах  $I_+$  и  $I_-$  при смене полярности источника возбуждения магнитного поля.

Если в область **A** ввести лекарственный препарат, то с помощью спиралеобразного магнитного поля можно транспортировать лекарство в область **B**. Причем *этой операцией можно легко управлять изменяя ток возбуждения магнитного поля или изменяя шаг спирали*, так называемое «мягкое» управление, для того чтобы избежать повреждения мембраны или клетки.

Кроме этого, можно измерять токи, протекающие между отдельными узлами организма вплоть до клеточного уровня и принимать правильное решение об ослаблении или усилении связи между ними. Измерения можно проводить как между отдельными участками, так и между отдельными сосудами (капиллярами). Общая точка **O** служит для объединения обмотки возбуждения с гальванометром и сосудами, по которым протекает кровь, выступающая в роли проводника с током.

Дальнейшее исследование рассмотренного *способа* может расширить сферы применения *эффекта генерации* постоянного тока в *неподвижном проводнике, размещенном в или вне спиралеобразного магнитного поля*.

Итак, подводя *итоги этой главы*, можно выделить следующие основные моменты.

В этой главе подробно рассмотрен механизм генерации *постоянного* электрического тока в *неподвижном* проводнике, на который воздействуют *постоянным* магнитным полем. В четвертой главе приводятся теоретические положения электродинамики, согласно которым такой эффект невозможен (4.2). Однако, используя понятия макро и микроперемещение заряженных частиц в проводнике, а также положение, что заряженные частицы двигаются *спиралеобразно*,



экспериментально удалось получить электрический ток в проводнике.

Это стало возможным, когда *постоянное магнитное поле* было сформировано специальным образом, т. е. *спиралеобразно*.

В данном случае был получен *обратный эффект* тому, который подробно рассматривался в главе 3. Когда *не электрон* (ион), а *постоянное магнитное поле* было направлено по *траектории силы Лоренца*, свободные заряженные частицы (электроны, ионы) в проводнике получили квазипрямолинейное движение, которые и вызвали электрический ток (параграф 4.1).

В качестве доказательства существования *эффекта генерации*, в параграфе 4.3 подробно описаны эксперименты и условия, при которых проявляется данный эффект. Полученные опытные данные показали, что электрический ток, индуктированный в проводнике, имеет *линейные характеристики* и в значительной степени зависит от *шага спирали* магнитопровода и тока возбуждения магнитного поля.

В ходе научных исследований *впервые* обнаружено *свойство трансформации постоянного тока*. Это качество эффекта генерации имеет большие промышленные перспективы в тех отраслях промышленности, где применяется постоянный электрический ток, и прежде всего *на транспорте, авиации, судостроении* и др.

В параграфе 4.4 описаны перспективы и области применения эффекта генерации. Прежде всего этот эффект можно *широко внедрять в системы автоматического управления для измерения широкого спектра физических величин*. На его основе могут быть построены многофункциональные *датчики*, которые способны измерять различные технические параметры: *усилия, давление, температуру, расход и скорость течения жидкости (ионизированных газов), плотность и химический состав*. Рассмотренный способ получения постоянного электрического тока, может найти свое широкое применение *в медицине* для измерения и управления различными параметрами в биологических объектах, включая человека.

Перспективы использования рассмотренного *способа генерации электрического тока в неподвижном проводнике, помещенном в спиралеобразное постоянное магнитное поле*, не ограничены перечисленными областями и могут быть расширены в ходе дальнейших научных исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная цель науки – объяснение явлений окружающего мира. В той мере, в какой они становятся понятными, их можно использовать для человеческой цивилизации. Но что значит объяснить явления? Это широкое понятие включает в себя множество воззрений. Установить природу различных явлений и процессов, причинную связь между ними, открыть законы, управляющие взаимодействиями тел и объектов друг с другом, а также с полями, в которых они существуют, означает решить фундаментальные задачи, стоящие перед наукой.

Важное место в этом кратком списке задач занимает *структура или конфигурация* тела, вещества, объекта или явления, а также *уровень* их организации. Диапазон уровней колоссален: с одной стороны элементарные частицы (электроны, нейтроны, протоны и др.), с другой – Вселенная. Чем сложнее устроено вещество или явление, тем больше уровней структуры оно содержит. Однако, несмотря на такое множество уровней, существует некая связывающая *общность* или *свойство*, которые присуще совершенно *разным* телам, объектам и явлениям природы. И таким свойством является *«спиралеобразность»*. Исследованию этой *особенности* окружающего мира и была посвящена данная книга.

