

Физическое моделирование ЗСБЗ

Почему недостаточно математики

Семинар Вахромеева ГС
Давиденко ЮА
2024

Уравнения Максвелла

Семестр 3. Лекции 1-2.

1

Волновое уравнение

Кто не сможет на экзамене пояснить смысл этих уравнений, получит «неуд».

$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$ $\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ $\operatorname{div} \vec{B} = 0$ $\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oiint_S (\vec{D}, d\vec{S}) = q_\Sigma$ $\oint_r (\vec{E}, d\vec{l}) = -\frac{d}{dt} \iint_S (\vec{B}, d\vec{S})$ $\oiint_S (\vec{B}, d\vec{S}) = 0$ $\oint_r (\vec{H}, d\vec{l}) = I_\Sigma + \frac{d}{dt} \iint_S (\vec{D}, d\vec{S})$
---	--

$$\vec{j} = \gamma \cdot \vec{E}, \quad \vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}, \quad \vec{B} = \mu_0 \cdot (\vec{H} + \vec{J}), \quad \operatorname{div}(\vec{j}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$D_{2n} - D_{1n} = \sigma, \quad E_{1t} = E_{2t}$$

$$B_{2n} = B_{1n}, \quad H_{2t} - H_{1t} = i$$

$$\left(\frac{\partial^2 E_X}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_X}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_X}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial^2 E_X}{\partial t^2}$$

$$\left(\frac{\partial^2 E_Y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_Y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_Y}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial^2 E_Y}{\partial t^2}$$

$$\left(\frac{\partial^2 E_Z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_Z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_Z}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial^2 E_Z}{\partial t^2}$$

На этом месте электрики навсегда уходят от этих уравнений

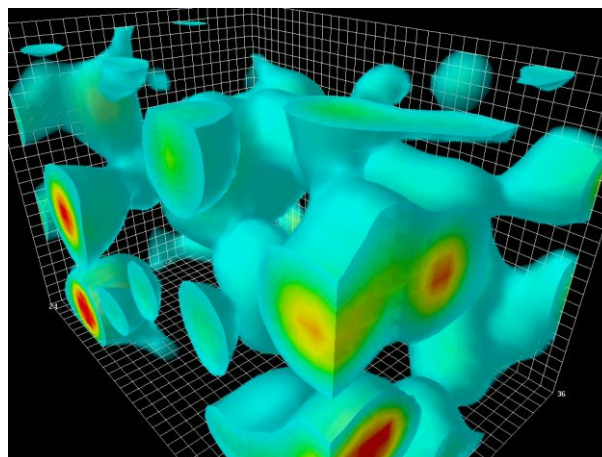
С учётом СТО:

Квантовая теория поля

$$\left(\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} \right) = 0 \quad \frac{\partial}{\partial t^2}$$

$$\left(\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} \right) = 0 \quad \frac{\partial}{\partial t^2}$$

$$\left(\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial z^2} \right) = 0 \quad \frac{\partial}{\partial t^2}$$

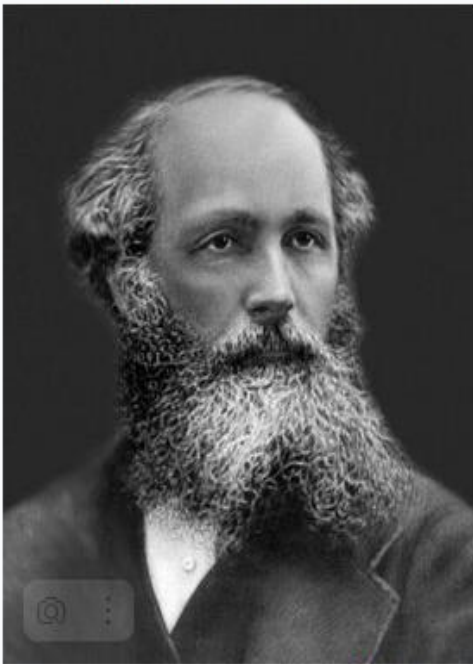



$$E = h\nu,$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж \cdot с — постоянная Планка,
 ν — является частотой света.

Джеймс Клерк Максвелл

англ. *James Clerk Maxwell*



Дата рождения	13 июня 1831 ^{[1][2][…]}
Место рождения	Эдинбург, Шотландия
Дата смерти	5 ноября 1879 ^{[1][2][…]} (48 лет)
Место смерти	Кембридж, Англия
Страна	 Великобритания
Род деятельности	физик, математик, изобретатель, фотограф, преподаватель университета, физик-теоретик, учитель, thermodynamicist
Научная сфера	физика, математика, механика
Место работы	Университет Абердина Кингс-колледж (Лондон) Кембриджский



Дата рождения	18 мая 1850
Место рождения	Камден (Великобритания)
Дата смерти	3 февраля 1925 (74 года)
Место смерти	Торки (Великобритания)
Страна	 Великобритания
Род деятельности	математик, физик, инженер, телеграфист
Научная сфера	физика, математика, инженерное дело
Место работы	Большое Северное Телеграфное общество
Известен как	слой Кеннелли-Хевисайда, Реактивное сопротивление, функция Хевисайда, Дифференциальные

