

У нас есть некое вещество, которое мы поместили под внешнее электрическое магнитное поле. Это внешнее поле описывается $\mathbf{D}(\mathbf{r}, t)$ и $\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$ (в вакууме они равны $\epsilon_0\mathbf{E}$ и \mathbf{B}/μ_0). Мы туда засунули кусочек вещества. Например, мы находимся над землёй вблизи шпиля Останкинской телебашни, откуда во все стороны уходит телепрограмма (это мощные электромагнитные волны), а мы машем вокруг шпиля кусочком, например, деревянным бруском.

Вещество состоит из атомов и молекул. Под действием электрического поля электронные оболочки поляризуются, а под действием магнитного поля электронные оболочки начинают вращаться. Тем самым вещество создаёт своё электрическое и магнитное поле.

Собственное электрическое поле вещества – это какой-то вектор. Обозначим его - $\mathbf{P}(\mathbf{r}, t)$.

Собственное магнитное поле вещества – это также какой-то вектор. Обозначим его $\mathbf{M}(\mathbf{r}, t)$.

Почему у \mathbf{P} минус, скажу чуть позже.

Суммарное магнитное поле внутри бруска будет сумма поля от телепередачи $\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$ и поля от атомов дерева $\mathbf{M}(\mathbf{r}, t)$. Это суммарное поле обозначим как $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)/\mu_0$ и оно представляет собой сумму двух полей: $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)/\mu_0 = \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{M}(\mathbf{r}, t)$.

Аналогично суммарное электрическое поле будет сумма поля от телепередачи $\mathbf{D}(\mathbf{r}, t)$ и поля от дерева ($-\mathbf{P}(\mathbf{r}, t)$). Это суммарное поле обозначим как $\epsilon_0\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ и оно представляет собой сумму двух полей: $\epsilon_0\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) + (-\mathbf{P}(\mathbf{r}, t))$.

Итак, формулы:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)/\mu_0 = \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{M}(\mathbf{r}, t).$$

$$\epsilon_0\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) + (-\mathbf{P}(\mathbf{r}, t)).$$

Непривычно видеть μ_0 в знаменателе, и вообще, они так неприятно болтаются. Это, увы, проблема СИ, которая на элмаге. На электроде будет СГС, где такой проблемы нет.

Пока же я вам рекомендую на ϵ_0 и μ_0 не заикливаться, никакого физического смысла в них нет.

Вопрос 1: если вы экспериментально захотите померить электрическое и магнитное поле внутри бруска

(электрическое – как отношение силы Кулона к пробному заряду, магнитное – как отношение силы Ампера, действующее на маленькое колечко с током, к его магнитному моменту)

Что вы измерите – E , B , D , H ?

Ответ: именно $\epsilon_0\mathbf{E}$ и \mathbf{B}/μ_0 – суммарное итоговое поле! На точечный заряд действует и внешнее поле, и поляризованные атомы, и мы измерим именно суммарное поле. На колечко с током действует и внешнее поле, и атомы с вращающимися электронами, и мы измерим именно суммарное поле.

Вопрос 2: а почему в одном случае знак плюс, а в другом минус? Почему у вектора \mathbf{P} вообще этот минус торчит?

Ответ: очень важный вопрос. Иногда бывает, что «исторически сложилось», причём исторически сложилось не совсем удачно. Было бы удобнее, если бы в физике вместо вектора \mathbf{P} был вектор \mathbf{B} , равный по определению $-\mathbf{P}$. Тогда везде были бы плюсы:

$$\mathbf{V}(\mathbf{r}, t)/\mu_0 = \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{M}(\mathbf{r}, t).$$

$$\varepsilon_0 \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{B}(\mathbf{r}, t).$$

Однако, как правило, среда (диэлектрическая) *электрическое* поле ослабляет, а не усиливает. \mathbf{P} будет величиной положительной, а \mathbf{B} отрицательной. Поэтому и предпочли в итоге \mathbf{P} , а не \mathbf{B} :

$$\varepsilon_0 \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) - \mathbf{P}(\mathbf{r}, t).$$

Иная ситуация с магнетизмом. Большинство сред почти не меняют магнитное поле, но есть такие вещества – ферромагнетики – которые его как резко усиливают. Представим себе катушку с железным сердечником. Ток по виткам создал внутри поле \mathbf{H} (по закону Био-Савара-Лапласа), сердечник его усилил (в очень грубом приближении можно считать для ферромагнетиков $\mathbf{M} = (\mu - 1)\mathbf{H}$, где μ очень велико), и итоговая магнитная индукция \mathbf{B}/μ_0 (которая тогда будет $\mu\mathbf{H}$) будет очень большой. И если мы начнём мерить силу Лоренца или Ампера внутри сердечника, мы получим ахренеть как много, хотя витки нам создали не так уж и много напряжённости. Как говорится, \mathbf{H} создаётся, а \mathbf{B} действует (и именно её мы поэтому меряем экспериментально).

