Лекция 3-2022. **ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ДИЭЛЕКТРИКЕ**

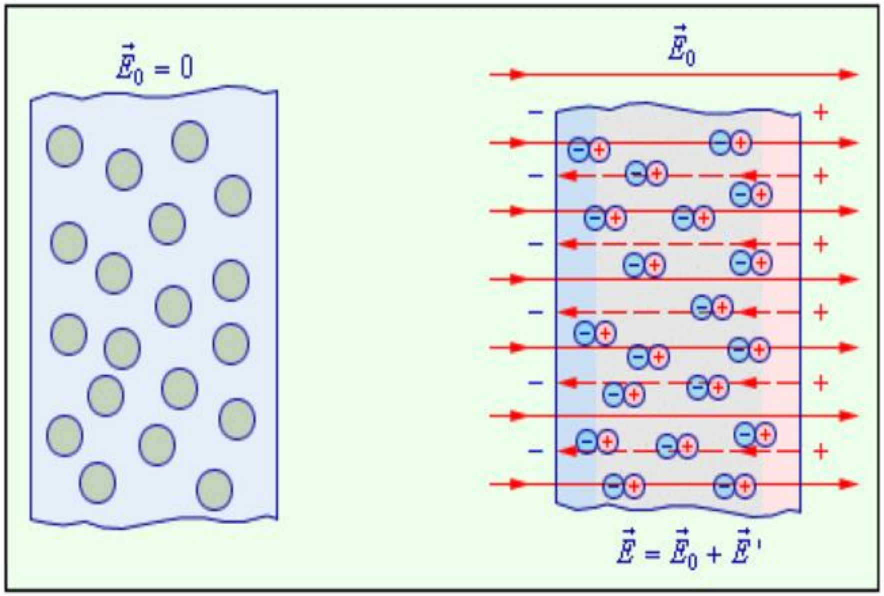
1. Электрический диполь в электростатическом поле.
2. Поляризация диэлектриков.
3. Электростатическое поле в диэлектрике.
4. Поляризованность.
5. Свободные и связанные заряды.
6. Связь поляризованности с плотностью связанных зарядов.
7. Вектор электрического смещения.
8. Обобщение теоремы Гаусса.
9. Поле на границе раздела диэлектриков.

Реальность, отражённая в нашем сознании, - лишь очень приближённое подобие происходящего на самом деле.

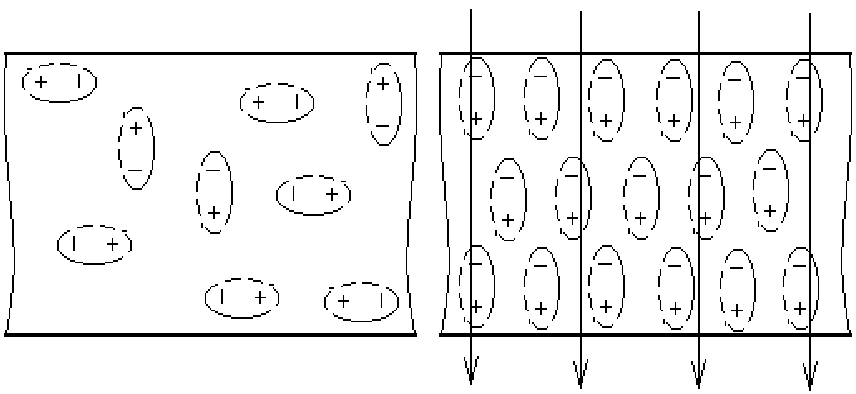
«С тех пор прошло 80 лет и я по-прежнему задаю себе этот же вопрос (прим. — Что же такое электричество?), но не в состоянии ответить на него »

Никола Тесла

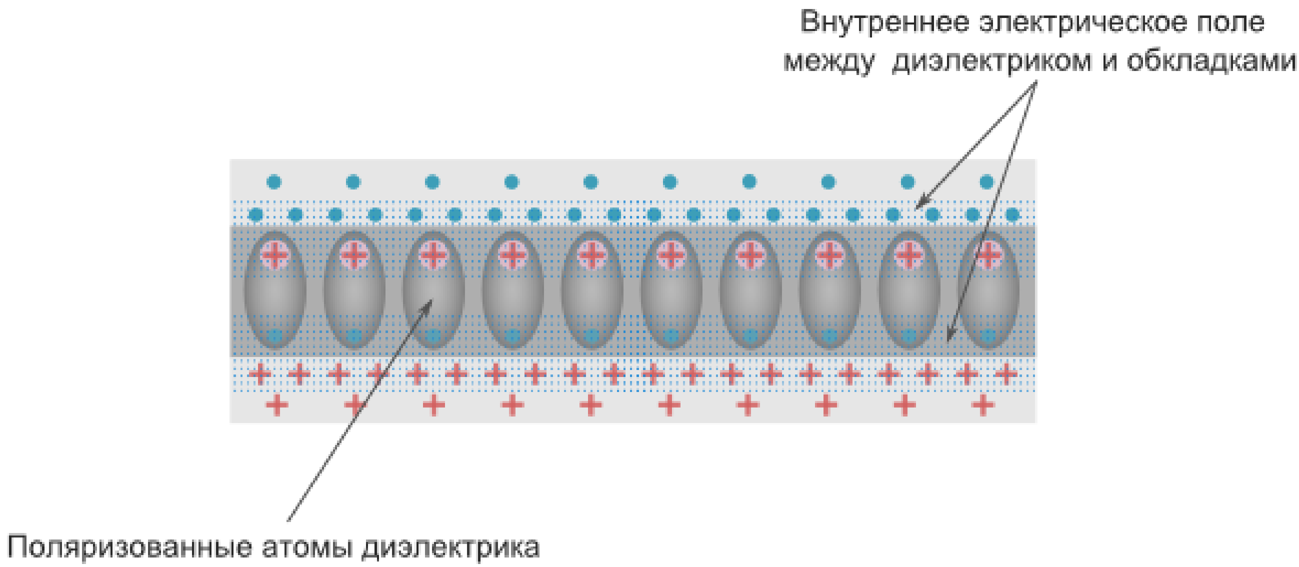
Не срисовывать



Поляризация неполярного диэлектрика

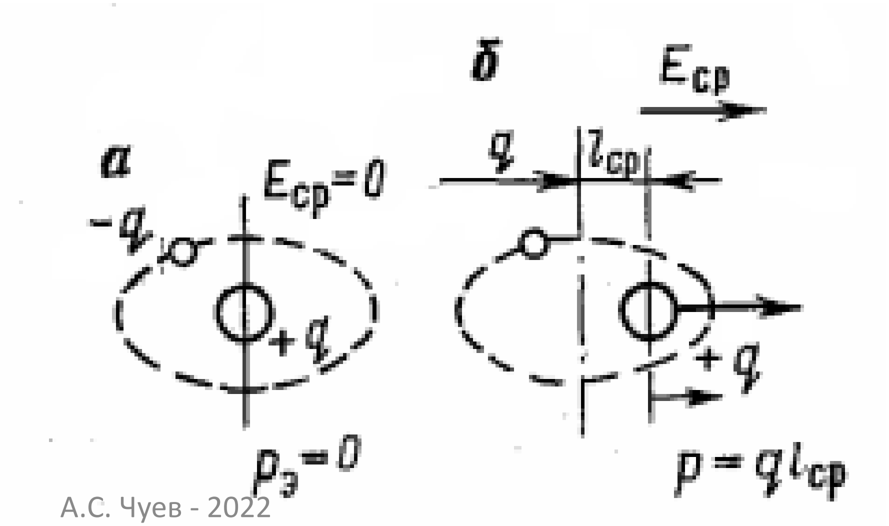


Поляризация полярного диэлектрика

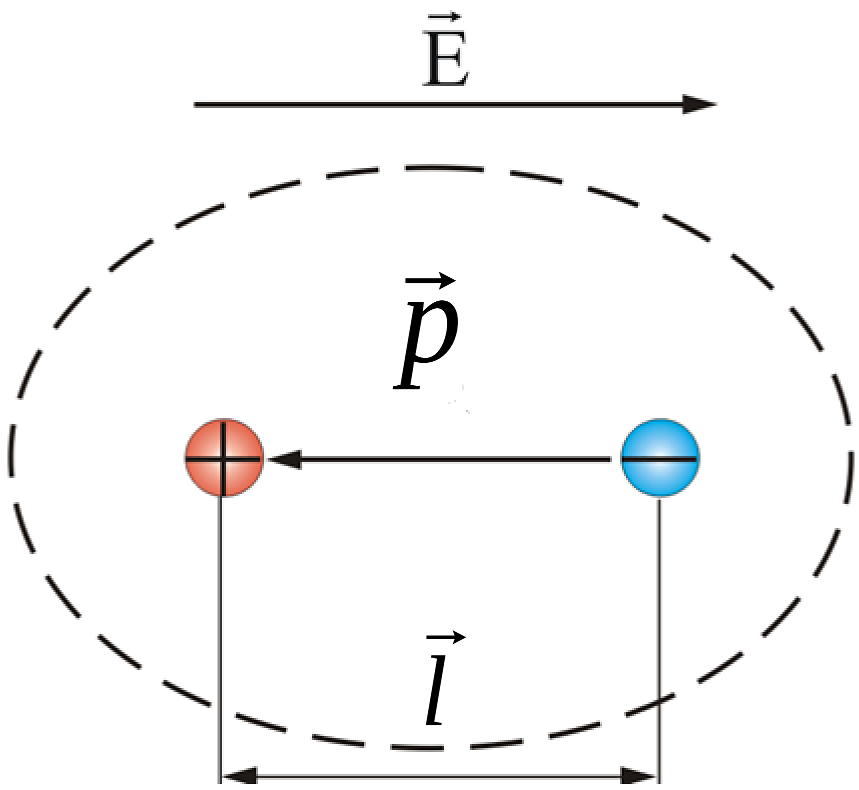


Поляризация диэлектрика конденсатора

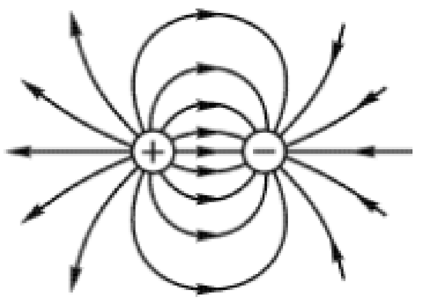
Поляризация отдельного атома



Электрический диполь

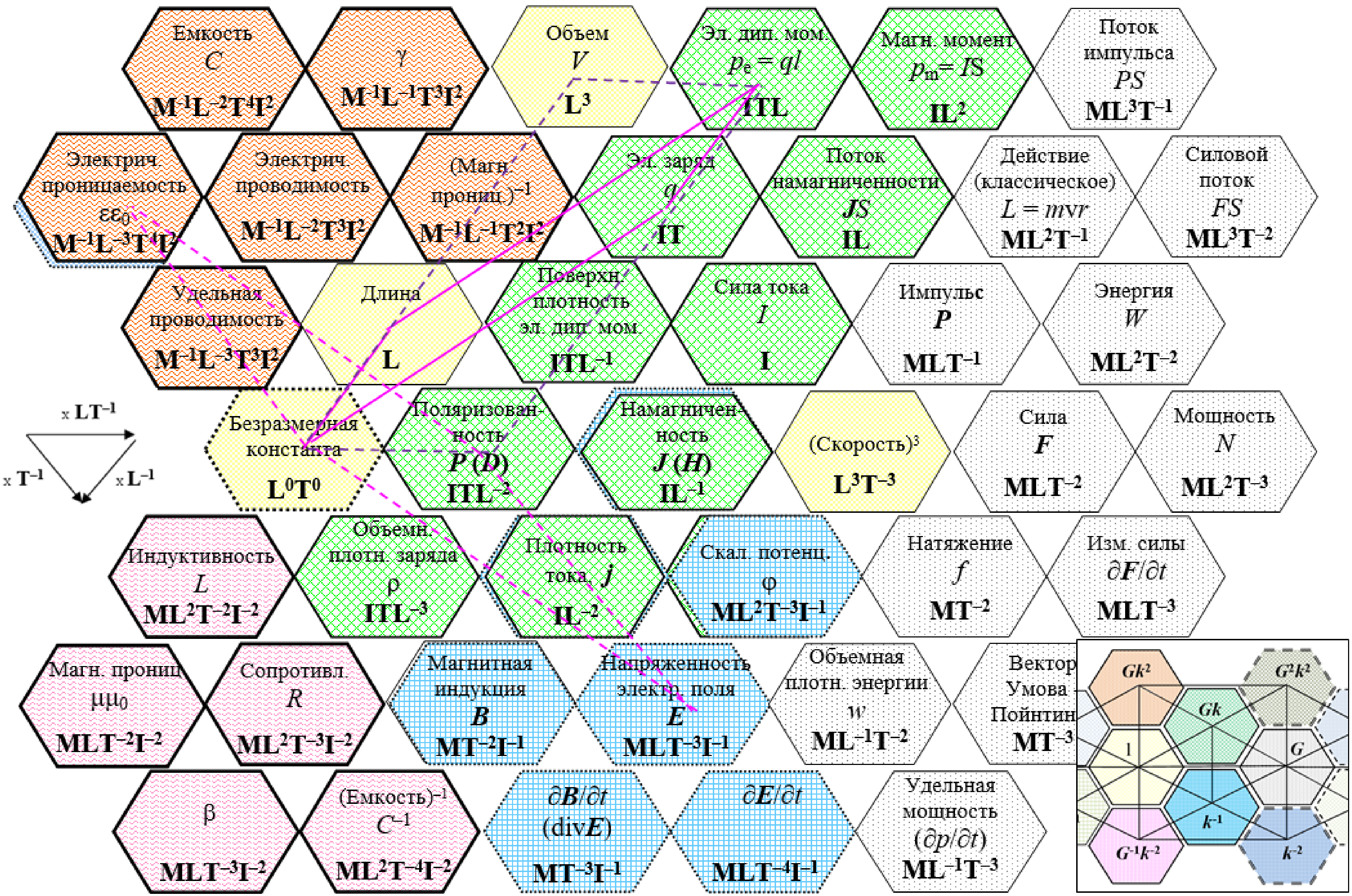


$$\boxed{\vec{p} = q\vec{l}}$$

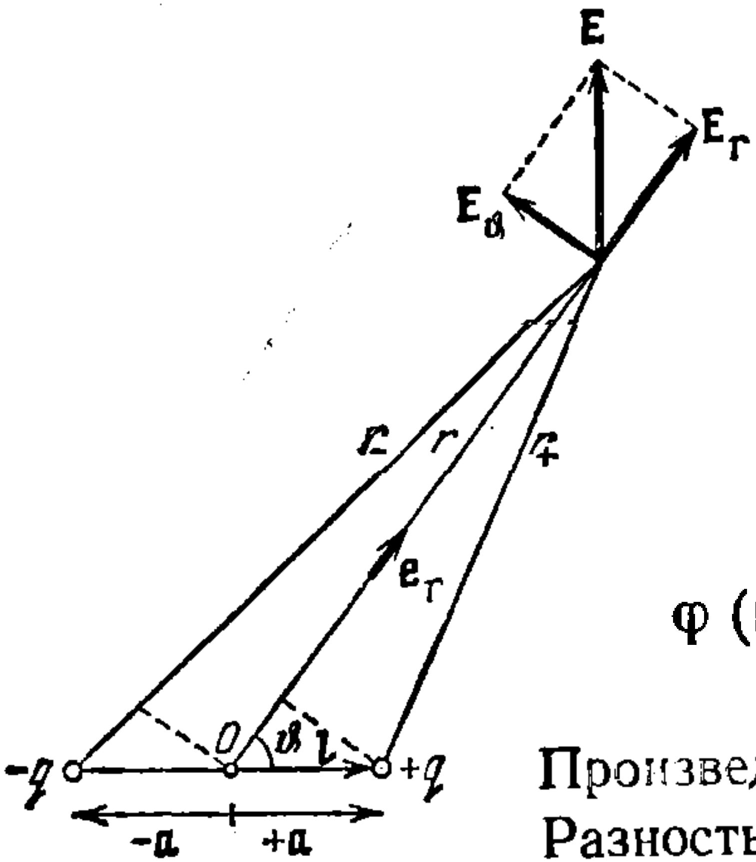


Направление вектора ***P*** принято от минуса к плюсу !!!

Электромагнитные величины в системе ФВиЗ



Потенциальное поле диполя (по Савельеву)



$$r_+ = r - a\cos\vartheta = r - \mathbf{a}\mathbf{e}_r,$$

$$r_- = r + a\cos\vartheta = r + \mathbf{a}\mathbf{e}_r.$$

$$2\mathbf{a}\mathbf{e}_r = \mathbf{l}\mathbf{e}_r$$

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r_+} - \frac{q}{r_-}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{q(r_- - r_+)}{r_+ r_-}$$

Произведение $r_+ r_-$ можно заменить через r^2. Разность $r_- - r_+$ равна $2\mathbf{a}\mathbf{e}_r = \mathbf{l}\mathbf{e}_r$. Следовательно,

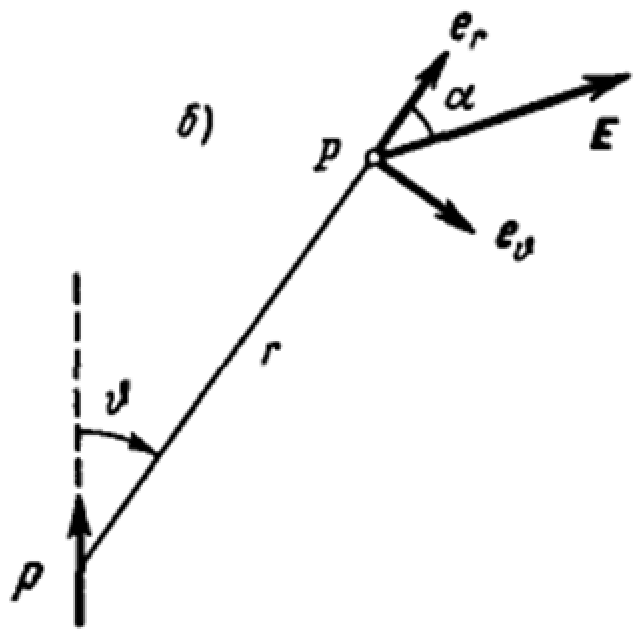
Потенциал поля диполя:

$$\boxed{\varphi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{q\mathbf{l}\mathbf{e}_r}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{\mathbf{p}\mathbf{e}_r}{r^2}}$$

Вывод напряженности поля диполя

$$\boxed{\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{p}_e \cdot \vec{e}_r}{r^2}}$$

$$E_r = -\frac{\partial\varphi}{\partial r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2p\cos\vartheta}{r^3},$$



$$E_\vartheta = -\frac{\partial\varphi}{r\partial\vartheta} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p\sin\vartheta}{r^3}.$$

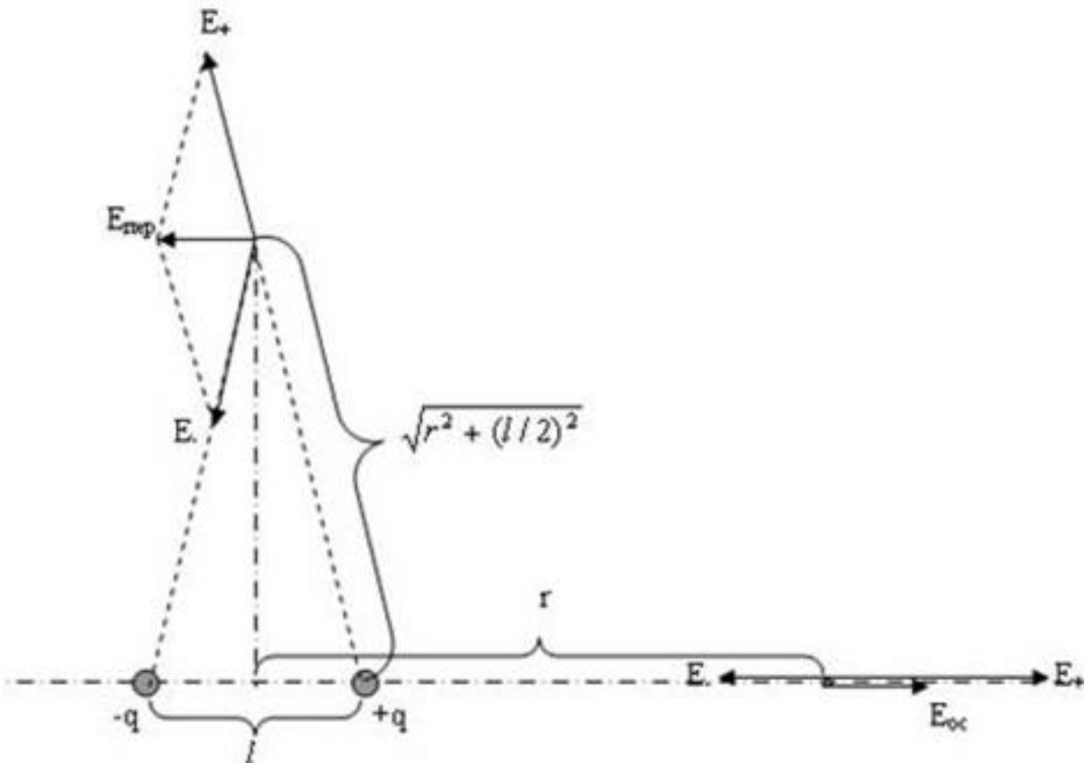
$$(4\cos^2\vartheta + \sin^2\vartheta = 1 + 3\cos^2\vartheta)$$

