



**Г.С. ГУРЕВИЧ
С.Н. КАНЕВСКИЙ**

**ФИЗИКА,
ПОНЯТНАЯ ВСЕМ**

**ИНДУКЦИЯ,
ВЗАИМОИНДУКЦИЯ,
САМОИНДУКЦИЯ –
ЭТО ПРОСТО**

/теория абсолютности/

УДК 533
ББК 63.22
Г95

Гуревич Г.С., Каневский С.Н.

Г95 Индукция, взаимоиндукция, самоиндукция – это просто.
Теория абсолютности.
– М.: ИПО «У Никитских ворот», 2015 – 116 с.

ISBN 978-5-906787-17-0

Процесс взаимодействия электронов изменяющегося электромагнитного поля с электронами проводников, находящихся в этом электромагнитном поле, называют электромагнитной индукцией. В результате этого взаимодействия в проводнике создаётся индукционный ток.

В книге исследован процесс индукции, взаимоиндукции и самоиндукции на уровне взаимодействия электронов электромагнитных полей с электронами проводников, находящихся в этих электромагнитных полях.

В книге доказано, что электроны, образующие электромагнитные поля проводников катушки, образуют импульсное поле катушки.

В книге доказано, что сердечник, вставленный в катушку, образует магнитное поле.

В книге доказано, что поле соленоида образовано тремя полями: электромагнитными полями проводников катушки, импульсным полем катушки и магнитным полем сердечника.

На уровне взаимодействия электронов, образующих электромагнитные поля проводников катушки, импульсные поля катушек и магнитные поля сердечников, объяснена работа трансформатора.

ISBN 978-5-906787-17-0

© Гуревич Г.С., 2015

СОДЕРЖАНИЕ

§1 ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ	11
1.1 Движение проводника в магнитном поле и движение магнитного поля через проводник.	13
§2 ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ.	14
2.1 Создание индукционного тока.	14
2.2 Исследование механизма образования индукционного тока	20
§3 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТА С ПРОВОДНИКАМИ КАТУШКИ	25
3.1 Взаимодействие неподвижного постоянного магнита с витками катушки	26
3.2 Взаимодействие магнитного поля магнита с витками катушки при движении магнита в катушку. Создание индукционного тока в катушке	30
3.3 Образование индукционного импульсного поля в катушке при движении магнита в катушку	35
3.4 Взаимодействие магнитного поля магнита с проводниками катушки при движении магнита из катушки. Создание индукционного тока в катушке.	38
3.5 Образование индукционного импульсного поля в катушке при движении магнита из катушки	42
3.6 Взаимодействие магнитного поля магнита с индукционным импульсным полем катушки	45
§4 ВЗАМОИНДУКЦИЯ.	53
4.1 Процессы, происходящие в электромагнитном поле витка катушки.	53
§5 ТОКИ САМОИНДУКЦИИ.	62

§6 ПЕРИОДИЧНОСТЬ ВОЗНИКАЮЩЕГО ИНДУКЦИОННОГО ТОКА В ВИТКАХ КАТУШКИ	62
§7 ПРОХОЖДЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЧЕРЕЗ СОЛЕНОИД	71
§8 ВЛИЯНИЕ ТОКОВ ВЗАИМОИНДУКЦИИ В ВИТКАХ КАТУШКИ НА ПОСТОЯННЫЙ ТОК В ВИТКАХ КАТУШКИ	74
8.1 Включение катушки в электрическую цепь	75
8.2 Взаимодействие электромагнитных полей витков катушки при установившемся токе	77
8.3 Выключение катушки из электрической цепи	78
§9 ПРОХОЖДЕНИЕ ТОКА В ЦЕПИ С АКТИВНЫМ И РЕАКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ	80
9.1 Прохождение тока в цепи с резистором	82
9.2 Прохождение тока по виткам соленоида при включении его в электрическую цепь	83
9.3 Прохождение тока по виткам соленоида при установившемся токе	84
9.4 Прохождение тока по виткам соленоида при выключении его из электрической цепи	84
§10 ТРАНСФОРМАТОР	85
10.1 Первая четверть периода	90
10.2 Вторая четверть первого периода	95
10.3 Третья четверть периода	99
10.4 Четвёртая четверть периода	103
§11 ТОКИ ФУКО	108
«ФИЗИКА, ПОНЯТНАЯ ВСЕМ» ПРЕДСТАВЛЕНА В СЛЕДУЮЩЕЙ КОНФИГУРАЦИИ	110
ЛИТЕРАТУРА	112

§1 ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Электромагнитная индукция была открыта Фарадеем в экспериментах при замыкании и размыкании электрических цепей.