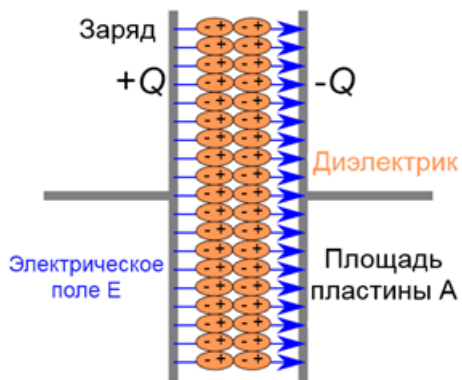
Внешнее поле	Среда добавила	Итого в среде получили
\mathbf{H}	\mathbf{M}	\mathbf{B}/μ_0
\mathbf{D}	\mathbf{B} (или отняла \mathbf{P})	$\varepsilon_0 \mathbf{E}$

Как мы видим, последствием неудачного знака у \mathbf{P} стала путаница с тем, что понятия индукции и напряжённости оказались перепутанными для электричества и магнетизма. Исторически фигово сложилось, да.

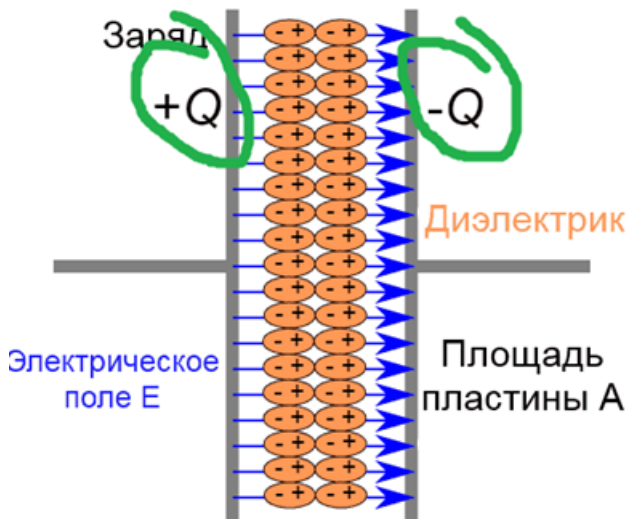
Теперь про свободные и связанные заряды, многие с ними путаются, во многом из-за неудачной терминологии.

Свободные заряды (и свободные токи, которые у вас во второй половине семестра) – это внешние заряды, это внешние токи.

Ну вот давайте представим, что мы засунем наш диэлектрик в изолированный конденсатор:

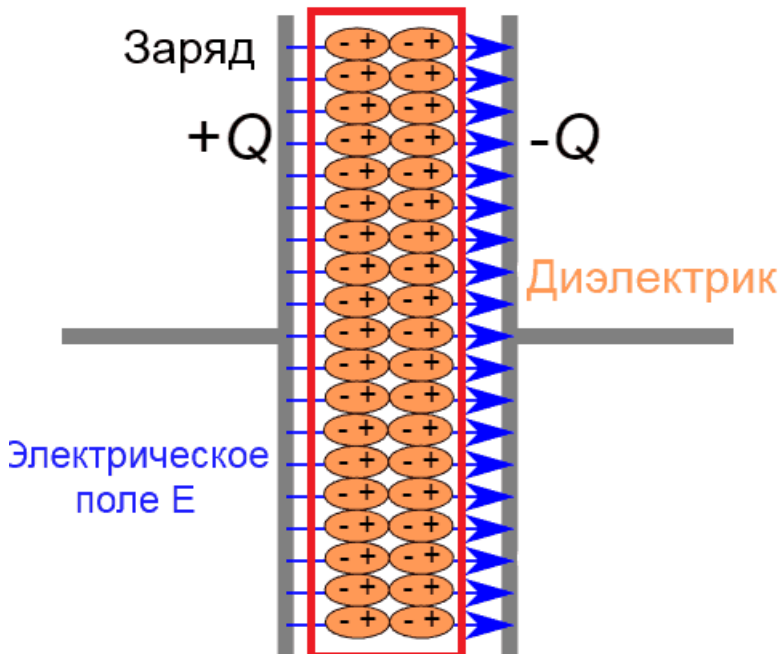


Тогда заряд на самих пластинах будет **ВНЕШНИЙ** заряд:



Он называется свободным. Это не значит, что он свободно бегает (как раз на рисунке он бегать не будет!!!). Это означает, что мы его можем свободно менять. Хотим – сделаем в каком-то месте побольше, хотим – вообще уберём. Именно он создаёт поле **D**.

А вот связанные заряды – это внутренний заряд:



Он называется связанным. Он-то как раз бегать может (причём сам), но не очень далеко – в пределах одного атома, когда он поляризуется. Именно внутренние заряды образуют свое поле \mathbf{P} !

И суммарное поле $\epsilon_0 \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ будет как раз $\mathbf{D}(\mathbf{r}, t) - \mathbf{P}(\mathbf{r}, t)$.

То же самое с магнетиками. Если мы возьмём магнетик и засунем куда-нибудь в серверную, где много токов



То по проводам будут течь внешние токи (свободные, которым пофиг на железяку!), а по железяке – внутренние (связанные), которые подстроятся под внешними. Причём, в отличие, от \mathbf{P} , токи будут направлены по внешнему, а не против).

Внешние создадут \mathbf{H} , внутренние добавят \mathbf{M} и в итоге будет суммарное поле $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)/\mu_0 = \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{M}(\mathbf{r}, t)$.