В *первой главе* были подробно разобраны примеры различных *спиральных* структур окружающего мира. Показан целый спектр явлений и объектов, которые были взяты *из совершенно разных* областей окружающего мира (от молекулы ДНК до Галактики). Анализ разных объектов обнаружил, что

каждое отмеченное явление или объект имеет одну и ту же характерную черту или общность. Все проанализированные объекты и явления несут в себе *подобный спиралеобразный характер* структуры, развития, роста или распространения. Причем этот характер не зависит от скорости изменения или движения отдельных составляющих. И *динамические и квазистатические явления характеризуются* одним и тем же главным признаком – *спиральной конфигурацией развития*.

По сути, уже исходя только из небольшого вводного материала, можно было сделать следующий важный вывод. **Спираль** является неотъемлемой частью любого известного процесса или явления природы, иначе говоря, *спиралеобразность – системная закономерность природы или общее свойство* материи, такое же, как электрическое, гравитационное и магнитное поля. Если это так, то естественно возник вопрос, *почему в основе совершенно далеких друг от друга явлениях и объектах природы образуется именно спираль*, а не прямая линия, квадрат, круг или любая другая геометрическая фигура.

Чтобы ответить на этот непростой вопрос, было рассмотрено типичное *спиралеобразное* явление «торнадо». Главной причиной выбора именно **явления** «торнадо», а не другого объекта или явления следует считать то, что в явлении **торнадо** заключены такие отличительные признаки, которые присущи множеству *других явлений и объектов* окружающего мира. И конечно, *ключевым* из таких характерных свойств, является *механизм формирования, развития и спиралеобразная конфигурация*. С такой точки зрения, *общности различных явлений или системной закономерности*, до сих пор задача о причинах происхождения *торнадо* не рассматривалась.

Ввиду этого, **во второй главе** проанализированы основные *причины и условия* возникновения этого катаклизма природы, причем именно *с осознанием единства* образования *спиральных структур* для различных явлений природы. Существует и еще одна немаловажная причина выбора явления *торнадо* в качестве базовой, отправной точки. Это природное

явление до сих пор является большой *загадкой*. Объяснению этого явления посвящено огромное количество научных работ, но до сих пор *единого мнения* на это явление не существует. Продолжающиеся ежегодно катастрофические разрушения от этого страшного явления, убедительно показывают, что *веского* ответа на вопрос о *причинах происхождения* этого катаклизма природы и *средств борьбы* с ним пока еще не найдено.

В результате всестороннего анализа причин и условий происхождения торнадо, проведенного *во второй главе*, были выявлены две первостепенные причины: *электрический разряд* в атмосфере, т. е. *молнии* и *неоднородное магнитное поле*.

*Первое необходимое условие* выполняется тогда, когда в атмосфере Земли формируется грозовая ячейка или иначе грозовое облако. Чем *больше* накапливается электричества в грозовом облаке, тем *мощнее* молния, а, значит, *мощнее* может сформироваться «*торнадо*» в атмосфере Земли.

Вследствие скопления атмосферных электрических зарядов у земной (водной) поверхности и у нижней границы грозовой ячейки образуются *дополнительные* магнитные полюса. Образование таких *дополнительных* магнитных полюсов в *районе экваториальной зоны* Земли, ведет к изменению направления магнитных силовых линий Земли. Это легко объяснить тем, что в *экваториальной* области меняется *полярность* полюсов Земли, а магнитный потенциал Земли достигает минимума и близок к нулю. Теперь достаточно появления в этом районе *небольшого дополнительного* магнитного полюса, чтобы *изменить направление магнитных силовых линий* Земли с обычного (вдоль магнитного меридиана) направления на перпендикулярное (магнитному меридиану) направление.

Такое *изменение направления* силовых магнитных линий Земли приводит к образованию *неоднородного* магнитного поля в зоне с грозовой активностью. Создание *неоднородного магнитного поля* является *вторым необходимым условием* для развития явления «*торнадо*». В результате образования *неоднородного* магнитного поля, *под действием силы Лоренца*,

заряженные частицы грозового облака под воздействием электрического поля грозового облака начинают двигаться *по суживающейся спирали* к земной поверхности вдоль *измененных* силовых магнитных линий Земли, постепенно все, более закручиваясь и ускоряясь. В итоге такого движения образуется *спираль или вихрь*, в который начинают втягиваться различные частицы атмосферы, что и приводит к появлению «хобота» *торнадо*.