К одной из катушек подключим источник тока батарею **B**, а ко второй катушке подключим гальванометр **G** **Рис.1.1**. При перемещении катушек относительно друг друга, гальванометр покажет наличие тока во второй катушке.

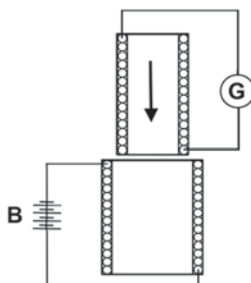


Рис. 1.1

Можно провести ещё один эксперимент. Соединим катушку с гальванометром **Г**. Внутри катушки введём магнит. При движении магнита внутри катушки гальванометр покажет возникновение тока в катушке **Рис.1.2**.

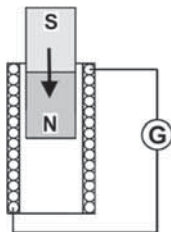


Рис. 1.2

Возьмём две катушки и вставим одну в другую. Одну катушку соединим с гальванометром, а вторую катушку соединим с источником тока **Рис.1.3**.

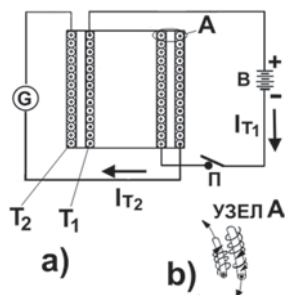


Рис. 1.3

При замыкании и размыкании переключателя **П** в цепи катушки T_1 с источником тока, во второй катушке T_2 гальванометр **Г** покажет возникновение тока.

Итак, был установлен закон.

В замкнутом проводящем контуре возникает ток при изменении числа силовых линий (линии магнитной индукции), пронизывающих поверхность, ограниченную этим контуром.

В природе нет отдельно существующих линий магнитной индукции, а есть **силовые линии**, вдоль которых по винтовым траекториям движутся электроны.

Активное, лобовое взаимодействие электрона, движущегося по винтовой траектории, представляет собой электрическое действие (электрическая индукция), а реактивное взаимодействие электрона, движущегося по винтовой траектории, представляет собой магнитное действие (магнитная индукция).

Эти два действия проявляются одновременно и не существуют одно без другого. Поэтому правильнее назвать взаимодействие электронов, движущихся по винтовым траекториям электромагнитной индукцией.

И чем быстрее меняется число линий электромагнитной индукции, тем больше возникающий ток. При этом причина изменения силовых линий совершенно безразлична. Это может быть и изменение силовых линий, пронизывающих неподвижный проводник вследствие изменения силы тока в соседней катушке, и изменение силовых линий вследствие движения контура в неоднородном электромагнитном поле.

В проводящем замкнутом контуре возникает электрический ток, если число силовых линий, пронизывающих контур, меняется. Это происходит, когда контур находится в переменном электромагнитном поле или движется в постоянном во времени электромагнитном поле.

Это явление называется электромагнитной индукцией или взаимоиנדукцией.

В книгах «Электродинамика» Г. С. Гуревич, С. Н. Каневский [10] и «Чем магнит тянет железные тела? Структура магнитного поля» Г. С. Гуревич, С. Н. Каневский [52] описана внутренняя структура электромагнитного поля.

1.1 ДВИЖЕНИЕ ПРОВОДНИКА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ И ДВИЖЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЧЕРЕЗ ПРОВОДНИК

При движении проводника в магнитном поле в нём возникает электрический ток. Такой же ток будет возникать в проводнике при движении магнитного поля вдоль покоящегося проводника.

При включении проводника в цепь постоянного тока в проводнике начинает течь электрический ток, причём ток нарастает от нуля до определённой величины. В процессе возникновения электрического тока в проводнике, вне проводника возникает увеличивающееся электромагнитное поле.