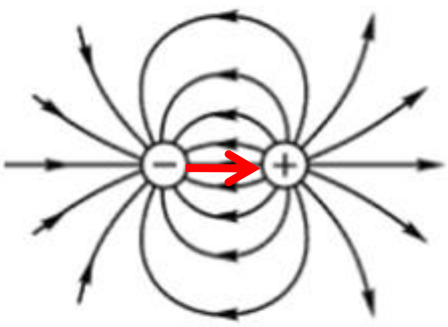
$$\boxed{E = \sqrt{E_r^2 + E_\vartheta^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{r^3}\sqrt{1 + 3\cos^2\vartheta}.}$$

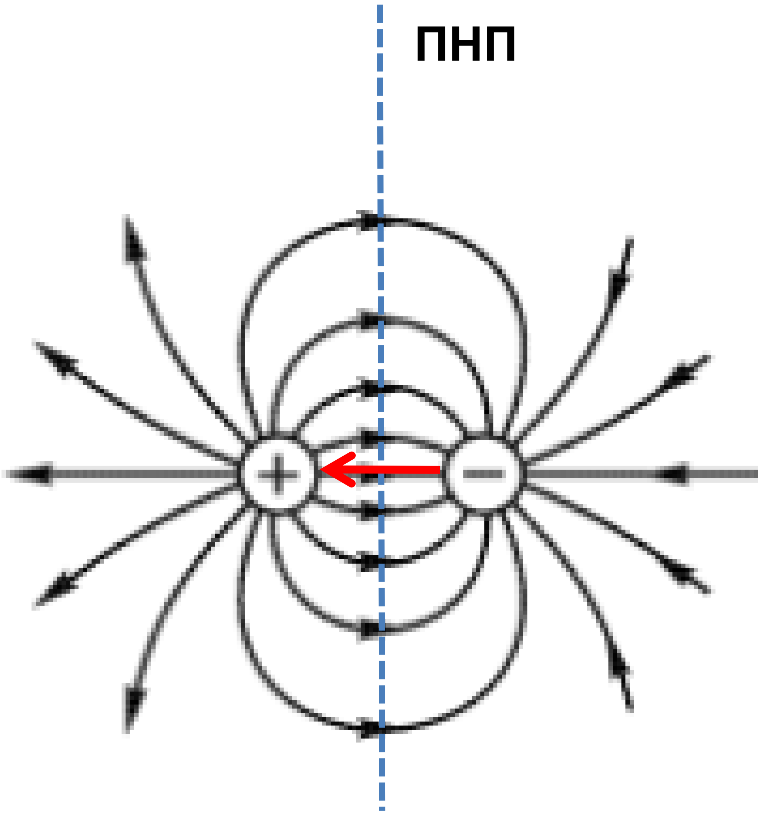
Поле электрической напряженность диполя

$$E = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0}\frac{p_e}{4\pi r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$$

$$\vec{p}_e = q\vec{l}$$







$$\vec{p}_e = q\vec{l}$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{\vec{p}_e \cdot \vec{e}_r}{r^2}$$

Повтор формул с другим обозначением угла и с учетом среды

$$E_r = \frac{\partial\varphi}{\partial r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{2p_e \cdot \cos\theta}{r^3}$$

$$E_\theta = \frac{\partial\varphi}{r\partial\theta} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{p_e \cdot \sin\theta}{r^3}$$

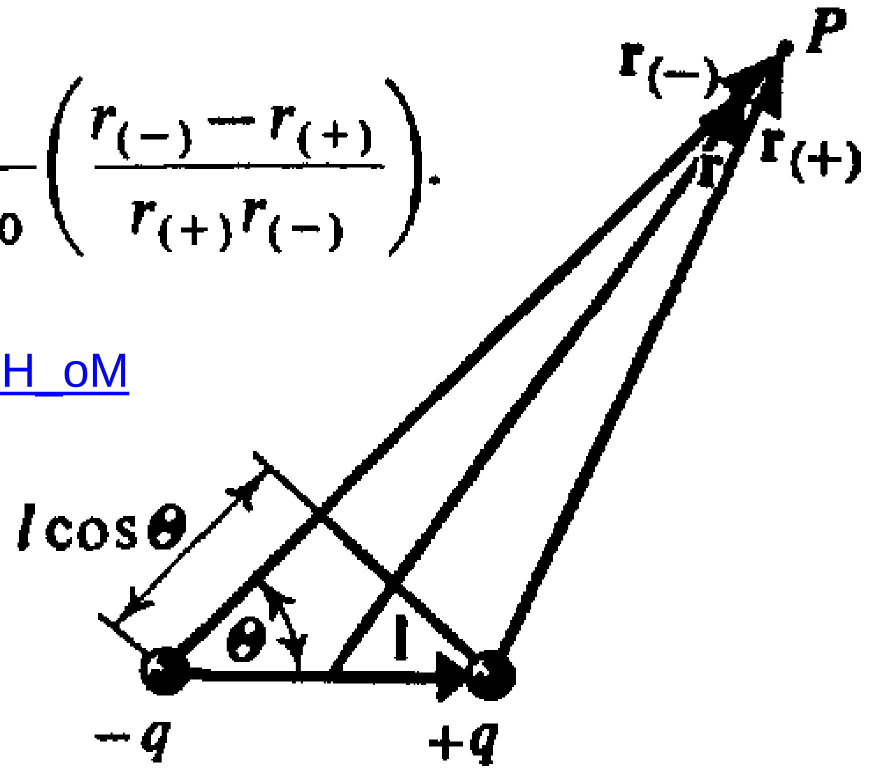
$$E = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0}\frac{p_e}{4\pi r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$$

И.Е. Тамм

$$\varphi(P) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_{(+)}} - \frac{1}{r_{(-)}}\right) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{r_{(-)} - r_{(+)}}{r_{(+)} r_{(-)}}\right).$$

https://www.youtube.com/watch?v=veg7yUOH_oM

Объяснение из МФТИ.



Так как $l \ll r$, то можно считать $r_{(-)} - r_{(+)} \approx l\cos\theta$, $r_{(-)}r_{(+)} \approx r^2$ и характеризовать местоположение точки P радиус-вектором **r** с началом в любой точке диполя, поскольку диполь имеет сколь угодно малые геометрические размеры.

Тогда
$$\boxed{\varphi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathbf{p}\cdot\mathbf{r}}{r^3},}$$

где $ql\cos\theta = (\mathbf{p}\cdot\mathbf{r})/r$, откуда

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad}\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{3(\mathbf{p}\cdot\mathbf{r})\,\mathbf{r}}{r^5} - \frac{\mathbf{p}}{r^3}\right].$$

И.Е. Тамм

факультативно

$$\mathbf{E} = \frac{3(\mathbf{pR})\mathbf{R}}{R^5} - \frac{\mathbf{p}}{R^3} \qquad (10.4)$$

сферической системе координат R, ϑ, α с центром в диполе и полярной осью, параллельной $\mathbf{p}$, слагающие вектора $\mathbf{E}$ равны

$$E_R = \frac{2p\cos\vartheta}{R^3},$$
$$E_\vartheta = \frac{p\sin\vartheta}{R^3}, \qquad E_\alpha = 0. \qquad (10.5)$$

Таким образом, угол β между силовой линией и радиусом-вектором $\mathbf{R}$ определяется соотношением

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{E_\vartheta}{E_R} = \frac{1}{2}\operatorname{tg}\vartheta.$$

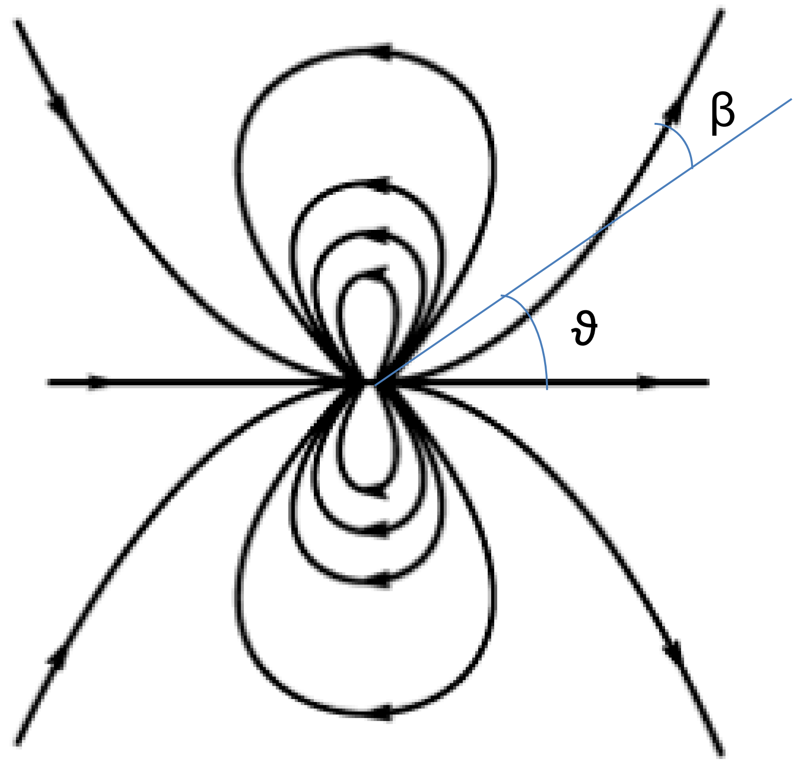
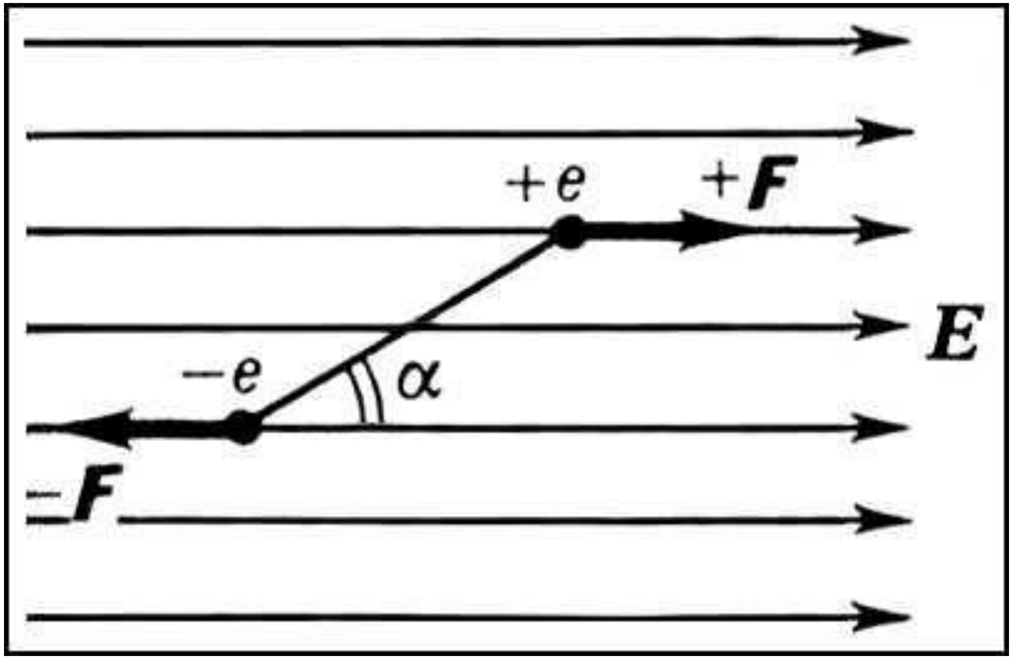


Рис. 15

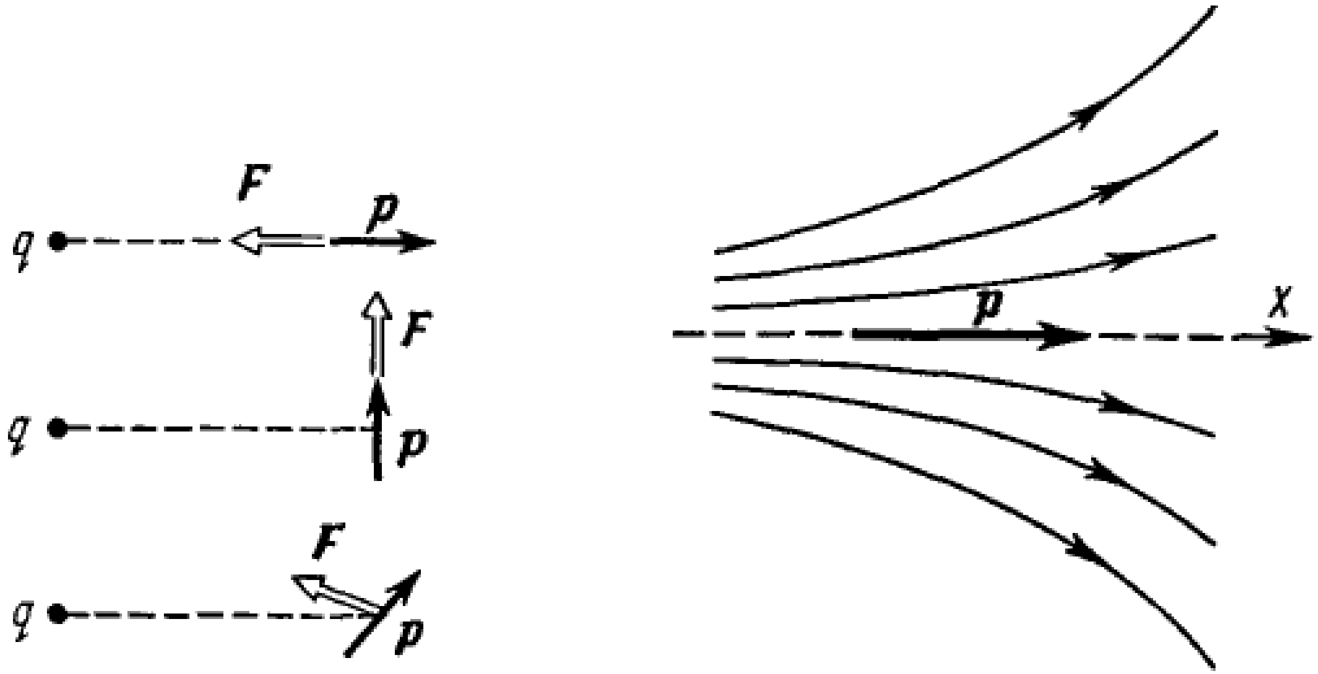
На одинаковых расстояниях R от диполя поле вдоль его оси ($\vartheta = 0$ или $\vartheta = \pi$) вдвое сильнее, чем в экваториальной плоскости ($\vartheta = \pi/2$).

Крутящий момент, действующий на электрический диполь в электростатическом поле.

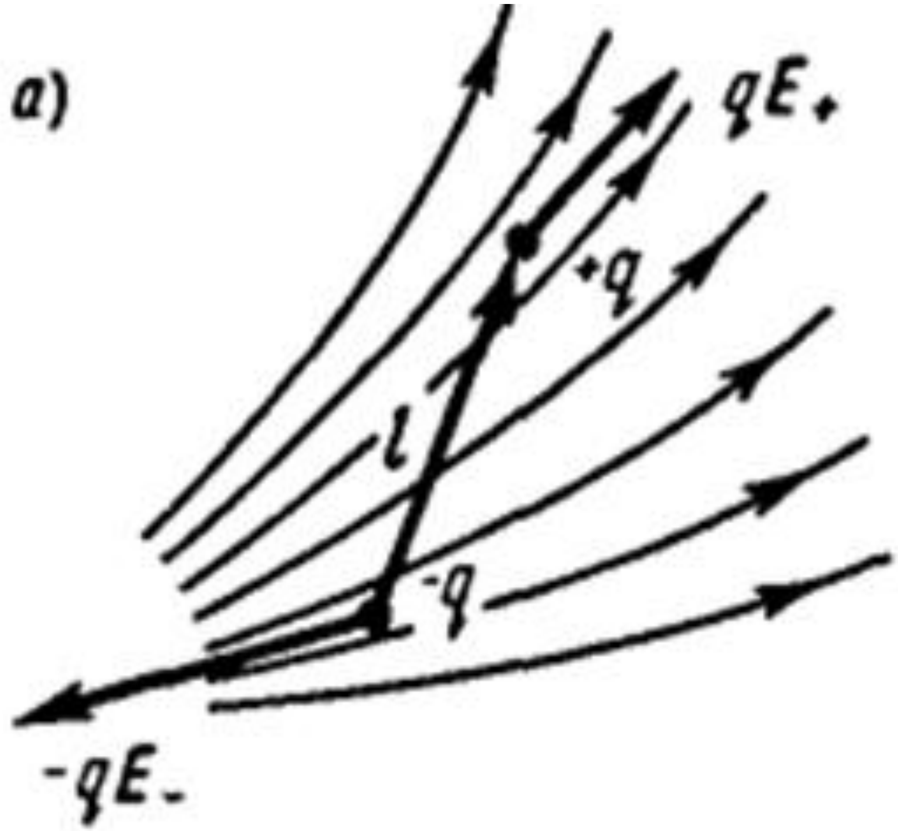


$$\vec{M}_{кр} = [\vec{p}, \vec{E}]$$

Сила, действующая на диполь в неоднородном электрическом поле



$$\boxed{F_x = p\,\frac{\partial E_x}{\partial l},}$$



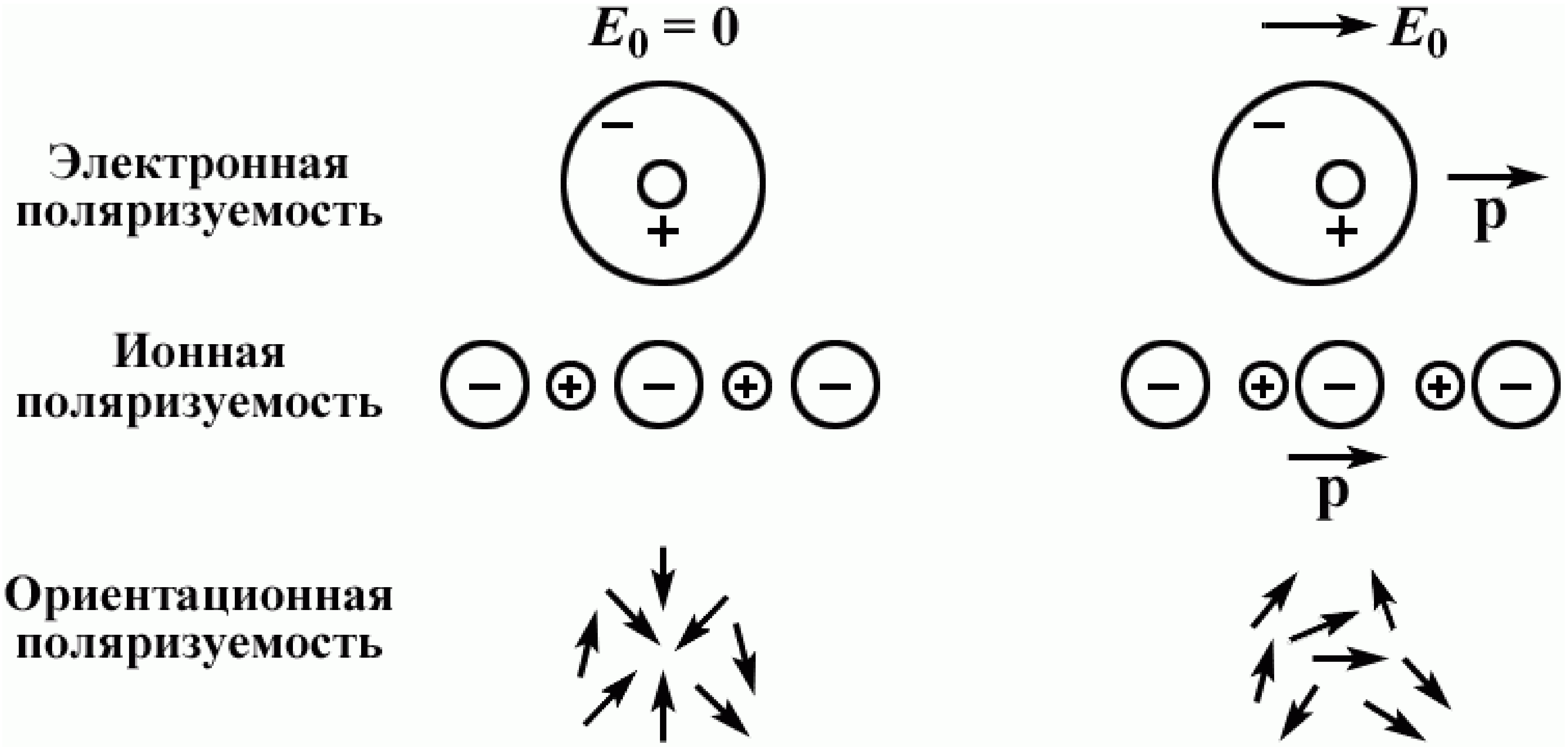
$$\boxed{\vec{M}_{кр} = [\vec{p}, \vec{E}]}$$

$$\boxed{\mathbf{F} = p\,\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial l},}$$

