

И вот мы добрались до третьей части нашего курса, который называется «динамика». Очень логично: есть статика (когда всё не зависит от времени) и динамика (когда от времени зависимость таки имеется). Статику можно разбить на электростатику и магнитостатику, а вот динамику так не получится – потому что электрическое и магнитное поле там идут вместе, сменяя одно другим.

Мне вообще не хочется в 1000-й раз рассказывать про опыт Фарадея – зато хочется обсудить те нюансы по этой теме, которые обычно скрываются.

Вихревое электрическое поле

Эта формулировка многим неясна. Что это за вихревое поле? Оно какое-то другое? Оно обладает какими-то другими свойствами, нежели привычное электромагнитное поле?

Нет, это абсолютно то же электрическое поле. Оно всё также действует на заряды по формуле

$$\vec{F} = \vec{E}q$$

Просто теперь **математический** факт о том, что «работа по замкнутому контуру 0» неверен – он верен только в электростатике.

Т.е. вихревое электрическое поле – это то же поле \vec{E} :



Так же действующее на заряды. Просто необладающее одним математическим свойством.

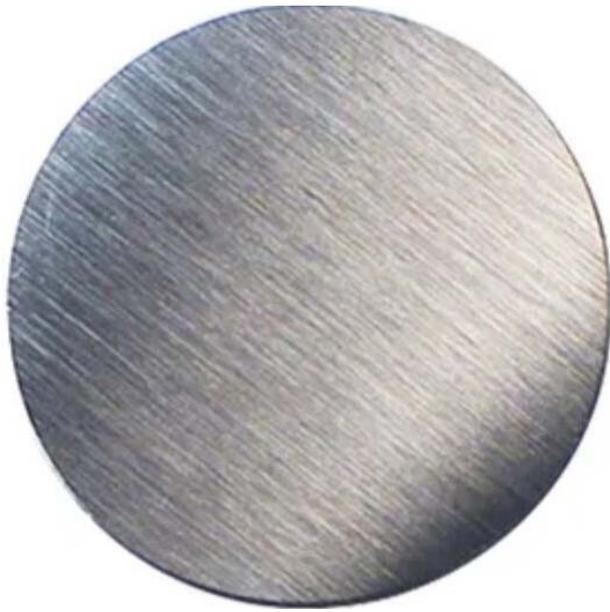
Поле и токи

Иногда говорят, что изменение магнитного поля рождает токи. А вот это критическая ошибка.

Да, тудынь-сюдынь магнит – и стрелка амперметра отклоняется от нуля. Но важно понимать, что токи – это лишь способ нам, людям, это самое поле увидеть.

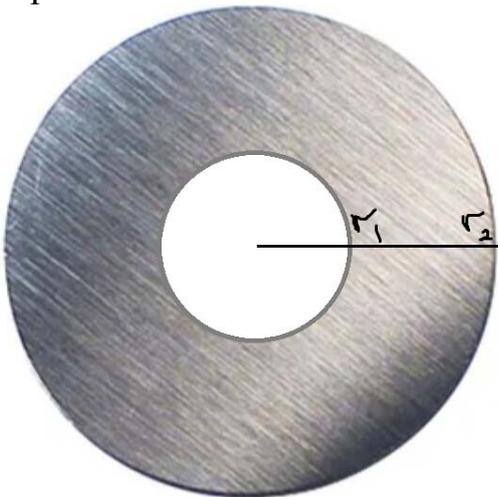
Вот я беру магнитик с холодильника и машу им в воздухе. Возникает ли вихревое электромагнитное поле? Да, просто вы его не видите – и это при том, что никакого замкнутого контура.

Можно привести и такой пример. Представим себе сплошную металлическую пластину:



у которой вы машете магнитом. Несмотря на то, что это сплошной круг, там тоже возникнут токи.

Давайте количественную задачку решим. У нас металлическая пластинка с вырезом:



Она находится в однородном магнитном поле $B(t)$, направленном нормально пластинке. Удельное сопротивление ρ .

Найти $j(r)$ – плотность тока в зависимости от расстояния от центра.

Используем

$$\oint \mathbf{E} d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \iint \mathbf{B} d^2\mathbf{S}$$

более вам известное как

$$\text{ЭДС} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

В данном случае (сразу забьём на минус)

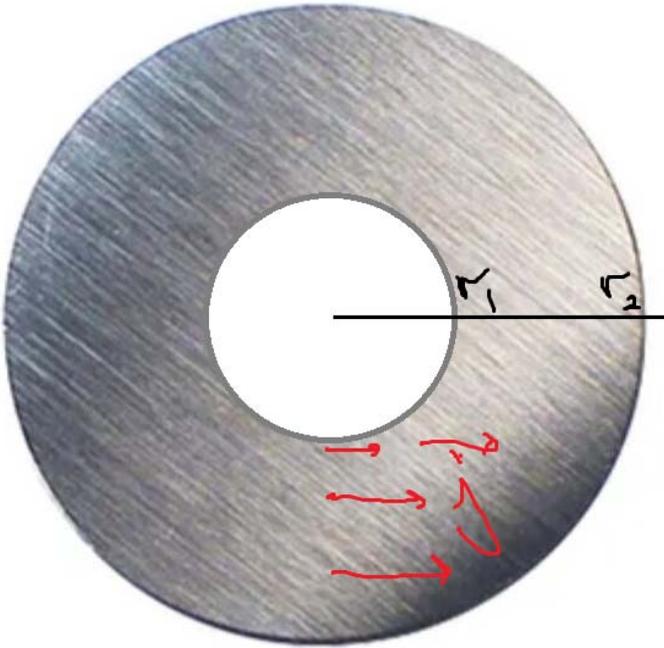
$$E(r) * 2\pi r = \frac{d}{dt} \int_0^r B(R) dR$$

$$E(r) * 2\pi r = \frac{dB}{dt} * \pi r^2$$

$$E(r) = \frac{dB}{dt} * \frac{r}{2}$$

$$j(r) = \frac{E(r)}{\rho} = \frac{dB}{dt} * \frac{r}{2\rho}$$

Т.е. чем дальше от центра, тем больше токи:



Упражнение читателю: получить выражение для $j(r)$ в случае, если поле неоднородно, а зависит от r как $B(r) = B_0 * r^3/r^3$.

Кстати, мы можем подсчитать и выделяемую тепловую мощность:

$$P = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi r dr * j^2(r)\rho = 2\pi\rho \frac{dB}{dt} \int_{r_1}^{r_2} r dr * \left(\frac{r}{2\rho}\right)^2 = \frac{\pi}{8\rho} \frac{dB}{dt} (r_2^4 - r_1^4)$$

Важно понимать, что любая металлическая штука конечной площади может



послужить контуром. Даже обыкновенная металлическая палка имеет конечную ширину и при махании ею в магнитном поле потечёт небольшой ток ☺