Если в это электромагнитное поле внести второй проводник, то электромагнитное поле будет пересекать внесённый проводник и индуцировать в нём электрический ток. Процесс индуцирования электрического тока в проводнике будет происходить только в течение времени изменения электромагнитного поля первого проводника.

Электромагнитное поле изменяется только в момент включения и выключения постоянного электрического тока.

Именно потому, что процесс изменения электромагнитного поля вокруг проводника длится малый промежуток времени и только в момент включения и выключения постоянного электрического тока, физики очень долго не могли обнаружить связь возникающего тока в проводнике, расположенном в электромагнитном поле.

Эффект возникновения тока в проводнике был назван электромагнитной индукцией. Этот эффект возникновения тока в проводнике неподвластен внешнему вмешательству.

§2 ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

2.1 СОЗДАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО ТОКА

Механизм возникновения электрического тока во второй катушке идентичен возникновению тока в проводнике, движущемся в магнитном поле, исследованном в книге **Гуревича Г.С и Каневского С.Н «Электродинамика» [10]**.

Отличие состоит только в том, что в одном случае движется проводник, а во втором случае движется электромагнитное поле.

Исследуем возникновение электрического тока в результате электромагнитной индукции, используя **Рис.1.3**, а на котором показано расположение катушек и их подключение. Внутренняя катушка подключена к батарее **В**, а внешняя катушка подключена к гальванометру **Г**. Переключателем **П** можно подключить или отключить внутреннюю катушку от источника тока. При включении переключателя **П** в проводнике первой катушки возникает электрический ток, который создаёт электромагнитное поле вокруг этого проводника.

Любые процессы протекают во времени. До включения первой катушки $T_1(\xi_{T_1} \cdot m)$ в цепь электрического тока, электроны в витках катушки двигались хаотически и не имели направленного движения. Тока в витках катушки не было. В момент включения катушки $T_1(\xi_{T_1} \cdot m)$ в электрическую цепь, электроны в витках катушки получают направленное движение. Возникает направленный поток электронов $\vec{\Phi}_1|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$. Создаётся электрический ток I_{T_1} .

Так как движение электронов вне проводника представляет собой электромагнитное поле, следовательно, вместе с ростом электрического тока внутри проводника растёт и электромагнитное поле вне проводника.

При замыкании цепи, содержащей источник постоянной ЭДС, определённое значение силы тока устанавливается не сразу, а постепенно, в течение времени Δt **Рис.2.1**. При отключении источника тока в витках катушки ток прекращается не мгновенно, а в течение времени Δt **Рис.2.1**.

Зависимость тока от времени показана на графике **Рис.2.1**.

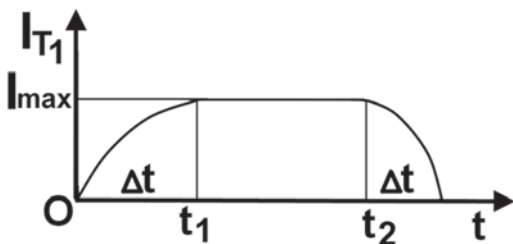


Рис. 2.1

По оси абсцисс отложено время t , а по оси ординат отложена сила тока I_{T1} . За время Δt ток в проводнике витка нарастает до своего максимального значения I_{max} . Если не выключать переключатель **П**, то по достижении своего предельного значения I_{max} электрический ток в проводнике витка на протяжении любого промежутка времени будет оставаться постоянным.

Изменение потока $\vec{\Phi}_{||T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j$ электронов $(\xi \cdot m)$ электромагнитного поля вне проводника во времени пропорционально изменению электрического тока внутри проводника и описывается графиком **Рис.2.2**.

Таким образом, за время Δt поток $\vec{\Phi}_{||T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j$ электронов электромагнитного поля с нулевой величины достигнет своего максимального значения $\vec{\Phi}_{max}$, заполняя пространство вокруг проводника внутренней катушки.