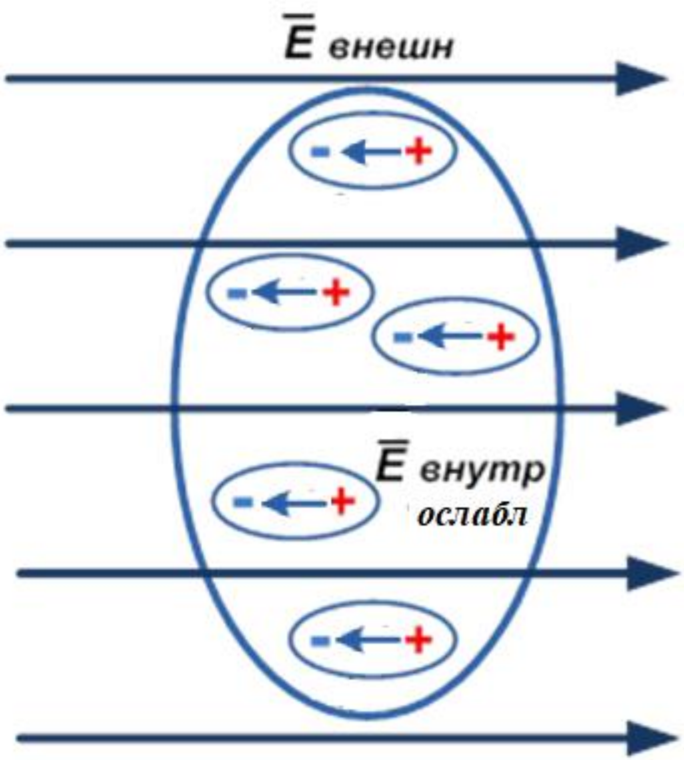
Смещение электрических зарядов вещества под действием электрического поля называется ***поляризацией.***

Способность к поляризации является основным свойством диэлектриков.

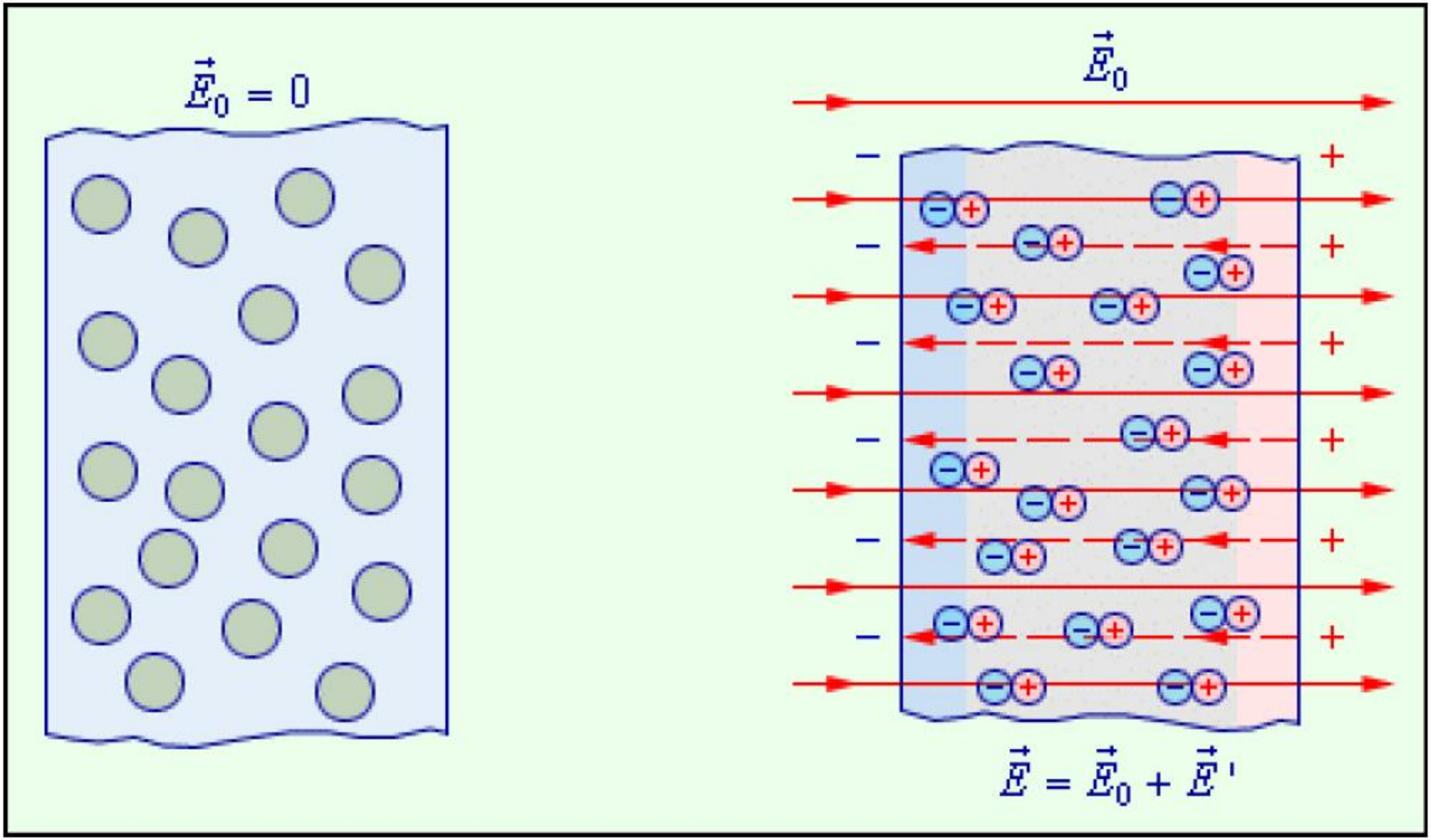
Поляризуемость *диэлектрика включает составляющие – электронную, ионную и ориентационную (дипольную).*



Поляризация диэлектрика

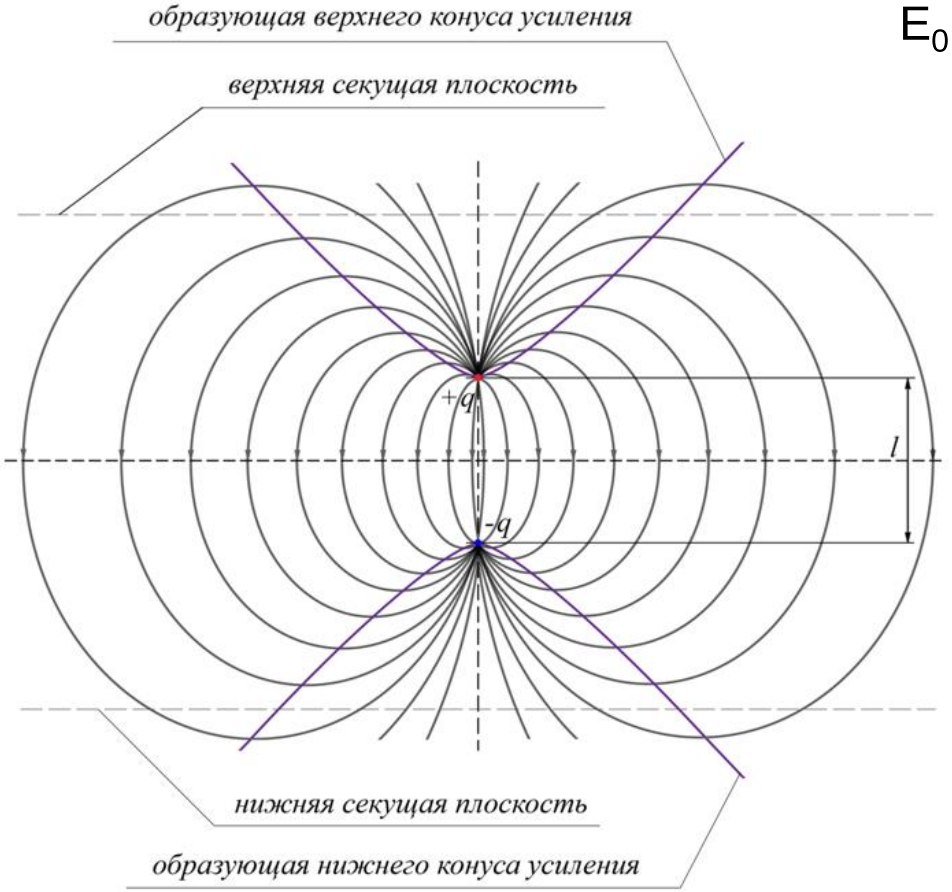


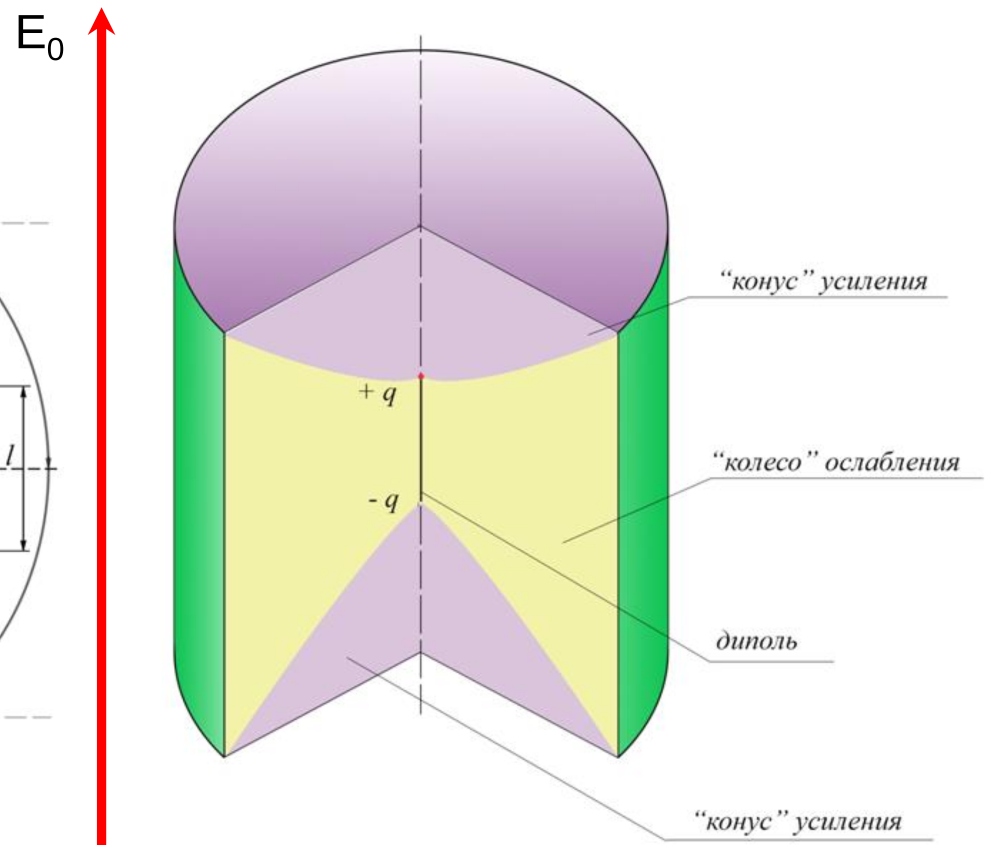
Поляризация отдельного атома



Образование связанных зарядов в диэлектрике и результирующая напряжённость.

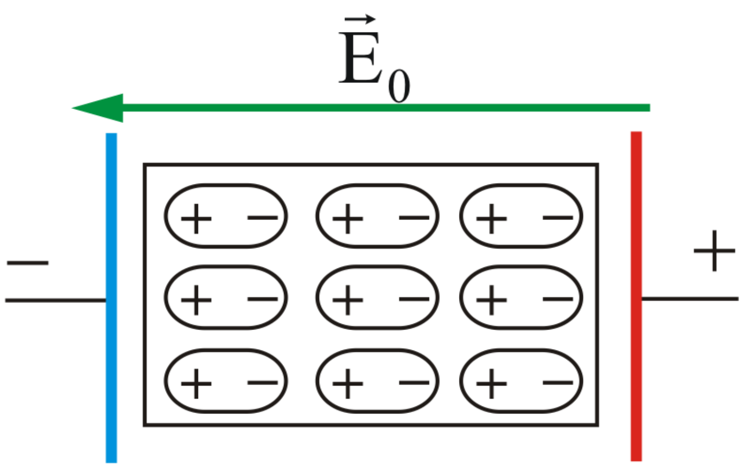
В.К. Скворцов. Поле диполя.

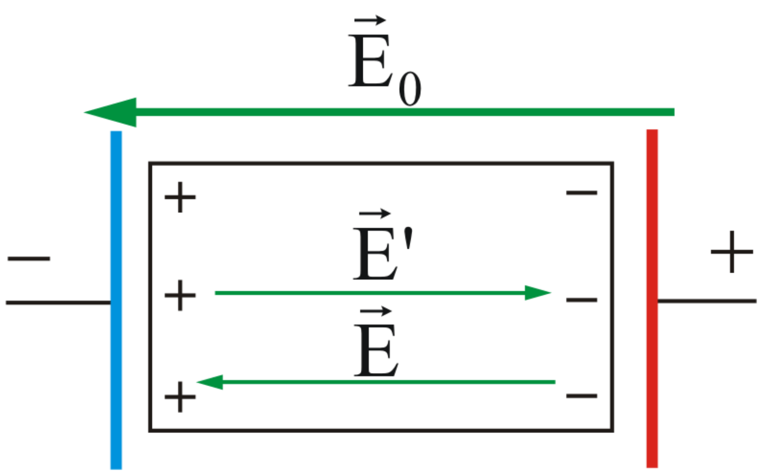




Области усиления и ослабления поля свободных зарядов.

- *Внутри диэлектрика электрические заряды* диполей суммарно компенсируют друг друга. Но на внешних поверхностях диэлектрика, прилегающих к электродам, появляются заряды противоположного знака (***поверхностные связанные заряды***).

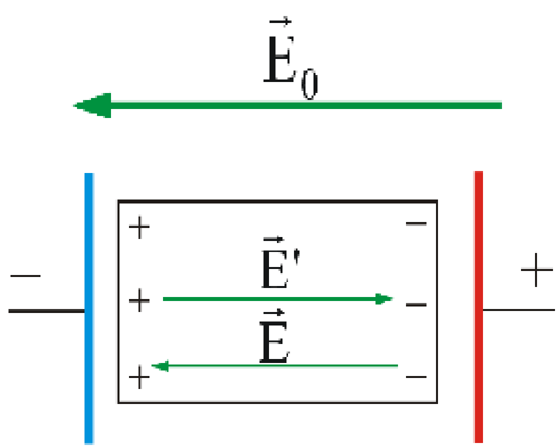




- E' – ***электростатическое поле связанных зарядов***. Оно направлено всегда против внешнего поля E_0

- ***результирующее электростатическое поле внутри диэлектрика***

$$E = E_0 - E'.$$



Поляризованность

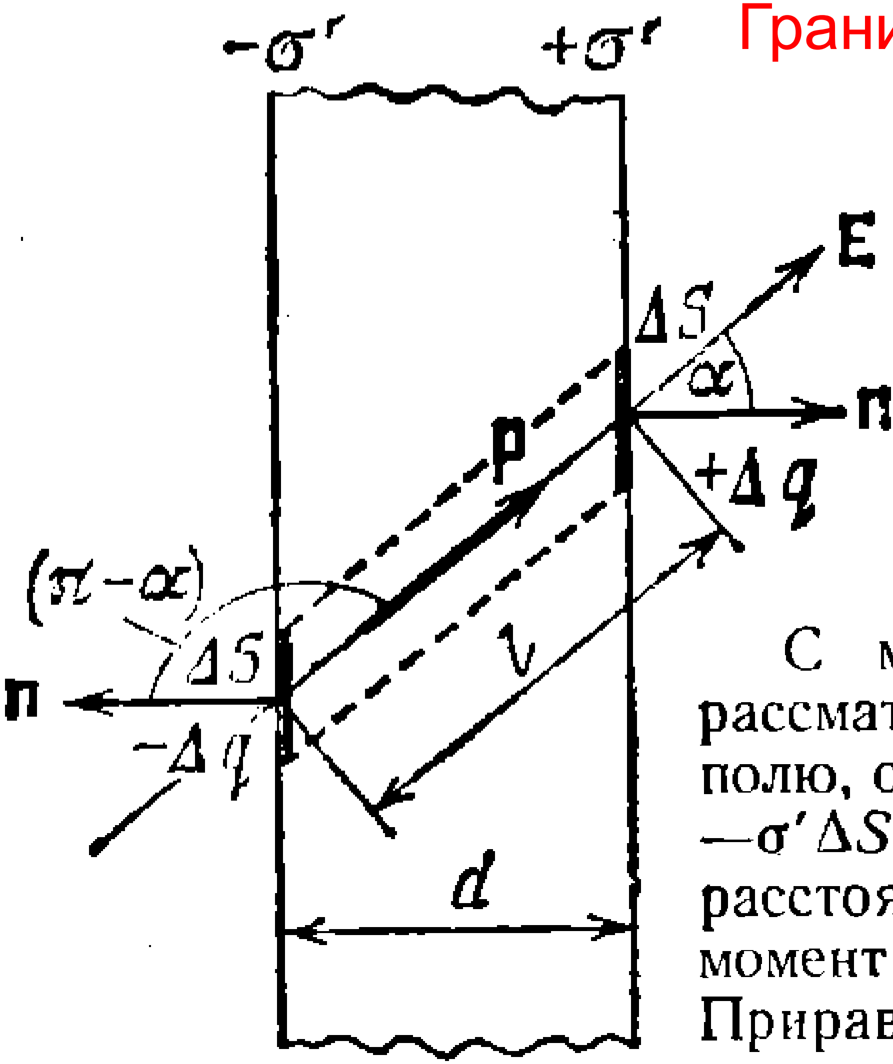
$$\boxed{\mathbf{P} = \frac{\sum \mathbf{p}_i}{\Delta V}.}$$

$$\boxed{\mathbf{P} = \varkappa\varepsilon_0\mathbf{E},}$$

$\varkappa$ — не зависящая от $\mathbf{E}$ величина, называемая диэлектрической восприимчивостью

диэлектрика

Граничное условие для вектора P



$$\Delta V = l\,\Delta S\cos\alpha,$$

$$P\,\Delta V = Pl\,\Delta S\cos\alpha$$

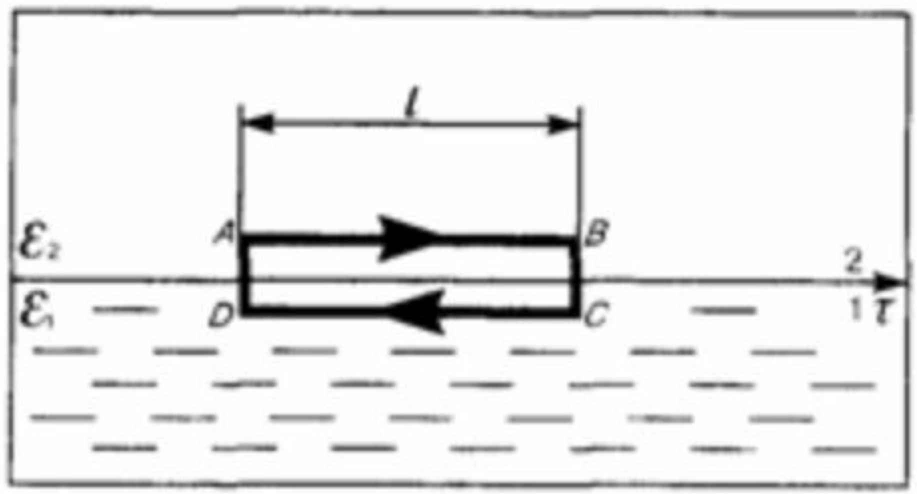
С макроскопической точки зрения рассматриваемый объем эквивалентен диполю, образованному зарядами $+\sigma'\Delta S$ и $-\sigma'\Delta S$, отстоящими друг от друга на расстояние l. Поэтому его электрический момент можно представить в виде $\sigma'\Delta S l$. Приравняв друг другу оба выражения для электрического момента, получим

$$Pl\,\Delta S\cos\alpha = \sigma'\Delta S l. \longrightarrow \boxed{\sigma' = P\cos\alpha = P_n}$$

Выразив **P** через $\varkappa$ и **E**, придем к формуле

$$\boxed{\sigma' = \varkappa \varepsilon_0 E_n}$$

Циркуляция вектора E на границе двух сред равна нулю



$$\oint_{ABCDA} \mathbf{E}d\mathbf{l} = 0$$

Теорема Гаусса для поля вектора P.