Образованию *дополнительного* магнитного поля у поверхности Земли во многом *способствуют молнии*, которые сами имеют *спиралеобразный* характер. Для того, чтобы строго доказать, *что молния* формируется как *спираль*, а не плоский «зигзаг», следует получить *трехмерное изображение* молнии. Такой фотоматериал достать не так - то просто, поскольку в этом случае пришлось бы фотографировать молнию одновременно с трех точек пространства: по осям X, Y, Z. Поэтому существующие фотографии молний передают *только плоскую картину* этого природного явления.

Чтобы получить *объемное* изображение молнии необходимо знать точное *время* и *точные координаты* хотя бы *зоны* удара молнии. Поскольку оба этих параметра не поддаются точному расчету, а являются *случайными* величинами, то изучение, анализ и доказательство спиралеобразного характера молнии естественно связано с объективными трудностями. *Съемка реальной молнии в вертикальном направлении (по оси Z)* вообще представляется *фантастической* по понятным причинам.

Однако можно получить фото и видео материалы *электрического разряда*, который реализован в лабораторных условиях. Ведь, в сущности, природа молнии очень *близка* к электрическому разряду, осуществленному в воздухе в условиях лаборатории. Именно поэтому *в третьей главе* были подробно рассмотрены вопросы *траекторий и форм движения* электрических зарядов при электрических разрядах в воздухе в условиях лаборатории. Исследования движения электрических разрядов, проведенные в лабораторных условиях, показали, что

они действительно носят спиралеобразный характер вдоль пути следования от одного электрода к другому. Для этого в третьей главе приводится широкий спектр экспериментальных фотографий, полученных при видеосъемке электрических разрядов в воздухе. Причем видеосъемка проводилась в трех осях координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ : при горизонтальном, вертикальном и осевом расположении видеокамеры. Форма движения электрических зарядов по пути следования непосредственно в канале разряда также соответствует спиралеобразной линии. Представленный в третьей главе экспериментальный фотоматериал подтверждает этот вывод.

Результатом анализа траекторий и форм движения электрических разрядов стало важное заключение. Всегда, в любых объектах, имеющих спиралеобразную конфигурацию, образование разности потенциалов между областями с противоположным знаком, приводит к появлению движения зарядов (тока) и созданию магнитных полюсов разной полярности в заряженных областях. В таком неоднородном магнитном поле, заряды начинают двигаться по спиральной траектории за счет сил Лоренца. Чем выше значение электрического потенциала, тем выше скорость движения зарядов. Образование спиральной формы траектории движения электрических зарядов при наличии электрического потенциала между двумя областями пространства, позволяет объяснить многие явления в природе, в том числе рост и развитие растений, которые были рассмотрены в первой главе.

Проведенный в третьей главе анализ траекторий и форм перемещения электрических зарядов, представленные эксперименты и осознание движения электрических зарядов под воздействием электрического и магнитного поля как спиралеобразного движения, дало возможность подойти к открытию нового механизма генерации электрического тока в неподвижном проводнике в постоянном магнитном поле.

В четвертой главе подробно рассмотрен механизм генерации постоянного электрического тока в неподвижном проводнике, на который воздействуют постоянным магнитным

полем. Это стало возможным тогда, когда *постоянное магнитное поле* было сформировано специальным образом, а, именно, *спиралеобразно*. В таком случае был получен *обратный эффект* тому, который подробно рассматривался во *второй и третьей* главе. Когда не *заряд* (электрон, ион), а *постоянное магнитное поле* было направлено по *траектории силы Лоренца*, свободные заряженные частицы (электроны, ионы) в проводнике получили *квазипрямолинейное движение*, которые и вызвали электрический ток. В качестве доказательства существования *эффекта генерации*, в *четвертой* главе подробно описаны эксперименты и условия, при которых проявляется данный эффект. Полученные опытные данные показали, что электрический ток, индуктированный в проводнике, имеет *линейные характеристики* и зависит от *шага спирали* магнитопровода и *тока возбуждения* магнитного поля.

В ходе научных исследований *впервые* обнаружено *свойство трансформации постоянного тока*. Это качество *эффекта* имеет большие промышленные перспективы и особенно в тех отраслях промышленности, где применяется постоянный электрический ток, и, прежде всего *на транспорте, авиации, судостроении* и др.

Прежде всего этот *эффект* можно *широко внедрять в системы автоматического управления для измерения широкого спектра физических величин*. На его основе могут быть построены *многофункциональные датчики*, которые способны измерять различные технические параметры: *усилия, давление, температуру, плотность, расход и скорость течения жидкости (ионизированных газов), и даже химический состав*. Рассмотренный способ получения постоянного электрического тока, может найти свое широкое применение и *в медицине* для измерения и управления различными параметрами в биологических объектах, включая человека.