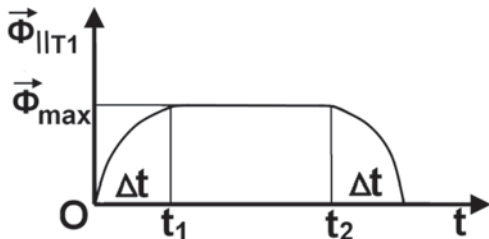


Рис. 2.2

Если за малое время Δt электромагнитный поток меняется на $\Delta \vec{\Phi}|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$, то скорость изменения электромагнитного потока равна:

$$\frac{\Delta \vec{\Phi}|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Сила индукционного тока I_i пропорциональна скорости изменения потока $\vec{\Phi}|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ электронов, создающих электромагнитное поле

$$I_i \approx \frac{\Delta \vec{\Phi}|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Исследуем процесс образования напряжённости в электромагнитном поле проводника T_1 с током I_{T_1} в точках **C** и **D**.

На **Рис.1.3, b** и **Рис.2.3** показано взаимодействие электронов электромагнитного поля, созданного электронами тока I_{T_1} проводника T_1 с проводником T_2 , расположенном в этом электромагнитном поле.

Напряжённость $\vec{G}|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ электромагнитного поля, созданного проводником $T_1(\xi_{T_1} \cdot m)$, представляет собой отношение направленно движущегося потока $\vec{\Phi}|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ электронов через эквипотенциальную поверхность $|_{T_1}$ электромагнитного поля к площади этой эквипотенциальной поверхности $S|_{T_1}$

$$\vec{G}|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j = \pm \frac{\vec{\Phi}|_{T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j}{S|_{T_1}} \quad (2.3)$$

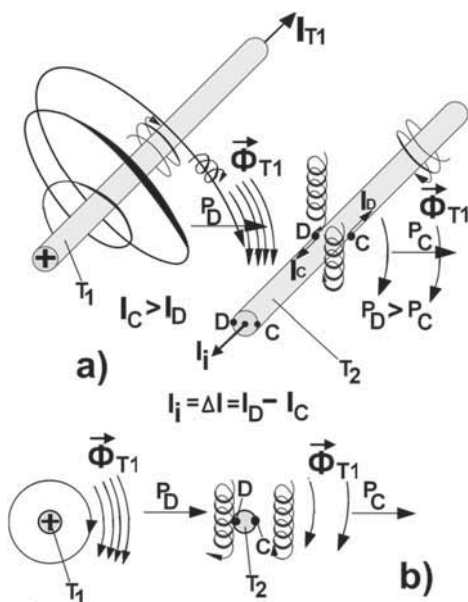


Рис. 2.3

Напряжённость $\vec{G}_{|T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ электромагнитного поля – это способность направленно движущегося потока $\vec{\Phi}_{|T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ электронов $(\xi_{T_1} \cdot m)$, создающих это электромагнитное поле, произвести действие (давление) на материальную субстанцию, внесённую на эквипотенциальную поверхность $|_{T_1}$ электромагнитного поля.

Эта способность реализуется при внесении проводника T_2 в это электромагнитное поле.

Внесём проводник $T_2(\xi_{T_2} \cdot m)$ в электромагнитное поле на эквипотенциальную поверхность $|_{T_1}$ **Рис.2.3.**

В произвольных точках **C** и **D** проводника T_2 поток $\vec{\Phi}_{|T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ электронов $(\xi_{T_1} \cdot m)$, движущихся по винтовым траекториям вдоль расходящихся винтовых силовых линий элек-

ромагнитного поля проводников катушки $T_1(\xi_{T1} \cdot m)$, создаёт напряжённость $\vec{G}_{|T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j$ **Рис.2.3.**

Процессы, происходящие в точках **С** и **Д** проводника T_2 характеризуют любую точку взаимодействия электромагнитного поля с проводником T_2 .

В точке **Д** расходящиеся силовые линии электромагнитного поля проводника первой катушки $T_1(\xi_{T1} \cdot m)$ набегают на электроны проводника второй катушки $T_2(\xi_{T2} \cdot m)$, а в точке **С** электроны удаляются от проводника $T_2(\xi_{T2} \cdot m)$.

