

Э. Резерфорд

Избранные научные труды

Радиоактивность

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Э1

Э1 **Э. Резерфорд**
Избранные научные труды: Радиоактивность / Э. Резерфорд – М.: Книга по Требованию, 2023. – 432 с.

ISBN 978-5-458-32851-7

Серия "Классики науки". Книга представляет собой избранные труды выдающегося физика XX века Эрнеста Резерфорда, посвященные в основном радиоактивности. Издание было приурочено к 100-летию со дня рождения Э. Резерфорда и 75-летию со дня открытия радиоактивности. Настоящее издание — первое собрание научных трудов Э. Резерфорда на русском языке — это дань тем чувствам восхищения и благодарности, которое испытывает человечество перед выдающимся ученым, одним из создателей физики XX в.

ISBN 978-5-458-32851-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригиналe, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

НАМАГНИЧИВАНИЕ ЖЕЛЕЗА ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ РАЗРЯДАМИ *

I. Намагничивание железа разрядами лейденской банки

Вопрос о намагничивании железа в быстро меняющихся полях рассматривали более или менее полно многие ученые, особенно Лодж, Дж. Дж. Томсон, Герц и др. В книге Лоджа «Современные представления об электричестве» [1] находим следующее: «Но в случае разряда лейденской банки у железа нет преимуществ. Ток колеблется так быстро, что любое железо, введенное в контур, даже если оно сделано в виде тонких проволочек, защищено от магнетизма обратными токами, наведенными в его внешнем слое, и поэтому не намагничивается, а вследствие возрастания индуктивности разрядного контура оно, несомненно, уменьшает его обратным действием этих наведенных токов; фактически оно действует почти так же, как того можно было бы ожидать от меди».

В книге Флеминга «Трансформатор переменного тока» [2, стр. 398] приведено описание экспериментов Лоджа по поведению железа в быстро меняющихся полях: «Что касается кажущегося превосходства железа, то естественно было бы предположить, что, поскольку магнитная проницаемость железа придает ему большую индуктивность, в случае разряда с резким изменением электрической энергии оно окажется менее подходящим проводником. Благодаря тому, что ток проникает только в наружный слой проводника, намагничивается лишь небольшая масса железа, даже если эти мгновенные разряды способны намагнитить железо... электродвижущие импульсы, или внезапные броски электричества, не намагничают железа, а следовательно, оно не обладает большей собственной индуктивностью, нежели немагнитные проводники тех же размеров».

Герц в своих экспериментах с колебательным контуром пришел к выводу, что железо немагнитно при очень больших частотах. В кратком изложении исследований Герца Флеминг говорит (т. 1, стр. 416): «Герц предположил, что поскольку собственная индуктивность железных проволок для медленных колебаний в восемь — десять раз больше, чем медной проволоки, то, следовательно, короткая железная проволока была бы эквивалентна длинной медной, но оказалось, что это не так, и тогда он решил, что из-за большой частоты колебаний магнетизм железа неспособ-

* Transactions of the New Zealand Institute, 1894, 27, 481—513, Доложено в Институте философии в Кентербери 7 ноября 1894 г.

бен следовать за ними и, следовательно, не влияет на индуктивность». И снова (стр. 423): «Когда проволока была окружена железной трубой или когда она заменялась железной проволокой, ощутимого результата не достигалось, что подтверждает ранее высказанное заключение, по которому магнетизм железа неспособен следовать за столь быстрыми колебаниями и поэтому не оказывает заметного влияния».

Однако Стефан показал, что можно ожидать очень малого изменения индуктивности проволоки, даже если она магнитная, за счет большей концентрации тока в магнитном проводнике на поверхности проволоки.

Дж. Дж. Томсон показал [3], что железный цилиндр, помещенный в соленоид, поглощает за счет более высокой проницаемости железа значительно больше энергии, чем подобный немагнитный проводник равной проводимости.

Дж. Траубридж [4] показал, что сопротивление железных проволок приводит к значительному затуханию электрической энергии, и пришел к выводу, что железо должно иметь весьма высокую проницаемость для объяснения наблюдаемых эффектов.

Наконец, на последней странице книги Грея «Абсолютные измерения» [5] утверждается, что колебания сильнее затухают в резонаторе, если применяется железная проволока, а не медная.