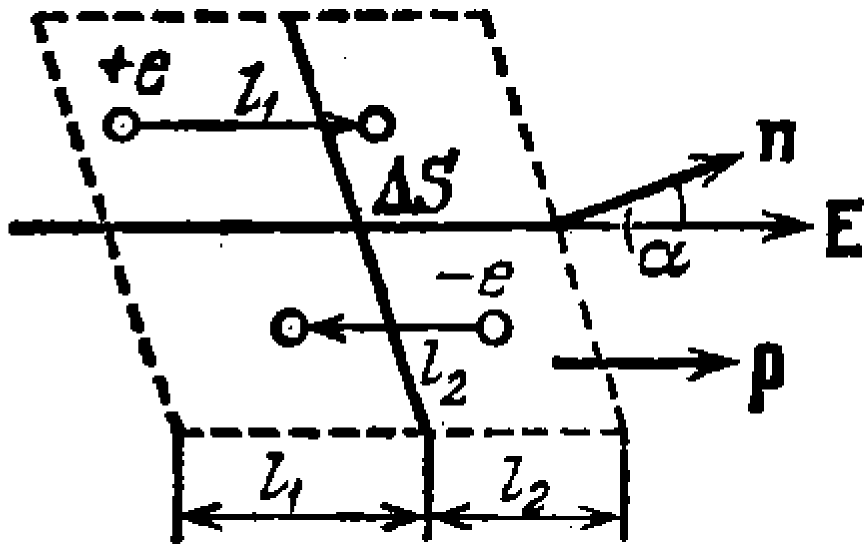
поле вектора **P** обладает следующим замечательным и важным свойством. Оказывается, поток вектора **P** сквозь произвольную замкнутую поверхность S равен взятому с обратным знаком избыточному связанному заряду диэлектрика в объеме, охватываемом поверхностью S, т. е.

$$\boxed{\oint \mathbf{P}\, d\mathbf{S} = -q'_{\text{внутр.}}}$$

Это уравнение и выражает т е о р е м у Г а у с с а д л я в е к т о р а **P**.

при включении поля через площадку ΔS переносится в направлении нормали к ней заряд

$$\Delta q' = enl_1 \Delta S \cos\alpha + enl_2 \Delta S \cos\alpha = en(l_1 + l_2)\Delta S \cos\alpha.$$



Сумма $l_1 + l_2$ есть расстояние l, на которое смещаются друг относительно друга положительные и отрицательные связанные заряды в диэлектрике. В результате этого смещения каждая пара зарядов приобретает дипольный момент $p = el = e(l_1 + l_2)$. Число таких пар в единице объема равно n. Следовательно, произведение $e(l_1 + l_2)n = eln = pn$ дает модуль поляризованности P. Таким образом, заряд, проходящий при включении поля через площадку ΔS в направлении нормали к ней, равен $\Delta q' = P\,\Delta S\cos\alpha$.

можно написать $\Delta q' = \mathbf{Pn}\,\Delta S$.

Перейдя от дельт к дифференциалам, получим

$$dq' = \mathbf{Pn}\,dS = \mathbf{P}\,d\mathbf{S}.$$

Представим себе внутри диэлектрика замкнутую поверхность S. При включении поля эту поверхность пересечет и выйдет наружу связанный заряд q', равный

$$\boxed{q'_{\text{выш}} = \oint_S dq' = \oint_S \mathbf{P}\,d\mathbf{S}}$$

В результате в объеме, ограниченном поверхностью S, возникнет избыточный связанный заряд

$$q'_{\text{изб}} = -q'_{\text{выш}} = -\oint_S \mathbf{P}\, d\mathbf{S} = -\Phi_p$$

(Φ_p — поток вектора $\mathbf{P}$ через поверхность S).

Это теорема Гаусса для вектора Р в интегральной форме

$$q'_{\text{изб}} = \int_V \rho'\, dV$$

(интеграл берется по объему, ограниченному поверхностью S). Таким образом, мы приходим к формуле

$$\int_V \rho'\, dV = -\oint_S \mathbf{P}\, d\mathbf{S}.$$

Преобразуем поверхностный интеграл по теореме Острогр — Гаусса В результате получится соотношение

$$\int_V \rho'\, dV = -\int_V \nabla\mathbf{P}\, dV \longrightarrow \boxed{\rho' = -\nabla\mathbf{P}}$$

Формульные соотношения для вектора P

$$\boxed{P_n = \sigma' = \frac{q'^{\,пов}}{S};}$$

$$\boxed{\sigma' = P\cos\alpha = P_n,}$$

$$\sigma' = \varkappa\varepsilon_0 E_n,$$

$$\boxed{\rho' = -\left(\frac{\partial P_x}{\partial x} + \frac{\partial P_y}{\partial y} + \frac{\partial P_z}{\partial z}\right) = -\operatorname{div}\mathbf{P}}$$

Формульные соотношения для вектора **E**

$$\boxed{\nabla \mathbf{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}(\rho + \rho').}$$

$$\rho' = -\nabla(\varkappa\varepsilon_0\mathbf{E}) = -\varepsilon_0\nabla(\varkappa\mathbf{E}) = -\varepsilon_0(\mathbf{E}\nabla\varkappa + \varkappa\nabla\mathbf{E}).$$

$$\rho' = -\varepsilon_0\mathbf{E}\nabla\varkappa - \varkappa\rho - \varkappa\rho'.$$

$$\rho' = -\frac{1}{1+\varkappa}(\varepsilon_0\mathbf{E}\,\nabla\varkappa + \varkappa\rho).$$

Интегральные соотношения для векторов **E** и **P**

$$\boxed{\oint \vec{E}d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0}(q - q')}$$

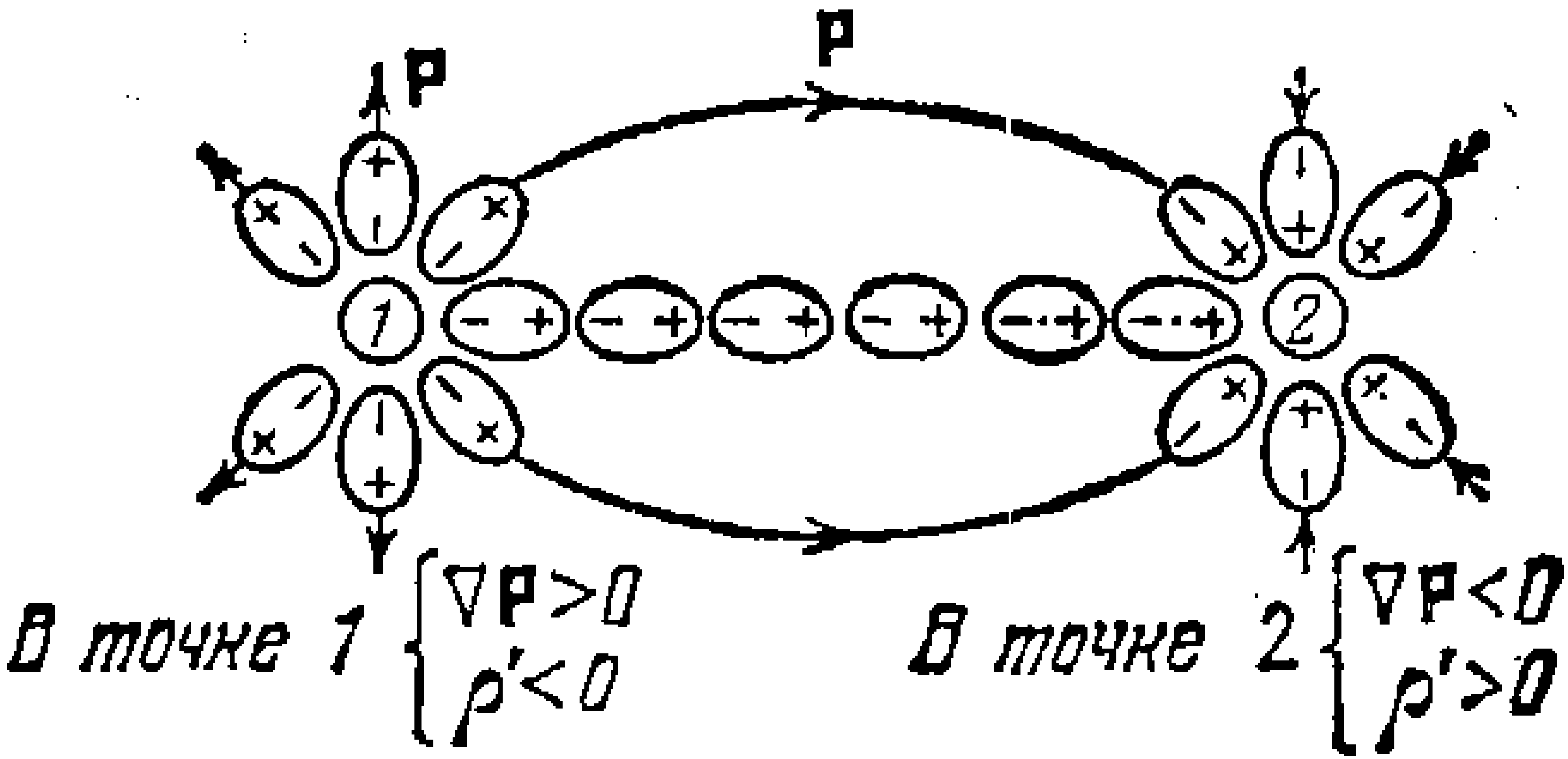
$$\boxed{\oint \vec{P}d\vec{S} = -q'}$$

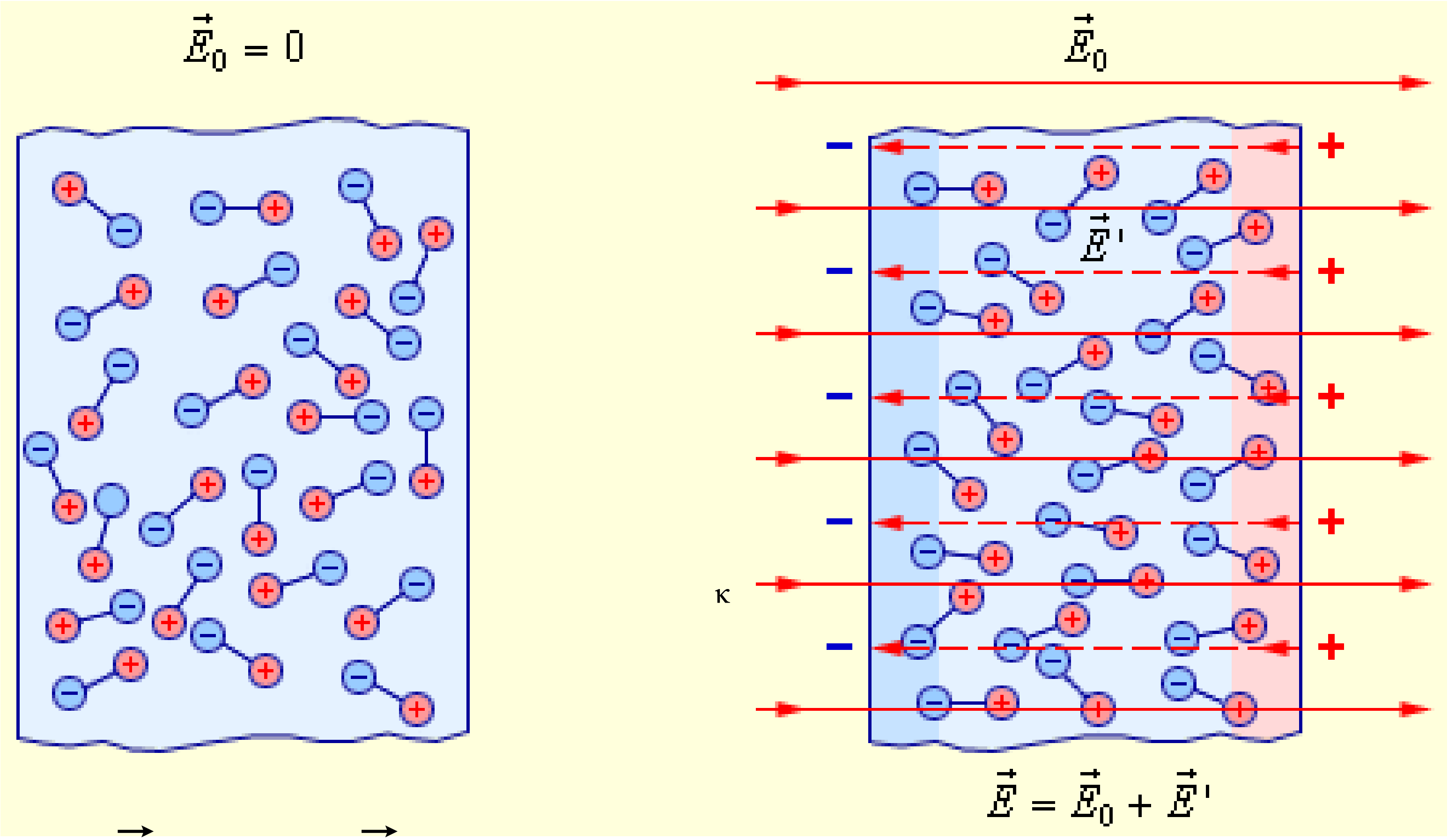
Дифференциальные соотношения для векторов **E** и **P**

$$\boxed{\mathrm{div}\vec{P} = -\rho'}$$

$$\boxed{\mathrm{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0}(\rho - \rho')}$$

Истоки и стоки вектора P





$$\vec{P} = \kappa \varepsilon_0 \vec{E}$$

κ – диэлектрич. восприимчивость

$$\boxed{\varepsilon_0 \vec{E}_0 = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}}$$

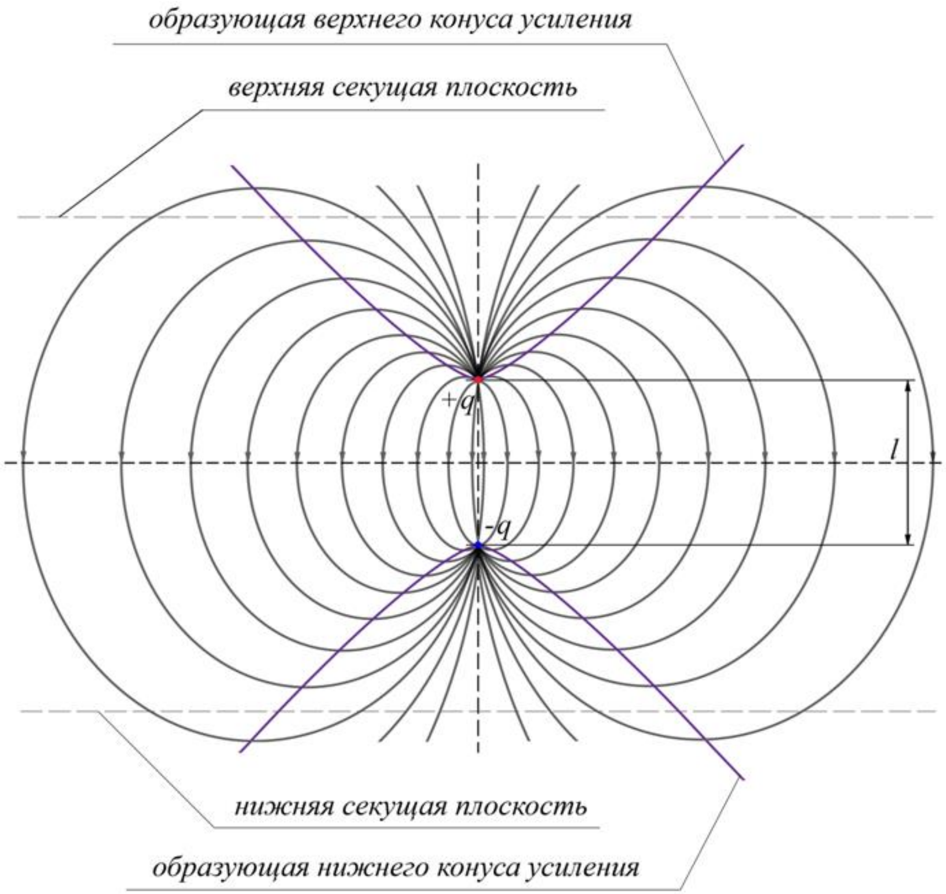
$\vec{E}$ - среднее значение вектора напряженности электрического поля внутри диэлектрика

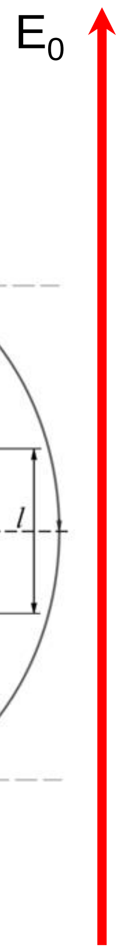
В.К. Скворцов. Поле диполя.

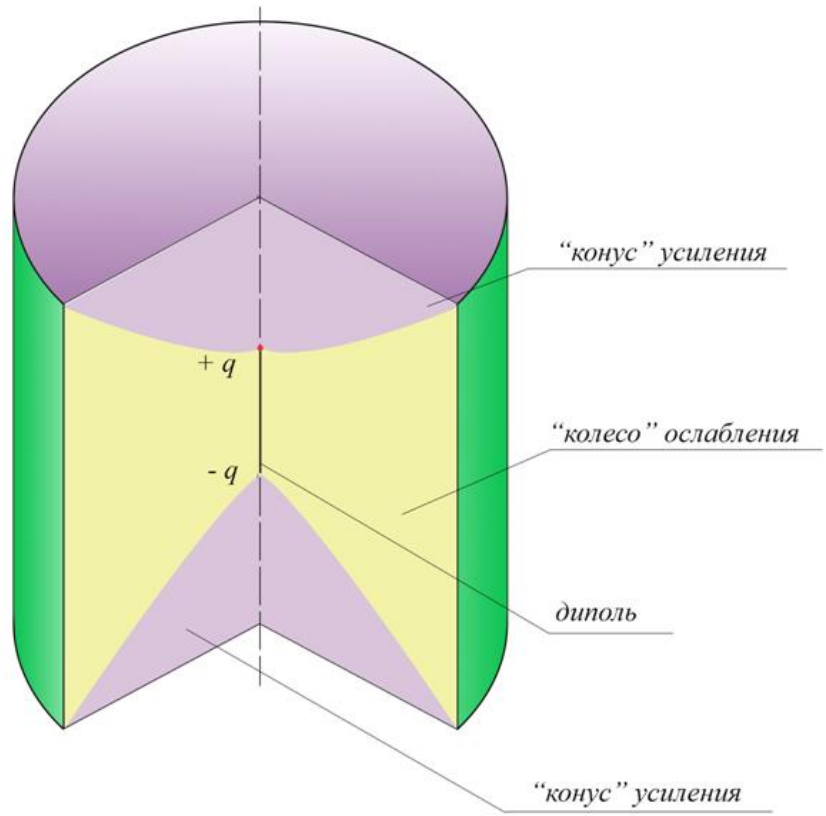
(повтор слайда)

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}_0$$

$$\boxed{\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}}$$







Области усиления и ослабления поля свободных зарядов.