Таким образом, в точке **Д** набегающие электроны $(\xi_{T1} \cdot m)$ создают большую напряжённость $\vec{G}_{|T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j$, чем удаляющиеся электроны в точке **С** **Рис. 2.3.**

Электроны электромагнитного поля $(\xi_{T1} \cdot m)$ вступят во взаимодействие с электронами $(\xi_{T2} \cdot m)$ проводника $T_2(\xi_{T2} \cdot m)$ и создадут на них давление $\vec{P}_{|T1}\{(\xi_{T1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T2} \cdot m)\}_j$ **Рис. 2.3.**

$$\begin{aligned} \vec{\Phi}_{|T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j &\rightarrow \vec{G}_{|T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j \rightarrow \vec{G}_{|T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j \cdot T_2(\xi_{T2} \cdot m) \rightarrow \\ &\rightarrow \vec{P}_{|T1}\{(\xi_{T1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T2} \cdot m)\}_j \end{aligned} \quad (2.4)$$

В результате давления, созданного на электроны $(\xi_{T2} \cdot m)$ проводника $T_2(\xi_{T2} \cdot m)$, к ним будет приложена сила $\vec{F}_{|T1}((\xi_{T1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T2} \cdot m))_j$:

$$\begin{aligned} \vec{\Phi}_{|T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j &\rightarrow \vec{G}_{|T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j \rightarrow \vec{G}_{|T1}(\xi_{T1} \cdot m)_j \cdot \\ &\cdot T_2(\xi_{T2} \cdot m) \rightarrow \vec{P}_{|T1}\{(\xi_{T1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T2} \cdot m)\}_j \rightarrow \\ &\rightarrow \vec{F}_{|T1}\{(\xi_{T1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T2} \cdot m)\}_j \end{aligned} \quad (2.5)$$

В результате приложенной силы электроны $(\xi_{T_2} \cdot m)$ проводника $T_2(\xi_{T_2} \cdot m)$ получают ускорение $\vec{g}_{||T_1}(\xi_2)_j$:

$$\begin{aligned} \vec{\Phi}_{||T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j &\rightarrow \vec{G}_{||T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j \rightarrow \vec{G}_{||T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j \cdot T_2(\xi_{T_2} \cdot m) \rightarrow \\ &\rightarrow \vec{P}_{||T_1}\{(\xi_{T_1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T_2} \cdot m)\}_j \rightarrow \vec{F}_{||T_1}\{(\xi_{T_1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T_2} \cdot m)\}_j \rightarrow \\ &\rightarrow \vec{g}_{||T_1}(\xi_{T_2})_j \cdot T_2(\xi_{T_2} \cdot m) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Получив ускорение, электроны проводника $T_2(\xi_{T_2} \cdot m)$ начнут двигаться вдоль проводника $T_2(\xi_{T_2} \cdot m)$ со скоростью $\vec{V}_{||T_1}(\xi_{T_2})_j$:

$$\begin{aligned} \vec{\Phi}_{||T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j &\rightarrow \vec{G}_{||T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j \rightarrow \vec{G}_{||T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j \cdot T_2(\xi_{T_2} \cdot m) \rightarrow \\ &\rightarrow \vec{P}_{||T_1}\{(\xi_{T_1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T_2} \cdot m)\}_j \rightarrow \vec{F}_{||T_1}\{(\xi_{T_1} \cdot m) \rightarrow (\xi_{T_2} \cdot m)\}_j \rightarrow \\ &\rightarrow \vec{g}_{||T_1}(\xi_{T_2})_j \cdot T_2(\xi_{T_2} \cdot m) \rightarrow \vec{V}_{||T_1}(\xi_{T_2})_j \end{aligned} \quad (2.7)$$

Набегающий поток $\vec{\Phi}_{||T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ электронов $(\xi_{T_1} \cdot m)$ электромагнитного поля $(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ в момент включения электрического тока I_{T_1} в точке **D** больше, чем удаляющийся поток $\vec{\Phi}_{||T_1}(\xi_{T_1} \cdot m)_j$ электронов $(\xi_{T_1} \cdot m)$ в точке **C**. Следовательно, большее число электронов $(\xi_{T_2} \cdot m)$ будет выбито с электронных уровней атомов проводника $T_2(\xi_{T_2} \cdot m)$ в точке **D** **Рис. 2.3,б**, чем в точке **C**. Направленное движение электронов представляет собой индукционный электрический ток.