Чтобы исследовать эффект «магнитного проникновения» в железо для полей, меняющихся гораздо быстрее, чем можно было бы получить при использовании «временной аппаратуры», наиболее подходящим и легко доступным средством получения очень быстро переменного тока явился разряд обычной лейденской банки.

Вопрос о намагничивании железа в таких полях со временем экспериментов Герца по влиянию разрядов лейденской банки на намагничивание стальных игл мало дискутировался.

В экспериментах, описываемых в данной статье, будет показано, что железо обладает сильными магнитными свойствами в быстро переменных полях, даже когда частота превышает 100 млн. колебаний в секунду.

На маленькую стеклянную трубку был намотан соленоид, состоящий из 60 витков проволоки, с плотностью намотки семь витков на сантиметр. Лейденская банка, заряженная до подходящего потенциала машиной Фосса, разряжалась через соленоид, и любое железо, помещенное внутрь соленоида, независимо от того, представляет ли оно сплошной кусок или набор игл, всегда оказывалось более или менее намагниченным разрядом.

На рис. 1 *C* — обычная лейденская банка, *A* — соленоид, *S* — разрядный промежуток.

Весь разряд проходил через соленоид *A*. После прохождения разряда иголки исследовались с помощью небольшого зеркального магнитометра. Этот магнитометр применяется во всех последующих экспериментах для проверки намагниченности иголок, поэтому кратко опишем его устройство. Он был сделан по образцу, описанному в книге Грея «Абсолютные измерения» [5, т. 2, стр. 79]. Иголка была небольшой и помещалась

в полость так, что почти полностью там скрывалась. Для увеличения отклонения использовались лампа и шкала. Значение горизонтальной компоненты магнитного поля Земли на игле составляло 0,22 и оставалось практически постоянным, так как proximity не было железа.

Вначале было установлено, что разрядный ток машины Фосса не действует на иглу, помещенную в соленоид. Машину Фосса раскручивали так, чтобы заряжать банки немного ниже потенциала, необходимого для пробоя между головками S . Затем игла удалялась и проверялась магнитометром. Никакого эффекта не наблюдалось.

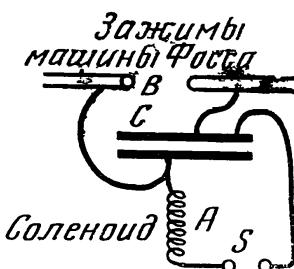


Рис. 1

Сначала исследовалось влияние разряда на иглы разного диаметра; длина игл равна 7 см:

1) часть стальной вязальной спицы диаметром 0,103 дюйм; отклонение 112, расстояние от иглы магнитометра 9 см;

2) стальная фортепианская струна, диаметр 0,032 дюйм; отклонение 40, расстояние от магнитометра 9 см;

3) тонкая стальная проволока, диаметр 0,008 дюйм; отклонение 10, расстояние от магнитометра 9 см:

Диаметр, дюйм	Отклонение
0,103	112
0,032	40
0,008	10

Из этих экспериментов видно, что отклонение почти пропорционально диаметру проволоки. Этого следует ожидать, так как намагничающие силы ограничены тонким поверхностным слоем вещества. Величина намагченности проволоки пропорциональна поверхности железа, а не площади его поперечного сечения, как при намагничивании постоянным током. Чтобы показать, что эффект является поверхностным и совсем не проникает в глубину, иголка помещалась в цилиндр из тонкой меди. Игла не давала заметного отклонения, показывая, что медный цилиндр полностью заэкранировал любое влияние на железо. Тонкий внешний железный цилиндр приводил к такому же эффекту.

Чтобы точно определить состояние иглы после разряда, использовался метод растворения железа. После нескольких предварительных опытов было найдено, что наиболее надежные результаты дает разбавленная HNO_3 при температуре кипящей воды. Чтобы проверить скорость, с которой стравливается железо, был взят кусок фортепианной струны длиной 6,5 см и диаметром 0,032 дюйм и помещен в соленоид, где был подвергнут действию постоянного поля в 100 эл.-стат. ед. В дальнейшем предполагалось, что при этом игла намагничила однородно по сечению.