Вектор **D**

Индукция электрического поля
(электрическое смещение)

$$\varepsilon_0 \vec{E}_0 = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$\boxed{\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}}$$

По Иродову вектор **D** не имеет физического смысла, поскольку является суммой двух совершенно разных векторов **E** и **P**.

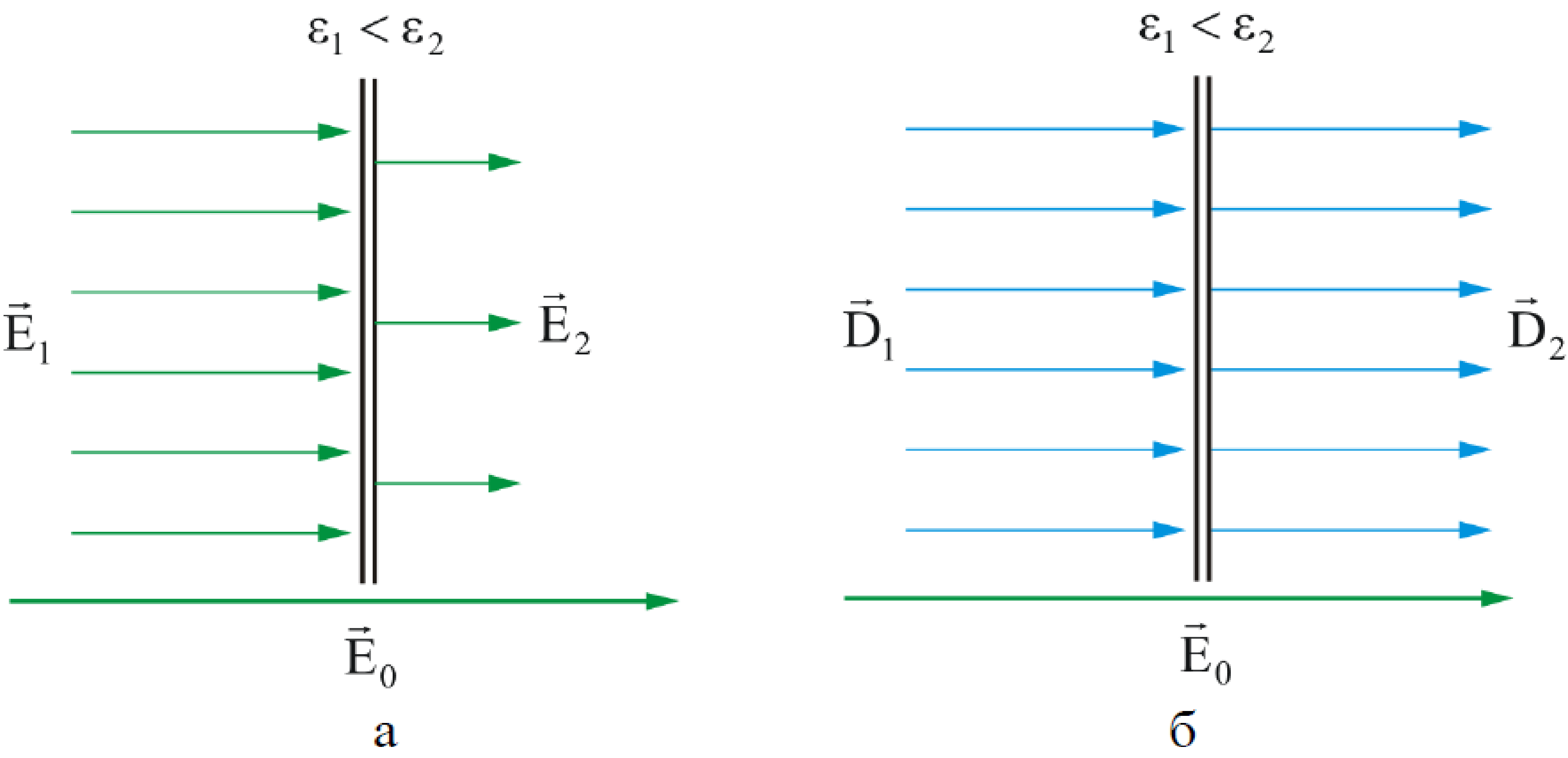
Теорема Гаусса для вектора D

$$\boxed{\oint \vec{D} d\vec{S} = q}$$

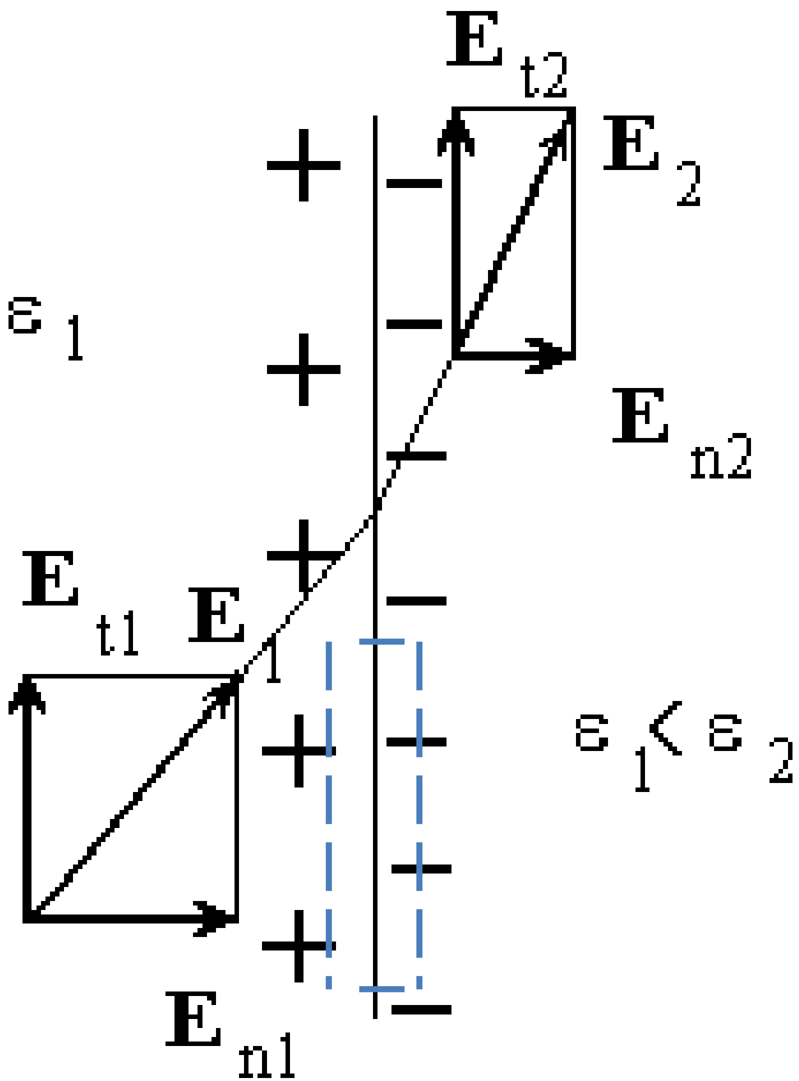
$$\boxed{\operatorname{div} \vec{D} = \rho}$$

Вектор **D** «*не замечает*» связанных зарядов

Поведение векторов **E** и **D** на границе двух сред



Поведение вектора **E** на границе двух сред



Тангенциальные составляющие по обе стороны от границы равны

Причина – равенство нулю циркуляции вектора E по контуру на границе двух сред

Поведение вектора **D** на границе двух сред

(традиционное представление)

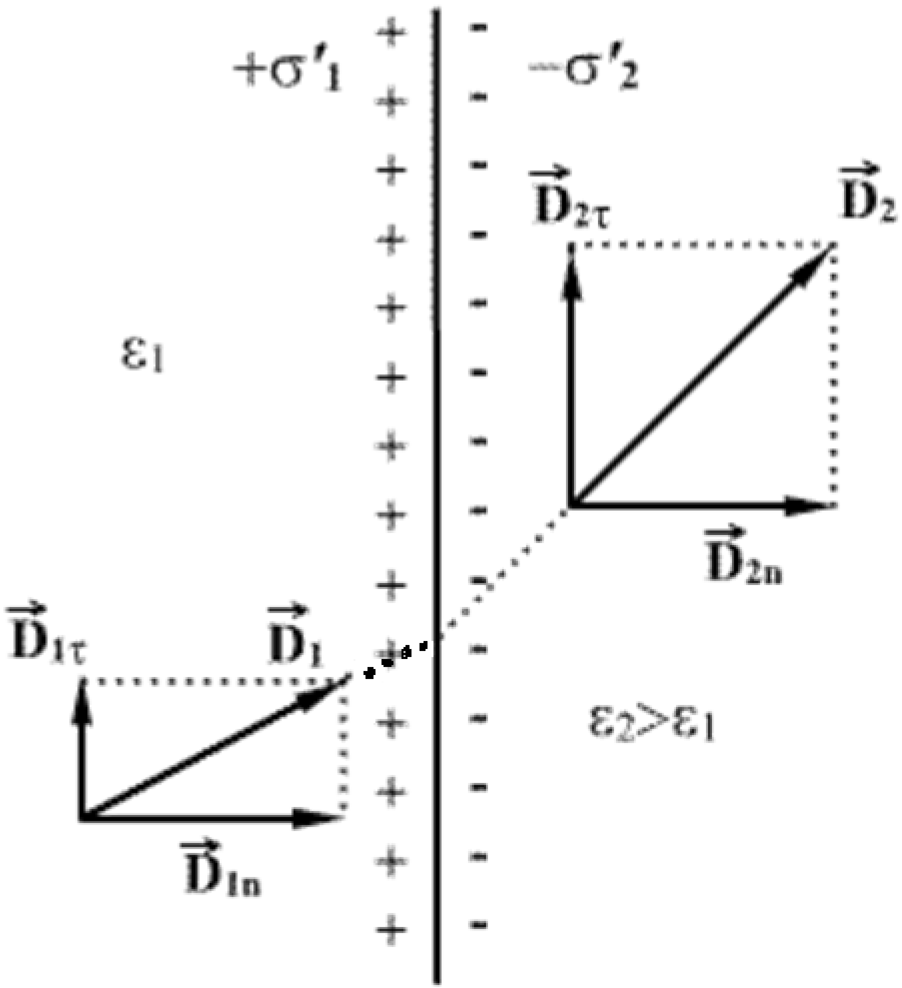


рис. 14.8

Нормальные составляющие по обе стороны от границы равны

Причина – непрерывность потока вектора D на границе двух сред из-за отсутствия свободных зарядов

Интегральные соотношения для векторов **D**, **P** и **E**

$$\boxed{\oint \vec{D}d\vec{S} = q}$$

$$\boxed{\oint \vec{P}d\vec{S} = -q'}$$

$$\boxed{\oint \vec{E}d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0}(q - q')}$$

Дифференциальные соотношения для векторов **D**, **P** и **E**

$$\boxed{\mathrm{div}\vec{D} = \rho}$$

$$\boxed{\mathrm{div}\vec{P} = -\rho'}$$

$$\boxed{\mathrm{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0}(\rho - \rho')}$$

Эти соотношения показывают, что вектор **E** – суммарный вектор

Анализируем вектор D

Для вакуума $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}_0;$ $\vec{E}_0$ - внешнее поле

В диэлектрике $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P};$ $\vec{E}$ - внутреннее поле

Имеем равенство $\varepsilon_0 \vec{E}_0 = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

Преобразованием получим:

$$\varepsilon_0 \vec{E}_0 = \varepsilon_0 \vec{E} + \kappa \varepsilon_0 \vec{E} = \varepsilon_0 \vec{E}(1 + \kappa) = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$$

$\boxed{\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}}$ $\boxed{\varepsilon - 1 = \kappa}$ $\boxed{\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}}$

$$\varepsilon_0\vec{E} = \varepsilon_0\vec{E}_0 - \vec{P} = \vec{D} - \vec{P}$$

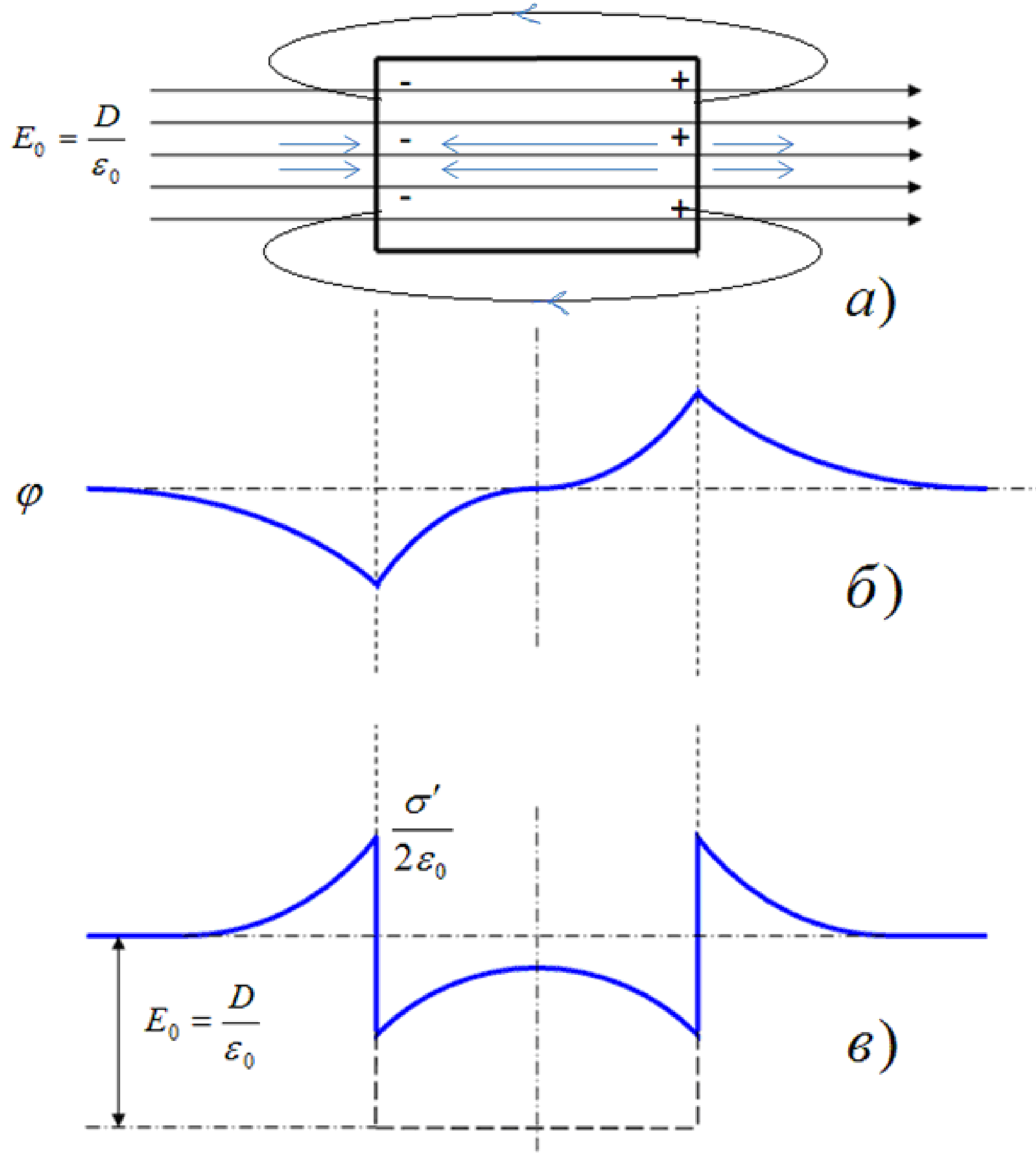
Но знак минус при суммировании векторов не применяют,
Формулы Чуева А.С.

$$\varepsilon_0\vec{E} = \varepsilon_0\vec{E}_0 + \vec{P}*$$

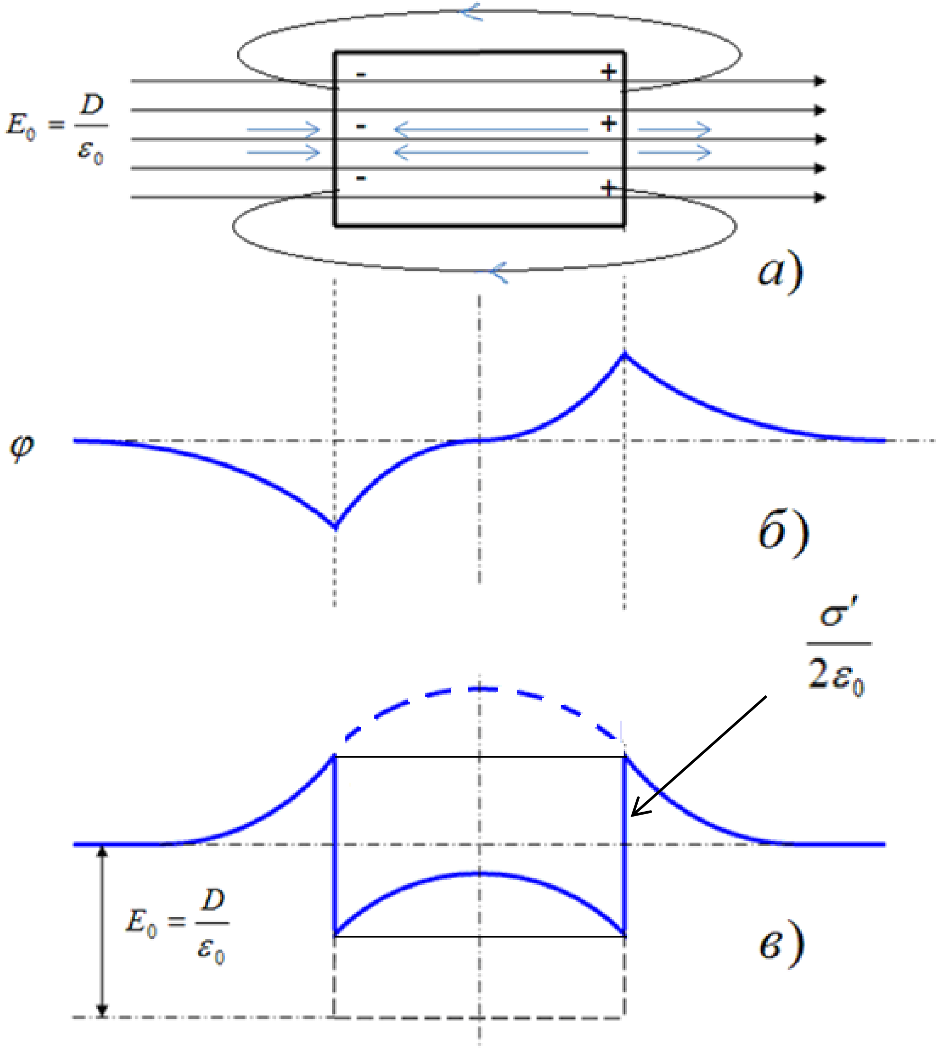
$$\vec{P}* = -\kappa * \vec{D}$$

$$\kappa* = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$$

По Чуеву: Физический смысл вектора ***D*** – объемная плотность электрических дипольных моментов, создаваемых виртуальными парами микрочастиц.