Перспективы использования рассмотренного *способа генерации электрического тока в неподвижном проводнике, помещенном в спиралеобразное постоянное магнитное поле*, не

ограничены перечисленными областями и могут быть расширены в ходе дальнейших научных исследований.

Представленный материал позволяет несколько *по-иному* увидеть те знакомые и очевидные окружающие нас предметы, объекты и явления, которые повседневно окружают нас, наш мир, наконец, нашу Вселенную.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике. Ч. 5. Электричество и магнетизм. М.: Мир, 1977г., 300с.
2. Кошкин Н.И. и Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1964, с. 246.
3. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1977, с. 591.
4. Яворский Б.М. и Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1968, с. 939.
5. Грабовский Р.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1970, с. 615.
6. Каганов М.И., Цукерник В.М. Природа магнетизма. М.: Наука, 1982, с. 192.
7. Oersted H.Ch. Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. - Hafniae, 1820. Г.Х. Эрстед. Опыты по действию электрического конфликта на магнитную стрелку. - Гафния, 1820. (Русский перевод с немецкого Гильберта). - В кн.: П. Лакур и Я. Аппель. Историческая физика. - Одесса, 1908, с. 334-337.
8. Д. Гурский, Е. Турбина. Вычисления в Mathcad 12. – СПб.: Питер, 2006г., 544с.
9. А. Кирьянов. Самоучитель Mathcad 13. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006г, 528с.
10. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad 14. – СПб.: Питер, 2007. Петербург, 2007г, 592с.



11. Горшин В.В., Пашенко Ф.Ф., Бусыгин Б.П. Физические процессы в жидкости под воздействием электрического разряда. – М.: Издательство «Карпов» 2005. – с.120
12. А.Е. Каплянский, А.П. Лысенко, Л.С. Полотовский. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1972г., 447с.
13. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1973, с. 750.
14. Бусыгин Б.П., Дмитриев И.М., Круковский Л.Е. Способ Бусыгина генерирования электрического потенциала и устройство для его реализации. Роспатент, патент № 2070765, Российская Федерация, 20.12.96. Бюл. № 35.
15. Горшин В.В., Б.П. Бусыгин, Ф.Ф. Пашенко. Логические методы в электродинамике. М.: ЦП ВАСИЗДАСТ, 2007г. -352с.
16. Элоди Дахан (Elodie Dahan). Чип для электрофизиологических измерений. Статья на сайте <http://www.chemport.ru>, источник: Lab. Chip.2008.DOI: 10. 1039/bk 806404K.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.</b>	4
<b>ГЛАВА 1. СПИРАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ В ОКРУЖАЮЩЕМ МИРЕ.</b>	7
<b>ГЛАВА 2. О ПРИЧИНАХ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ «ТОРНАДО».</b>	35
2.1 Электричество в атмосфере.	36
2.2 Происхождение токов в атмосфере.	41
2.3 О магнитном поле Земли.	52
2.4 Механизм возникновения явления «торнадо».	71
<b>ГЛАВА 3. ТРАЕКТОРИИ И ФОРМЫ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В ВОЗДУХЕ.</b>	95
3.1 Область и точка пространства электрического заряда.	95
3.2 Эксперименты с электрическим разрядом.	104
3.3. Моделирование траекторий движения электрических зарядов.	127
3.4. Уравнения движения электромагнитной волны. Образование магнитных полюсов в зоне электрического разряда.	138

**ГЛАВА 4. ЭФФЕКТ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В НЕПОДВИЖНОМ ПРОВОДНИКЕ В СПИРАЛЕОБРАЗНОМ ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ.**

.....	183
4.1. Еще раз о движении заряженной частицы в постоянном магнитном поле и силе Лоренца. .....	185
4.2. Основные схемы получения эффекта генерации электрического потенциала в неподвижном проводнике. .....	195
4.3. Эксперименты с эффектом генерации электрического тока в неподвижном проводнике, расположенном в спиралеобразном постоянном магнитном поле. .....	210
4.4. Перспективы применения эффекта генерации тока в неподвижном проводнике в спиралеобразном магнитном поле. .....	229
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.</b> .....	242
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	248
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b> .....	250

*Владимир Викторович Торшин*

**Спиральные образования в природе и  
электродинамике**

М., 2008 г., 251 стр. с илл.

Формат 60\*84/16. 16,9 усл. п.л. Печать цифровая.  
Подписано в печать. 10.11.2008. Зак. 47, Тираж 400экз.

Отпечатано в ЦП «Васиздаст»  
Москва 127055, ул. Палиха. д. 10  
Тел.:(495) 252-95-27.