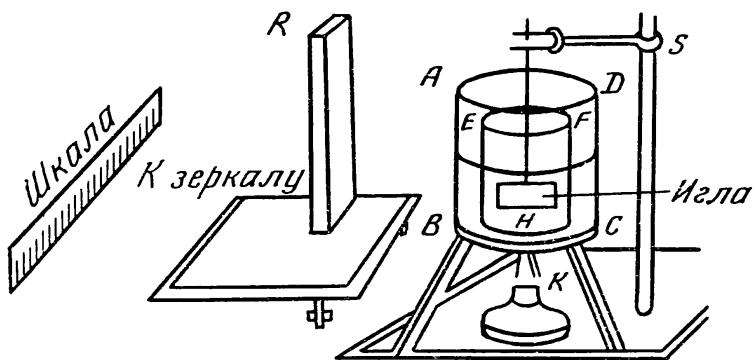


Рис. 2

На рис. 2 *EHF* — стеклянный сосуд внутри другого стеклянного сосуда *ABCD*, который установлен на медном треножнике. Горелка *K* поддерживает кипение воды во внешнем сосуде. Во внутреннем сосуде, не касаясь его, расположена игла, жестко закрепленная концами в легкой рамке. Эта рамка подвешена на отдельной стойке *S*.

Игла закреплена горизонтально на таком расстоянии *R* от магнитометра, чтобы она давала заметные отклонения на шкале. По мере того, как вода нагревается до точки кипения, отклонение, вызываемое иглой, немного уменьшается из-за влияния температуры на магнитный момент иглы.

Рядом на подставке в мензурке с кипящей водой находится разбавленная HNO_3 , и, когда все готово, HNO_3 быстро переливают в сосуд *EHF* так, чтобы не потревожить иглы. В момент, когда HNO_3 достигает в сосуде уровня иглы, отмечается время, так как с этого мгновения игла начинает растворяться. Наливается столько HNO_3 , чтобы покрыть иглу на полдюйма.

По мере того, как игла растворяется, отклонение уменьшается, и его значение отмечалось в разные моменты времени. Этот способ — сначала закрепление иглы, а потом вливание кислоты — был неизбежен, так как иначе нельзя получить максимального отклонения, вызванного игрой. Поддерживая HNO_3 при 100°C и быстро перенося ее в сосуд (в свою очередь окруженный кипящей водой), мы обеспечиваем такие условия, чтобы игла покрывалась HNO_3 одной и той же температуры в течение всего времени растворения. Так как количество кислоты велико по сравнению с

иглой, влияние растворения железа не изменяет заметно скорости растворения иглы.

Оказалось, что однородно намагниченная стальная игла растворяется очень равномерно, пока не уменьшится до чрезвычайно тонкой нити, которая разламывается, когда отклонение магнитометра упадет до трех делений. Ниже приведены результаты эксперимента с однородно намагниченной иглой (диаметр иглы 0,032 дюйм, постоянное отклонение перед тем, как вливается кислота, равно 222):

Время после начала растворения, сек	0	30	49	56	90	115	139	206
Отклонение	222	217	195	177	157	147	137	107
Время после начала растворения, сек	246	311	373	414	454	566	638	
Отклонение	97	77	57	47	37	17	7	

Следовало бы ожидать, что скорость растворения металла в каждый момент пропорциональна поверхности металла в этот момент, т. е. радиусу проволоки. Это очень точно соблюдается в описанном выше эксперименте. Отклонение магнитометра в каждый момент пропорционально поперечной площади проволоки, т. е. квадрату радиуса. Следовательно, радиус проволоки в любой момент известен.

Если нарисовать кривую, по абсциссе которой отложить время, а по ординате — радиус проволоки в различные моменты, то оказывается, что она представляет собой почти прямую линию, за исключением нерегулярностей в начале кривой.

Затем была взята стальная игла диаметром 0,032 дюйм и намагниченена пропусканием через соленоид разряда от четырех лейденских банок, соединенных в параллель. Разрядный промежуток составлял 0,1 дюйм. Была сделана поправка на уменьшение отклонения при помещении иглы в разбавленную HNO_3 при 100°C (рис. 3).