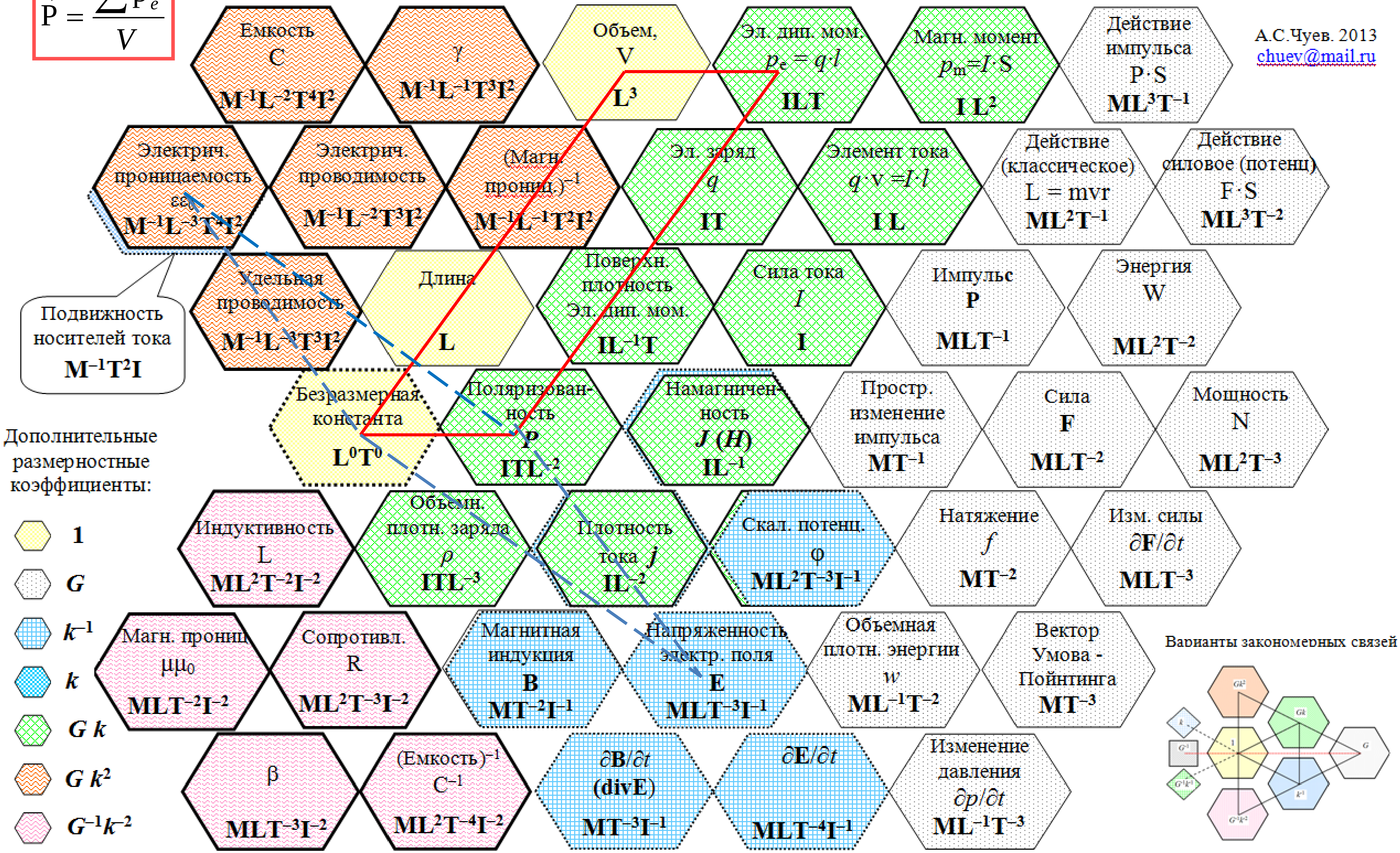

$E_0 = \frac{D}{\varepsilon_0}$
а)
φ
б)
$\frac{\sigma'}{2\varepsilon_0}$
$E_0 = \frac{D}{\varepsilon_0}$
в)

Поле внутри и вне диэлектрика, помещенного во внешнее поле



Система электромагнитных величин и их взаимосвязей

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_e}{V}$$



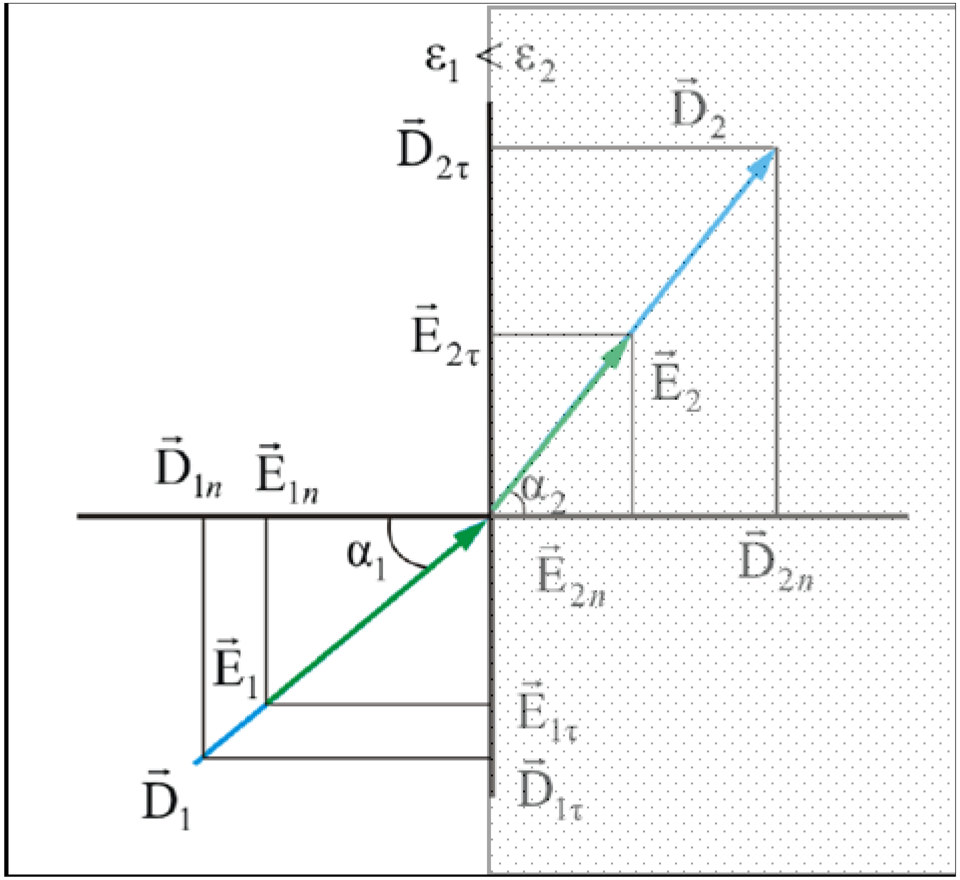
$$\vec{P} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$$

Информация последующих слайдов - факультативно

Несуразности и парадоксы в учебниках физики

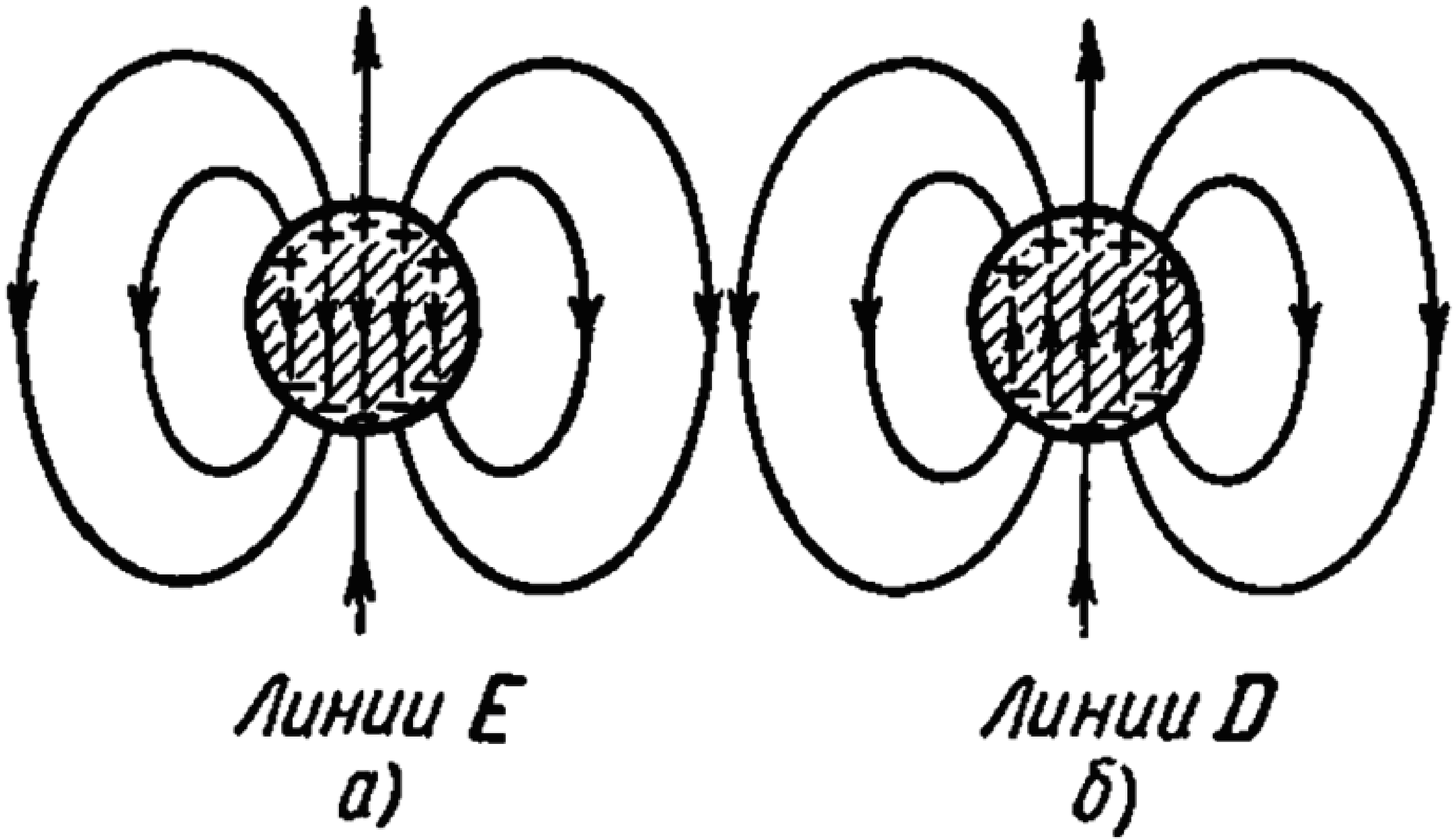
https://www.youtube.com/watch?v=TCWkdekjYmc

Поле на границе диэлектриков



$$\frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{E_{2n}}{E_{1n}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

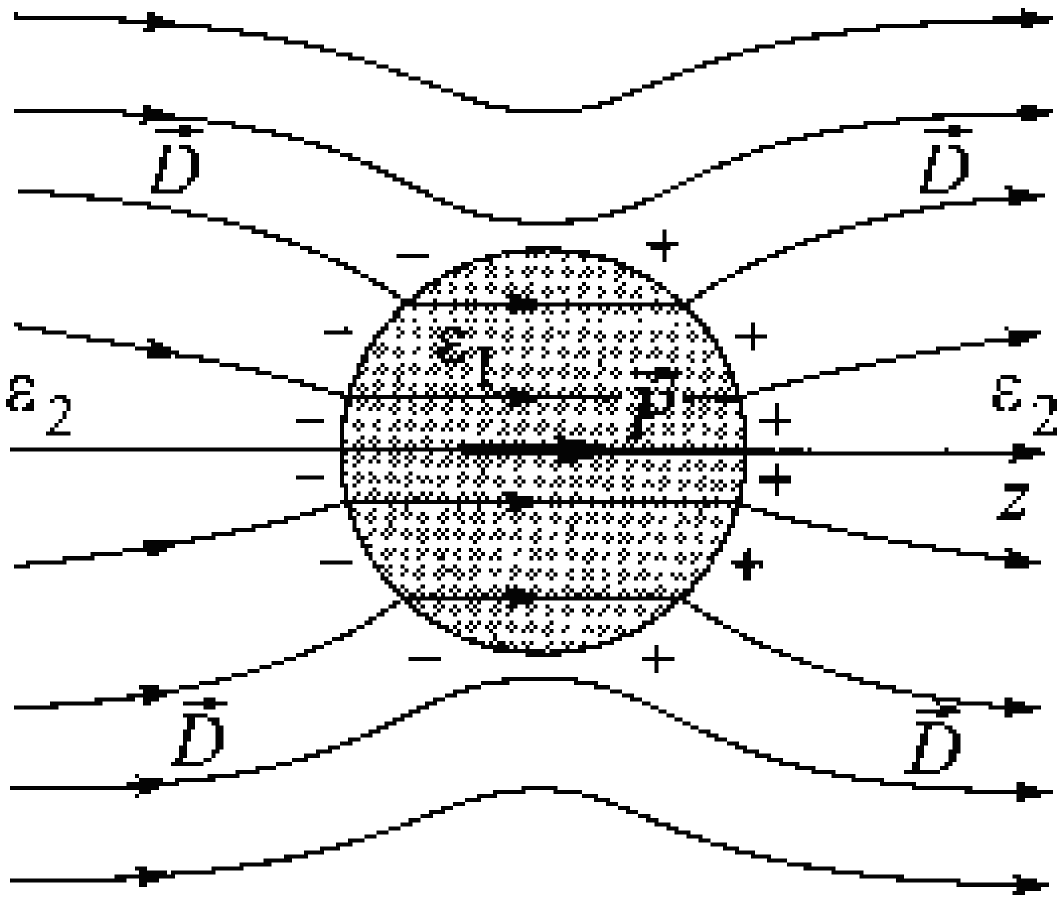
Парадокс – вектор D «не чувствует» среду, но преломляется на границе двух сред. Во второй среде вектор D увеличен по модулю.



Изображение линий векторов **E** и **D** внутри наэлектризованного шара.
(Векторы оказываются противоположно направленными ???)

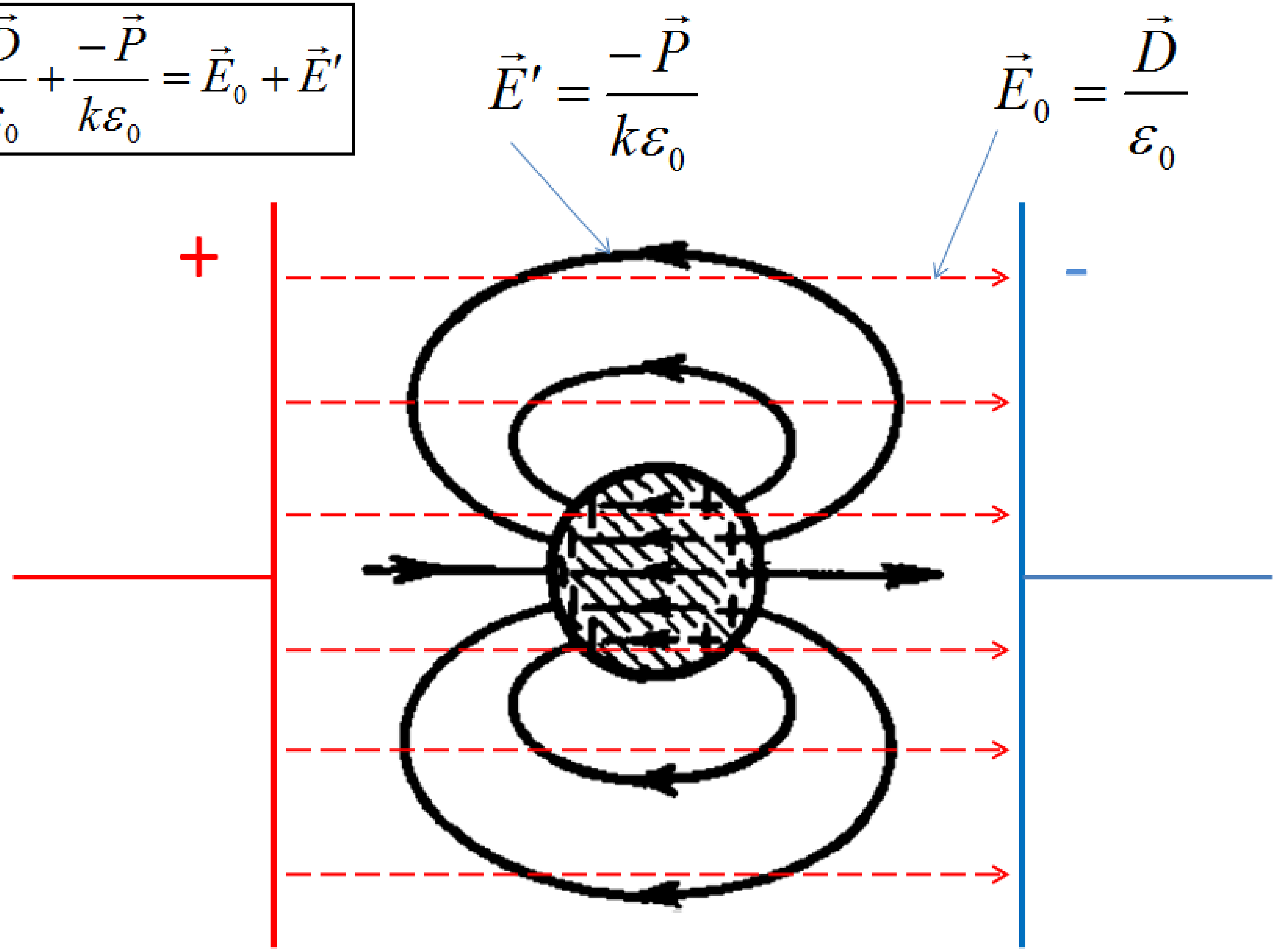
Иродов. Электромагнетизм. Основные законы. Рис. 3.6.

Изображение из учебника МГТУ им. Н.Э. Баумана



Изображение не соответствует формуле $\boxed{\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}}$

$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{D}}{\varepsilon_0} + \frac{-\vec{P}}{k\varepsilon_0} = \vec{E}_0 + \vec{E}'}$$



Поведение вектора E на границе двух сред

$E_{\tau 2} = E_{\tau 1}$ и $\varepsilon_2 E_{n2} = \varepsilon_1 E_{n1}$

Парадокс: по рисунку должно быть $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$

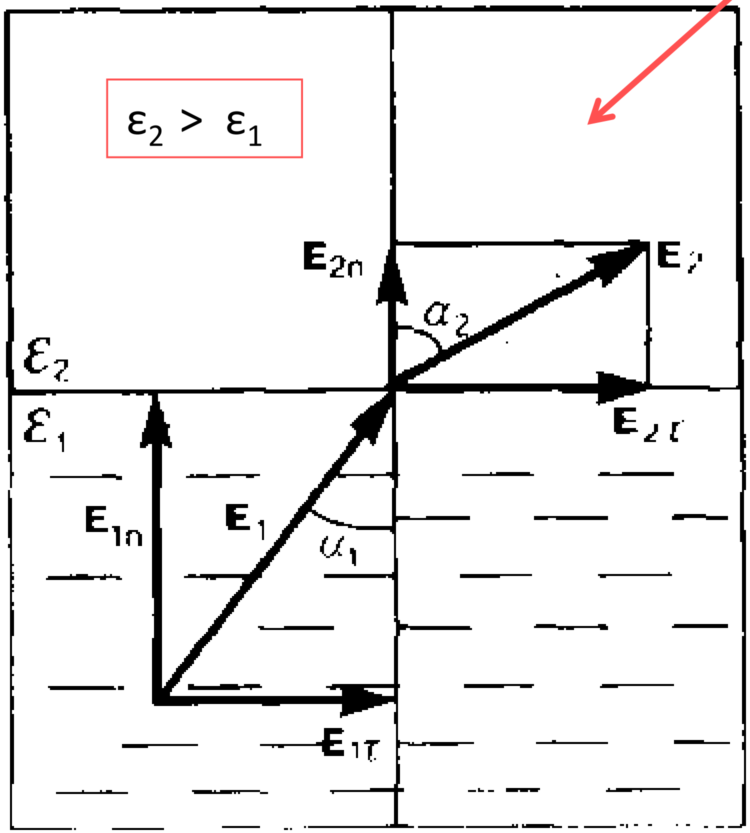
$$\frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \frac{E_{\tau 2}/E_{n2}}{E_{\tau 1}/E_{n1}}.$$

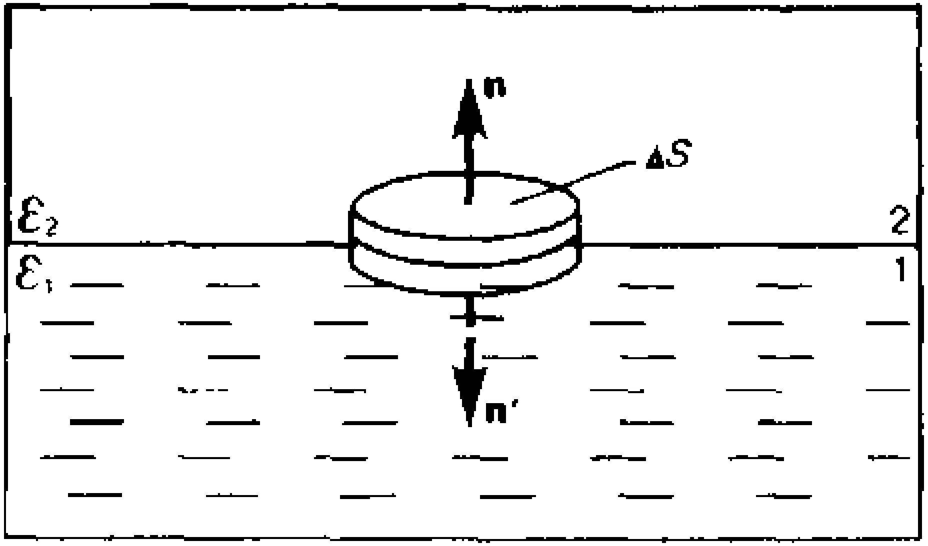
$$\boxed{\frac{E_{n1}}{E_{n2}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$$

$$-P_{1n}S + P_{2n}S = -\sigma' S$$

$$P_{2n} - P_{1n} = -\sigma'$$

$\varepsilon_2 > \varepsilon_1$





Текст из учебника Сивухина

Отсюда видно, что при переходе через границу раздела двух диэлектриков силовые линии испытывают *преломление*. При переходе из диэлектрика с меньшей ε в диэлектрик с большей ε угол β увеличивается, т. е. силовая линия удаляется от нормали к границе раздела. С этим связана концентрация (сгущение) силовых линий в диэлектрике с большей диэлектрической проницаемостью. Примером может служить диэлектрическая пластинка, внесенная в однородное электрическое поле (рис. 50).

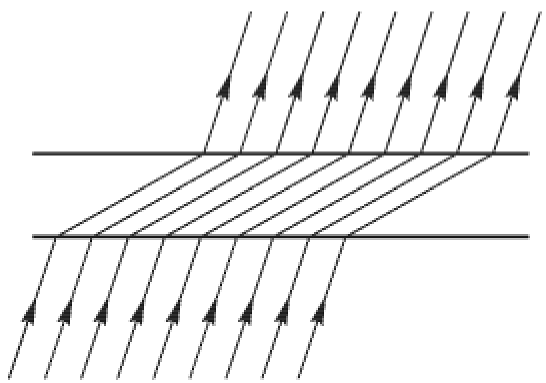


Рис. 50

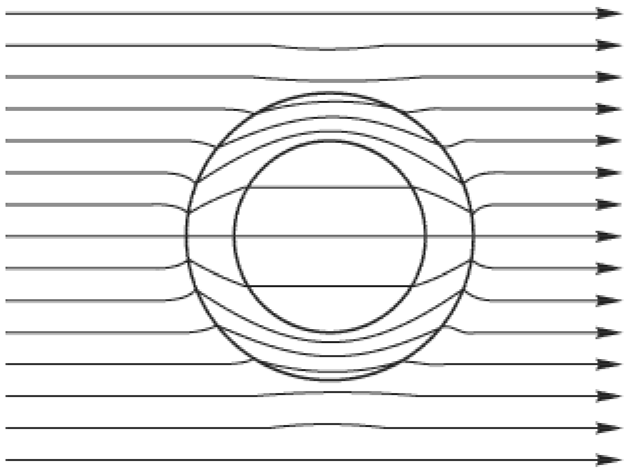
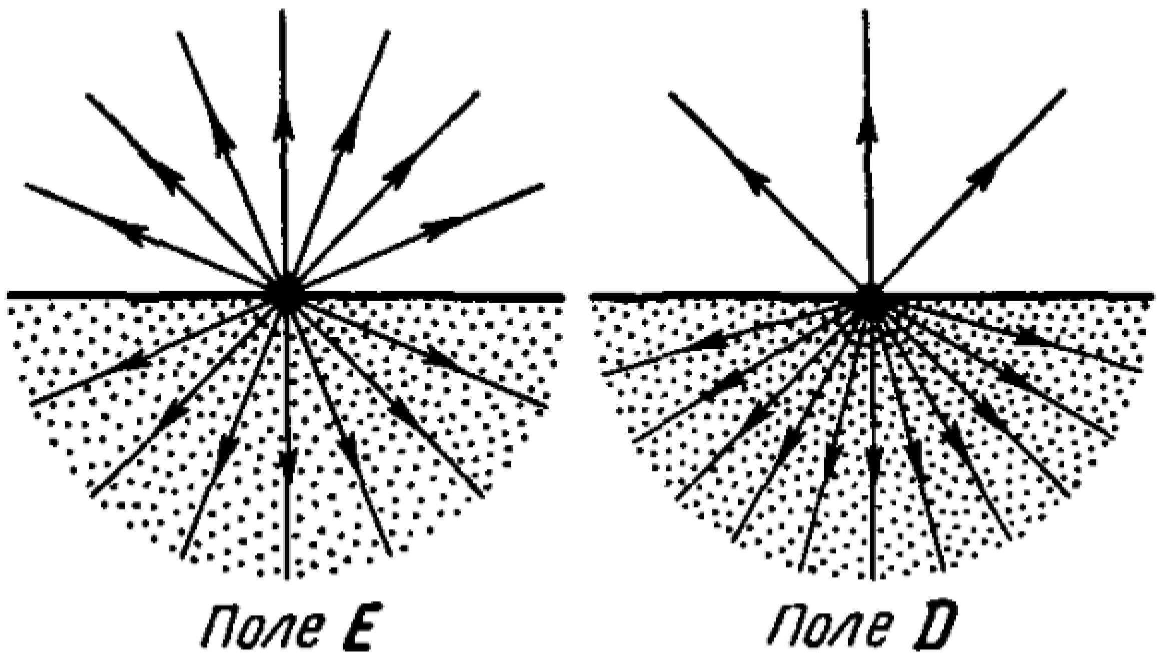
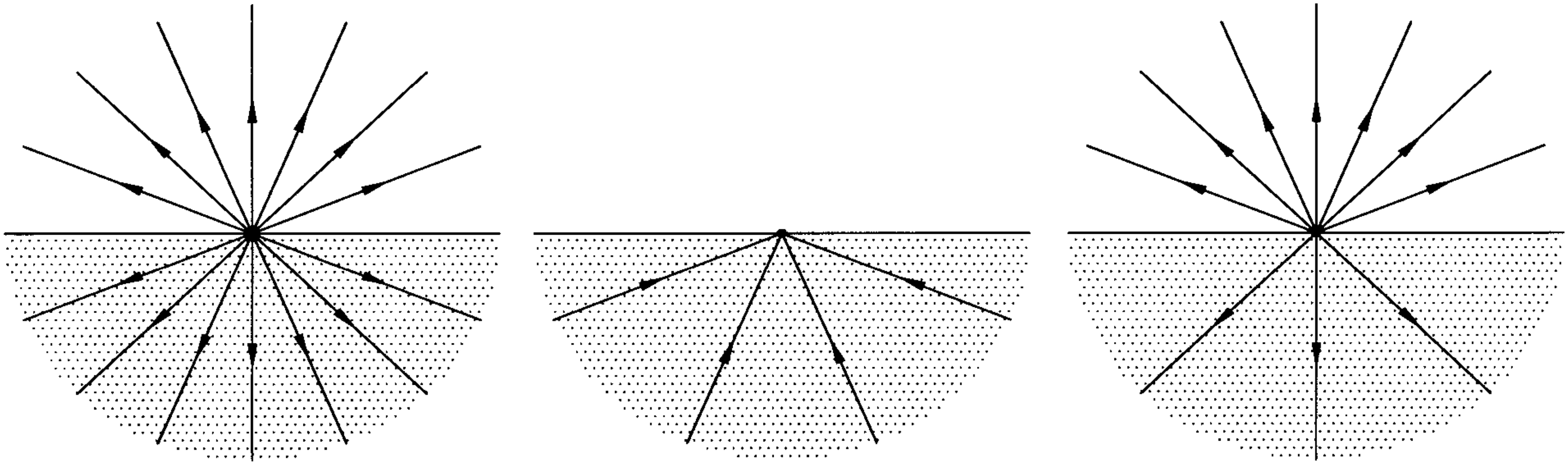


Рис. 51

Парадоксы электростатики



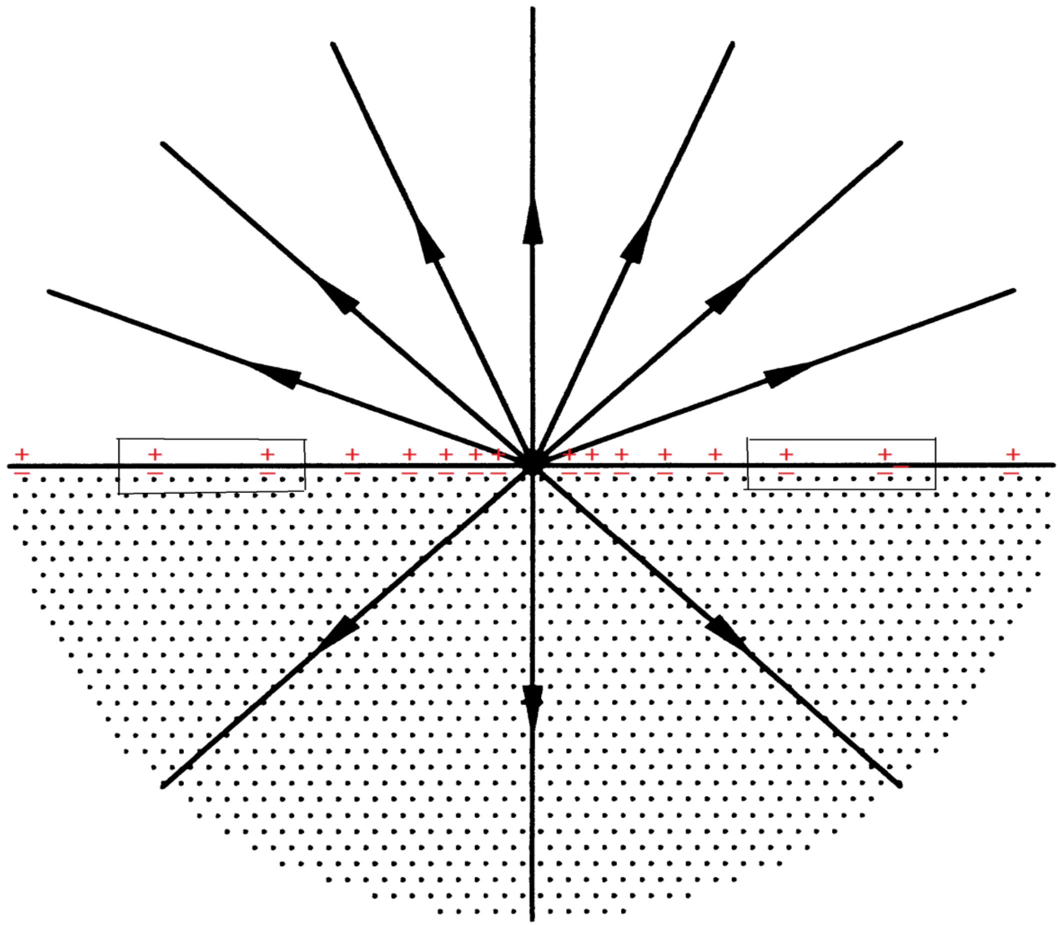
Изображение полей (по Иродову) от электрического заряда на границе перехода вакуум – диэлектрик



Поле D Поле P' Поле E

Действительное изображение полей от электрического заряда на границе перехода вакуум – диэлектрик

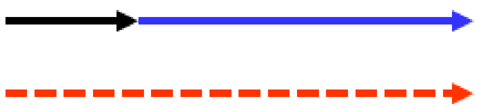
$$\boxed{\varepsilon_0\vec{E} = \varepsilon_0\vec{E}_0 + \vec{P}*}$$



Общепринятое соотношение электрических векторов $\boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{P}$ и $\boldsymbol{D}$ внутри диэлектрика.

Вектор $\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E}_{\text{внешн}} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E}_0 = \varepsilon_0 \boldsymbol{E} + \boldsymbol{P}$

Соотношение векторов



Парадокс: неестественное направление вектора $\boldsymbol{P}$

$$\boxed{E_{\text{внутр}} = E_0 - E^*}$$

E^* - электрическое поле диполей

Обозначения:

Вектор $\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E}_0$ (составной электрический вектор)

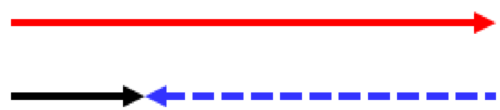
Вектор $\boldsymbol{P} = \varkappa \varepsilon_0 \boldsymbol{E}_{\text{внутр}}$ (поляризованность диэлектрика)

Вектор $\varepsilon_0 \boldsymbol{E}_{\text{внутр}}$ (остаток от $\varepsilon_0 \boldsymbol{E}_0$)

Действительное соотношение электрических векторов ***E***, ***P*** и ***D*** внутри диэлектрика.

Вектор $\varepsilon_0 \boldsymbol{E}_{\text{внутр}} = \boldsymbol{D} + \boldsymbol{P}^*$

Предлагаемое соотношение



Вектор $\boldsymbol{P}^* = -\boldsymbol{P}$.
Вектор ***D*** первичен

$\boxed{E_{\text{внутр}} = E_0 - E^*}$

$E^* = \varkappa^* E_0$ - электрическое поле диполей

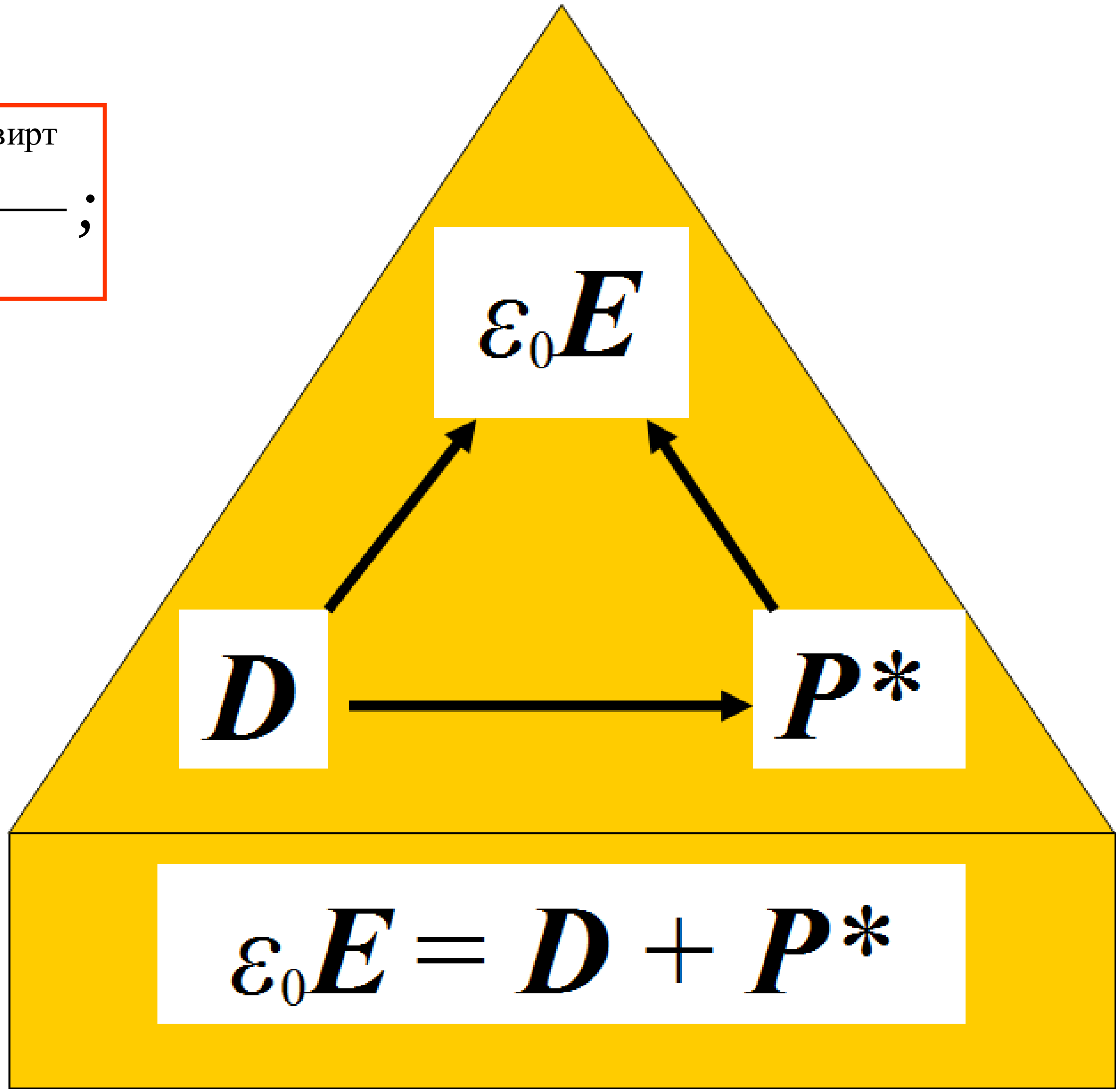
Обозначения:

Вектор $\varepsilon_0 \boldsymbol{E}_{\text{внутр}}$ (остаток от $\varepsilon_0 \boldsymbol{E}_0$)

Вектор $\boldsymbol{P}^* = \varkappa^* \varepsilon_0 \boldsymbol{E}_0$ (поляризованность диэлектрика)

Вектор $\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E}_0$ (первичный электрический вектор)

$$\vec{D} = \frac{\sum \vec{p}_{\text{e}}^{\,\text{вирт}}}{V};$$

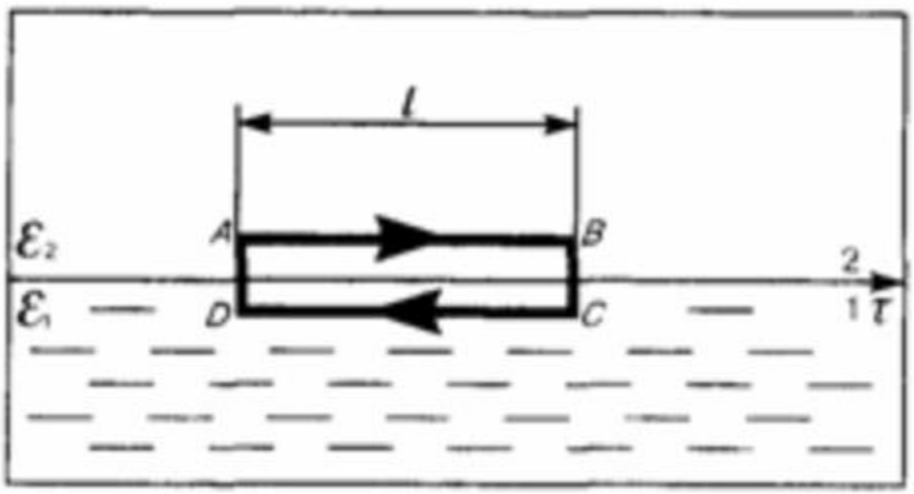


$$\vec{P}^* = -\vec{P} = \kappa' \cdot \vec{D}$$

$$\varepsilon_0 \vec{E} = \vec{D} + \vec{P}^* = (1-\kappa')\vec{D} = \vec{D}/\varepsilon$$

$$\varepsilon = 1/(1-\kappa')$$

Циркуляция вектора E на границе двух сред равна нулю



$$\oint_{ABCDA} \mathbf{E}\,d\mathbf{l} = 0$$

$$\boxed{\vec{F}_0 = q\vec{E}_0 = q\frac{\vec{D}}{\varepsilon_0}}$$

$$\boxed{\vec{F} = q\vec{E} = q\frac{\vec{D}}{\varepsilon_0\varepsilon}}$$

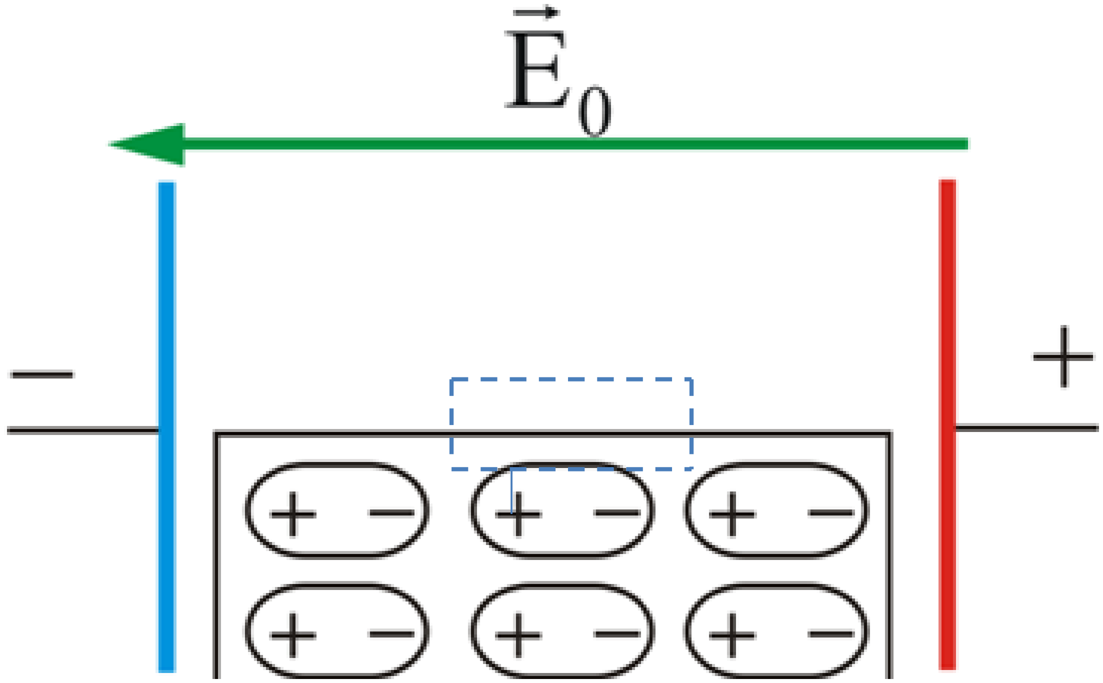
$$\boxed{\varepsilon = \frac{\vec{F}_0}{\vec{F}}}$$