Ниже приведены значения отклонения в разные моменты времени. Для удобства вычерчивания кривых значения времени и отклонения нормированы:

Абсцисса	0,0	0,7	1,7	3,2	4,2	5,2	6,2	7	8
Ордината	8,5	12,5	14	15	15,3	15,6	15,5	15	14
Абсцисса	9,2	10,5	11,7	12,9	14,4	16,2	18,2	20,2	
Ордината	12	10	8	6	4	2	1	0,5	

Сначала устойчивое отклонение равнялось 85. Как только железо начало стравливаться, отклонение стало быстро расти и достигло максимума 156. Короткое время оно оставалось постоянным на максимальном значении, а затем быстро упало до нуля. Когда отклонение упало до нуля,

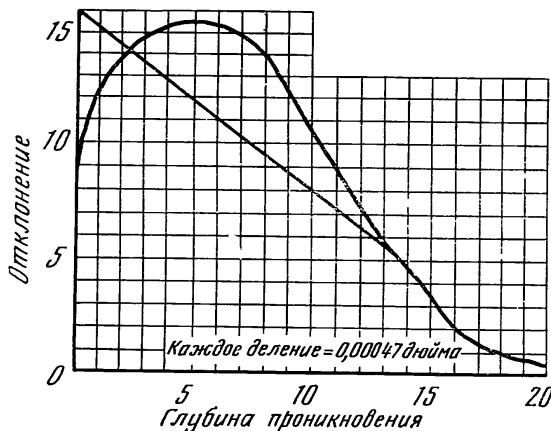


Рис. 3

вого слоя на расстоянии r от центра иглы, а через M — отклонение магнитометра в некоторый момент времени, то

$$\int I 2\pi r dr \sim M$$

и

$$Ir \sim \frac{dM}{dr}.$$

Если a — первоначальный радиус иглы, то, как показано, $(a-r)$ пропорционально t (времени действия кислоты).

Пусть

$$a - r = Kt,$$

тогда

$$-dr = K dt,$$

и, подставляя в уравнение, получаем $I(a - Kt) \sim dM/dt$, так как $dr \sim dt$, откуда

$$I \sim \frac{1}{a - Kt} \frac{dM}{dt}.$$

Итак, dM/dt представляет собой значение тангенса угла, который образует касательная в любой точке верхней кривой (см. рис. 3) с осью абсцисс. Следовательно, величина dM/dt известна из этой кривой. Поэтому мы можем определить кривую изменения I от поверхности к центру, хотя нет достаточно данных, чтобы вычислить абсолютное значение I .

Кривая на рис. 4 примерно отражает изменение намагниченности от поверхности внутрь. Ординаты соответствуют I — интенсивности намагничивания, а абсциссы — расстоянию от внешней поверхности проволоки.

Получается, что поверхностный слой намагничивается в противоположном направлении по отношению к основной части намагниченного металла.

игла была удалена из сосуда, ее диаметр был измерен, и оказалось, что он равен 0,013 дюйм. Следовательно, глубина магнитного проникновения составила 0,0095 дюйм.

Из результатов опытов по травлению однородно намагниченных иголок видим, что глубина, до которой растворяется железо, пропорциональна времени. За 200 сек растворения толщина составила 0,0095 дюйм, скорость растворения равна 0,000047 дюйм/сек.

Если через I обозначить интенсивность намагничивания тонкого круго-

По мере того, как мы идем внутрь от поверхности, интенсивность намагничивания быстро спадает, пока в точке A мы не достигнем той части металла, которая не намагнечена. Назовем ее «нейтральной точкой».

При проникновении еще дальше намагнченность меняет знак и быстро возрастает до максимума, который, вероятнее всего, соответствует насыщению стали. Затем интенсивность остается практически постоянной, пока в точке D она не начинает быстро падать к нулю.

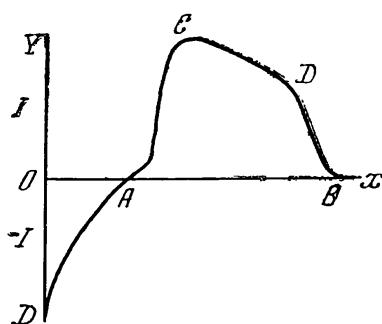


Рис. 4

Из характера изменения намагнченности внутри металла очевидно, что железо подверглось влиянию колебательного разряда. Первый полуperiод проник на глубину 0,001 дюйм, который на рисунке соответствует расстоянию OB . Нейтральная точка A находится на расстоянии 0,00025 дюйм от поверхности. Второй полуperiод, очевидно, существенно уменьшился по амплитуде, так как его глубина проникновения составляет только около четверти глубины проникновения первого разряда.

В этом опыте получено доказательство существования только двух полуperiодов. Исследовалось несколько иголок, которые намагничивались под влиянием разных полей и при разных длинах разрядного промежутка, но существование второго колебания нельзя было с уверенностью обнаружить.