Диэлектр. Проницаемость
(Для воды = 81)

$$\boxed{\varepsilon - 1 = \kappa}$$

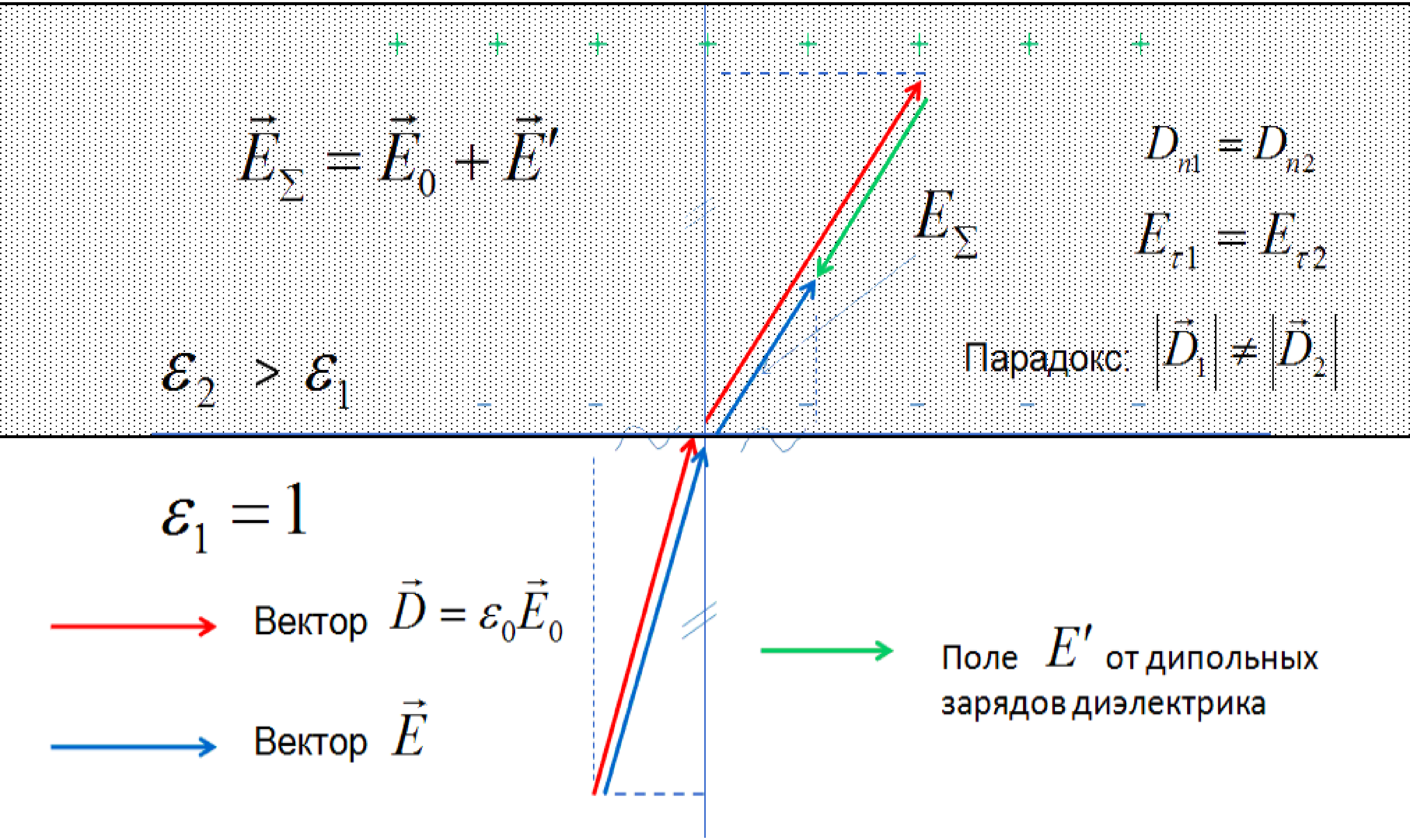
Диэлектр. восприимчивость

Парадокс циркуляции вектора **E**

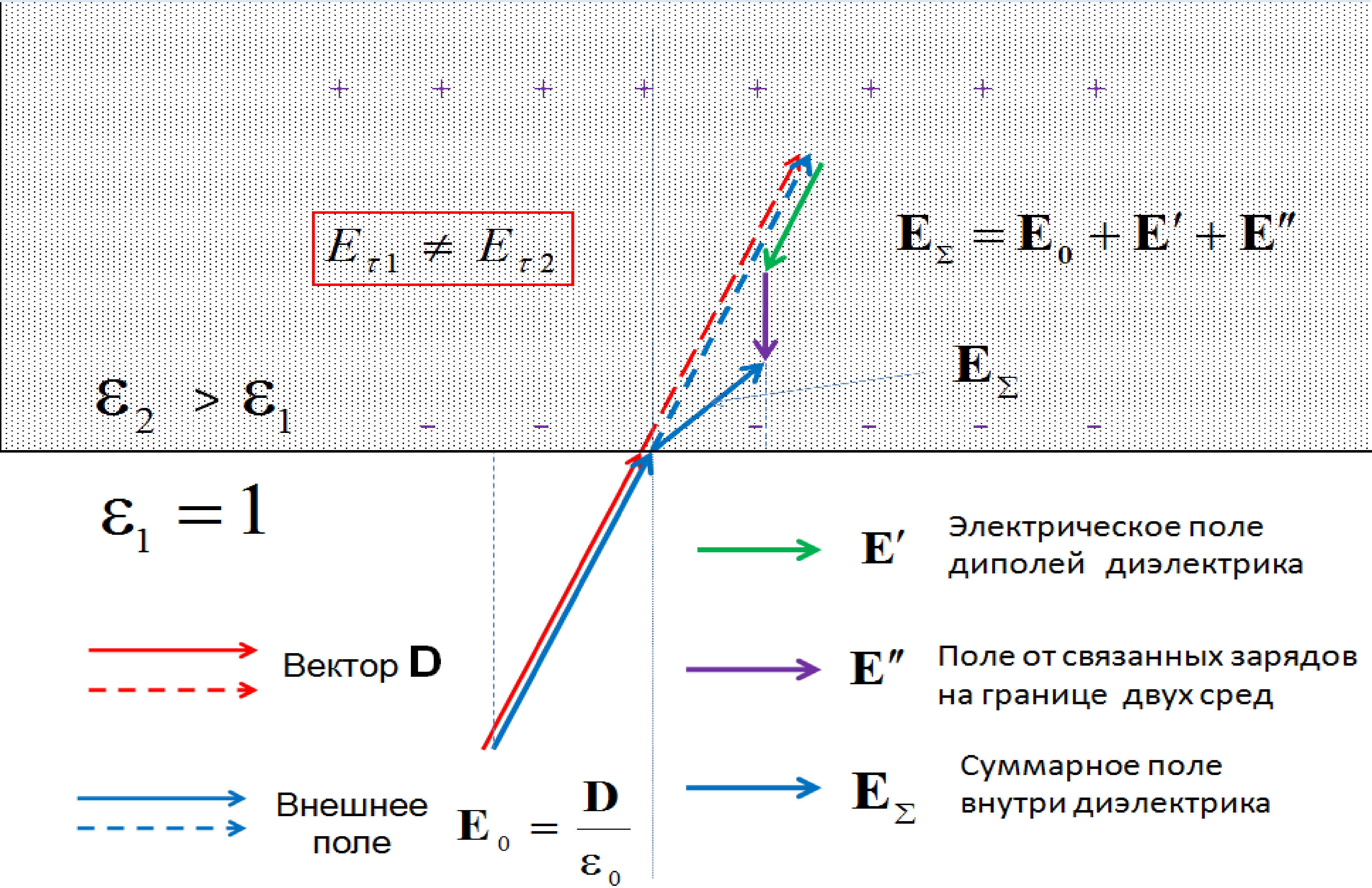


$$\boxed{\oint \vec{E}d\vec{l} = ?}$$

Традиционное представление о поведении электрических векторов на плоской границе раздела двух сред



Модель поведения электрических векторов *D* и *E* на границе раздела двух сред

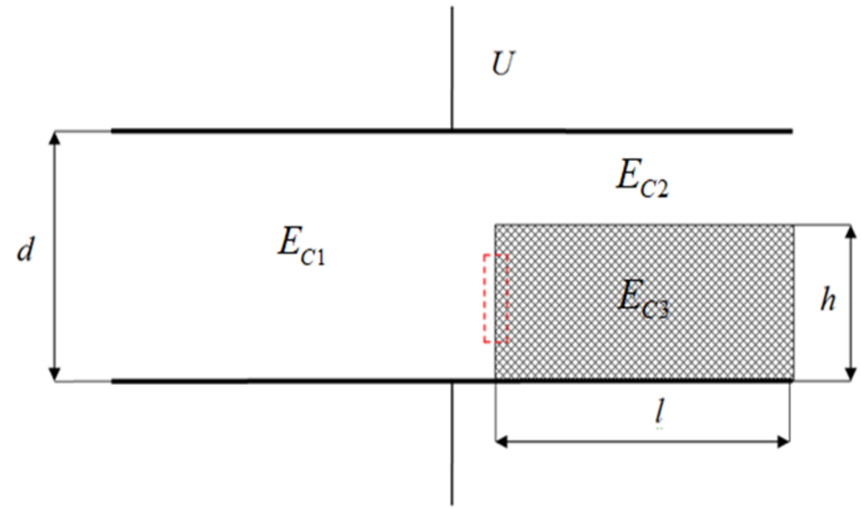


Расчетные примеры, показывающие неравенство тангенциальной составляющей вектора E на границе двух сред

$$U_{C1} = U$$

$$U_{C2} = U\frac{\varepsilon(d-h)}{\varepsilon(d-h)+h}$$

$$U_{C3} = U\frac{h}{\varepsilon(d-h)+h}$$

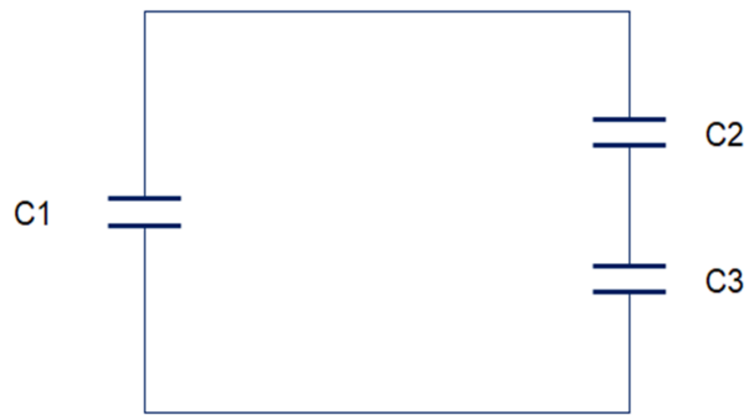


а)

$$E_{C1} = \frac{U}{d}$$

$$E_{C2} = \frac{\varepsilon U}{\varepsilon(d-h)+h}$$

$$E_{C3} = \frac{U}{\varepsilon(d-h)+h}$$

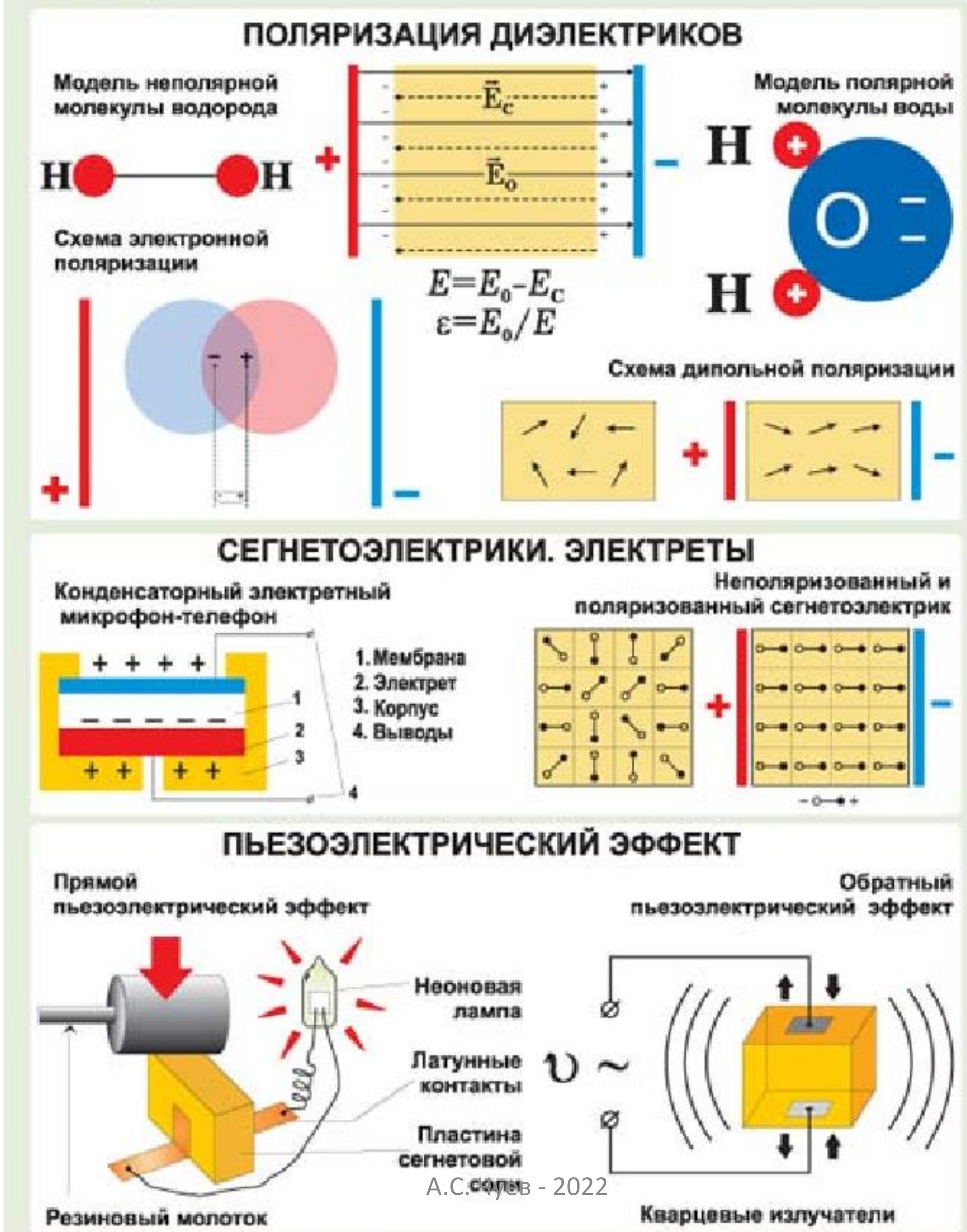


$$\boxed{\frac{E_{C2}}{E_{C1}} = \frac{\varepsilon d}{\varepsilon(d-h)+h}}$$

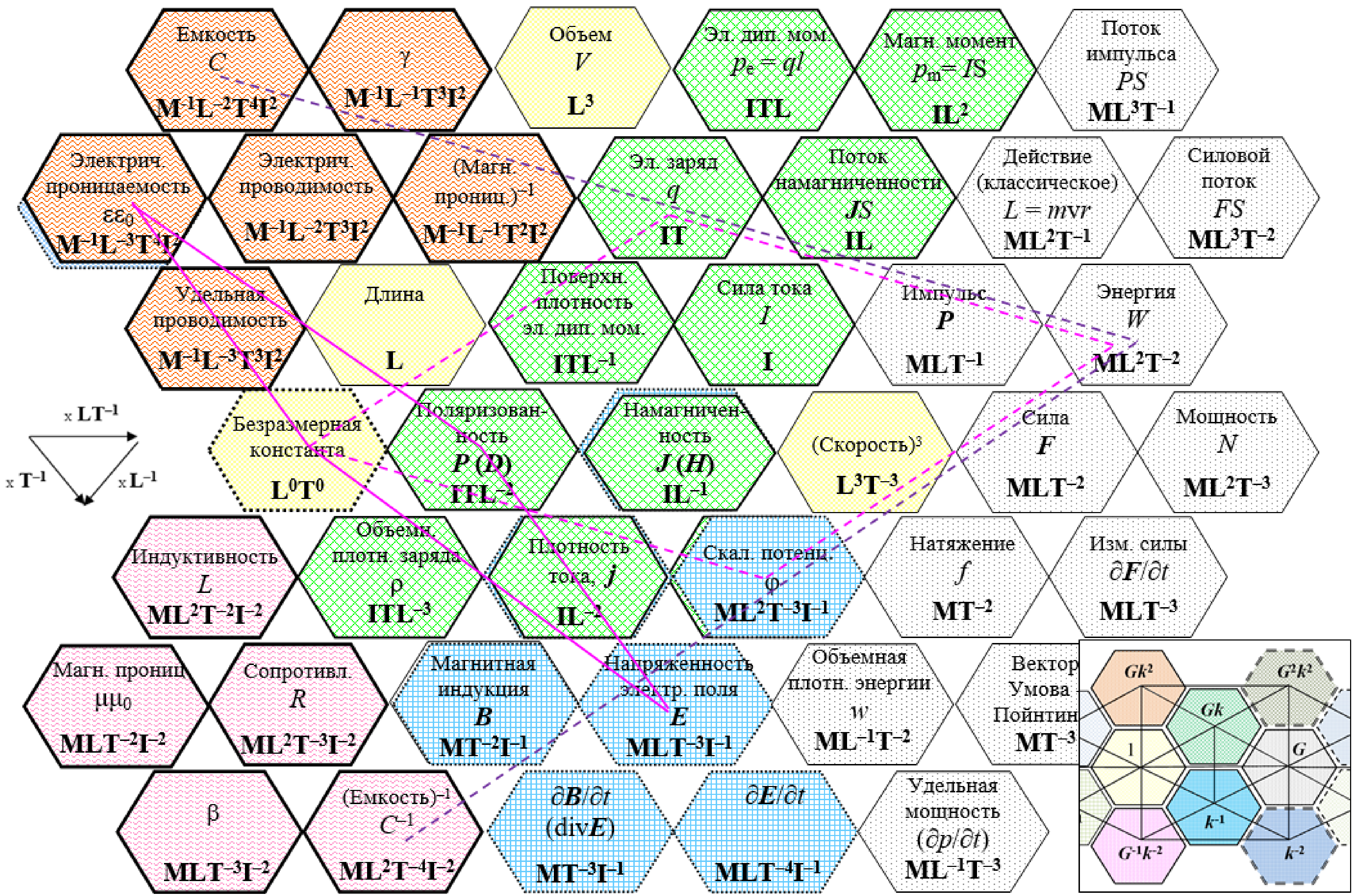
$$\frac{E_{C2}}{E_{C3}} = \varepsilon$$

$$\boxed{\frac{E_{C3}}{E_{C1}} = \frac{d}{\varepsilon(d-h)+h}}$$

б)


ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ
Модель неполярной молекулы водорода
H H
$\vec{E}_C$
$\vec{E}_0$
+
−
$E=E_0-E_C$
$\varepsilon=E_0/E$
Модель полярной молекулы воды
H
H
O
Схема электронной поляризации
Схема дипольной поляризации
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ. ЭЛЕКТРЕТЫ
Конденсаторный электретный микрофон-телефон
1. Мембрана
2. Электрет
3. Корпус
4. Выводы
Неполяризованный и поляризованный сегнетоэлектрик
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ
Прямой пьезоэлектрический эффект
Неоновая лампа
Латунные контакты
Пластина сегнетовой соли
Резиновый молоток
Обратный пьезоэлектрический эффект
Кварцевые излучатели

Электромагнитные величины в системе ФВиЗ



Конец лекции 3-2022