Все использованные иголки давали один и тот же общий результат, т. е. тонкий поверхностный слой, намагнченный в одном направлении, и более толстый внутренний слой, намагнченный в противоположном направлении.

В одном из исследованных случаев глубина проникновения первого разряда была значительно меньше 0,001 дюйм. Исследовалось также влияние изменения емкости конденсатора при постоянных индуктивности и искровом промежутке.

В первом опыте четыре лейденских банки соединялись параллельно, и глубина проникновения при этом, как оказалось, равна 0,01 дюйм. В следующем опыте две лейденских банки были размещены последовательно и было найдено, что глубина проникновения равна 0,0035 дюйм.

Следовательно, в первом случае разряд проник на расстояние в 2,8 раза больше, чем во втором. Но емкость в первом случае была в 8 раз больше, чем во втором; так как $\sqrt{8} = 2,8$, то, следовательно, из этого эксперимента видим, что глубина проникновения пропорциональна квадратному корню из емкости.

Из уравнения разряда лейденской банки емкостью C через индуктивность L следует, что максимальный ток выражается так:

$$j = \frac{CV_0}{(LC)^{1/2}} e^{-\frac{R}{2L} t},$$

где V_0 — потенциал заряда; R — сопротивление контура.

Следовательно, ток меняется как \sqrt{C} . Поэтому глубина проникновения пропорциональна максимальному току.

II. Влияние последующих разрядов на магнетизм иглы

Наблюдения показали, что намагниченность иглы увеличивается при пропускании большого числа импульсов в одном направлении. Во всех экспериментах, описанных ниже, использовалась однородно намагниченная игла и наблюдалось влияние разряда на уменьшение отклонения, вызванного иглой. Однородно намагниченная игла обладает многими

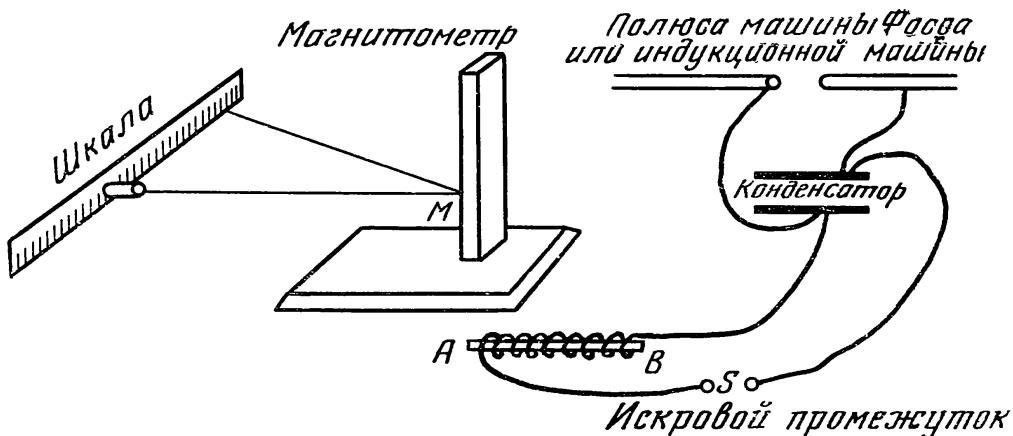


Рис. 5

преимуществами по сравнению с ненамагниченной обычной иглой. Эти преимущества нет необходимости обсуждать здесь, так как они будут достаточно очевидны в дальнейшем.

Был намотан соленоид из большого числа витков, и через него пропускали ток от батареи, достаточный, чтобы создать в соленоиде поле более 100 эл.-стам. ед. Таким образом, при необходимости стальную иглу намагничивали практически до насыщения, помещая ее в соленоид с током.

Конденсатор (рис. 5) заряжался машиной Фосса или индукционной

машиной. В большинстве последующих экспериментов использовалась индукционная машина.

Помещенный сзади магнитометра соленоид AB имел плотность намотки примерно три витка на сантиметр. Игла сначала насыпалась, а затем помещалась в соленоид на таком расстоянии от магнитометра, чтобы создаваемое ею отклонение было достаточно заметным. Когда в S происходила искра, отклонение, вызываемое иглой в AB , уменьшалось. Наблюдалось, что влияние колебаний на иглу с первым разрядом не прекращалось, а отклонение постепенно уменьшалось после каждой прошедшей искры, пока, наконец, железо не достигало устойчивого состояния и дальнейших изменений не происходило, хотя после этого пропускали еще много искр.

Существовало также заметное различие эффектов, обусловленных разрядами в противоположных направлениях при одной и той же насыщенной игле.

1. Когда первый полупериод имел тенденцию намагнитить иглу в том же направлении, в котором она уже была намагниченена, он не оказывал влияния на иглу, которая уже была насыщена. Второй полупериод имел тенденцию размагнитить иглу, третий намагнитить ее, и т. д.

Как пример влияния последних результатов в этом случае, приведем следующие результаты:

Номер искры	0	1	2	Несколько искр
Устойчивое отклонение	252	226	217	210

2. Когда первый полупериод имел тенденцию размагнитить иглу, влияние нескольких разрядов на уменьшение отклонения оказывается гораздо большим:

Номер искры	0	1	2	3	4	5	6	9	10	20
Устойчивое отклонение	252	156	102	83	67	54	45	25	15	10

Отклонение не падает ниже десяти делений, хотя прошло много искр. Железо достигло устойчивого состояния. Постепенное размагничивание железа следующими один за другим разрядами хорошо иллюстрируется приведенными выше данными. Причина эффекта сначала была неясна, но дальнейшие опыты показали, что он обязан быстрому затуханию колебаний. Первое колебание размагничивает поверхностные слои и, вероятно, намагничивает тонкую поверхностную оболочку до насыщения в противоположном направлении. Второй полупериод стирает часть этого противоположно направленного магнетизма, но на несущественную глубину, так как амплитуда колебаний к этому времени сильно уменьшается. Третий полупериод имеет тенденцию снова намагнитить железо, и т. д.

Когда следующий разряд проходит через соленоид, первый полупериод должен прежде всего размагнитить или намагнитить поверхностные слои

в направлении, противоположном магнетизму иглы. Когда он проникает через тонкий поверхностный слой, магнитная сила наталкивается на слой железа, обладающий низкой проницаемостью, так как большая часть уже намагниченна почти до насыщения в том же самом направлении действием первого полупериода первого разряда. Поэтому второй разряд проникает дальше, так как мы знаем, что магнитная сила проникает глубже в такой проводник, как медь ($\mu = 1$), нежели в такой проводник, как железо, где μ может быть значительным. Еще больше железа размагничивается, и отклонение уменьшается. Это продолжается по мере того, как проходит искра за искрой, пока, наконец, разряд не сможет проникать дальше. Это соответствует устойчивому состоянию. С помощью растворения иглы было найдено, что под действием такой последовательности разрядов отклонение устойчиво возрастает, по мере того как игла стравливается, показывая, что поверхностный слой намагничен в направлении, противоположном направлению намагничивания центральной части.

В подробно описанном выше эксперименте было обнаружено, что разряд проникает почти на четверть радиуса, т. е. на расстояние 0,008 дюйм. Когда эксперименты проводились с тонкими стальными иголками, они часто полностью размагничивались и намагничивались в противоположном направлении последовательными разрядами (например, тонкая стальная игла, диаметр 0,008 дюйм):

1. Влияние второго полупериода и последующих:

Номер искры	0	1	2	3
Отклонение	150	80	55	50 и т. д.

2. Влияние первого полупериода и последующих:

Номер искры	0	1	2	3
Отклонение	150	-15	-120	-140

Этот эффект наблюдается в мягким железе, как и у стальных иголок.

Разница между действием первого и второго полупериодов на размагничивание железа очень заметна. Опыты отчетливо показывают, как быстро затухают колебания по амплитуде. Если мы пользуемся контуром с емкостью около 1000 эл.-стат. ед. и малой индуктивностью, то наиболее вероятно, что происходит только одно полное колебание. Другие затухают до такого уровня, что становятся несущественными. Тот факт, что отклонение, вызванное иглой, всегда уменьшается, независимо от направления первого колебания, ясно показывает, что разряд носит осцилляторный характер. Если бы существовал только односторонний разряд, игла подвергалась бы воздействию только при определенном направлении разряда.

Простые эксперименты такого рода с обычными стальными иглами показали, что разряд лейденской банки является переменным и что амплитуда колебаний быстро затухает. Позднее будет дан способ вычисления отношения амплитуд первого и второго полупериодов.