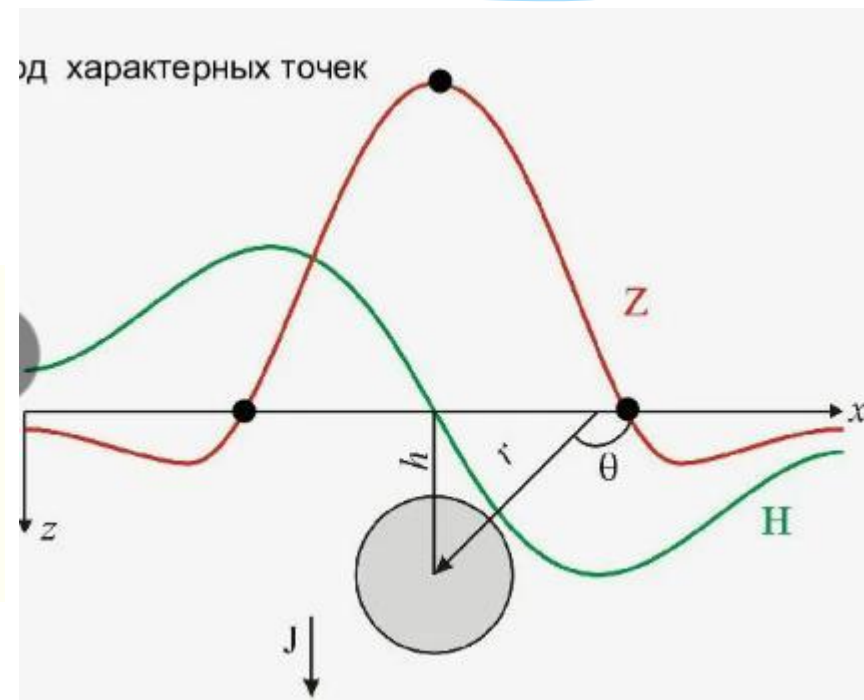
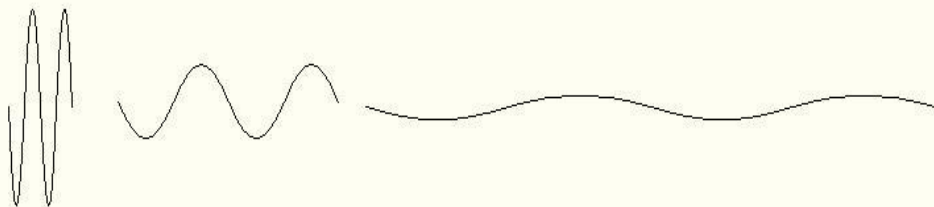
нем. *Heinrich Rudolf Hertz*



Дата рождения	22 февраля 1857 ^{[1][2][…]}
Место рождения	Гамбург, Германский союз ^{[3][4]}
Дата смерти	1 января 1894 ^{[1][2][…]} (36 лет)
Место смерти	Бонн, Кёльн, Рейнская провинция, королевство Пруссия, Германская империя ^{[3][4]}
Страна	 Гамбург
Род деятельности	физик, философ, изобретатель, преподаватель университета
Научная сфера	физика, электротехника
Место работы	Кильский университет

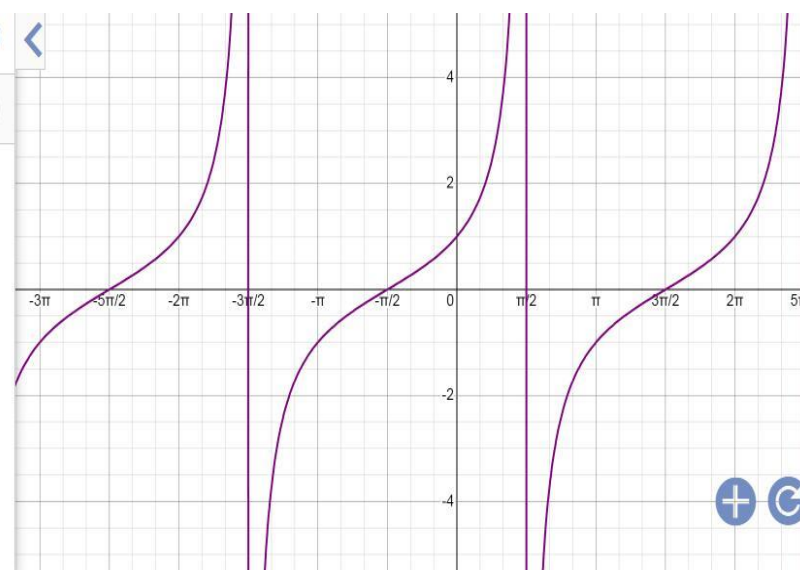
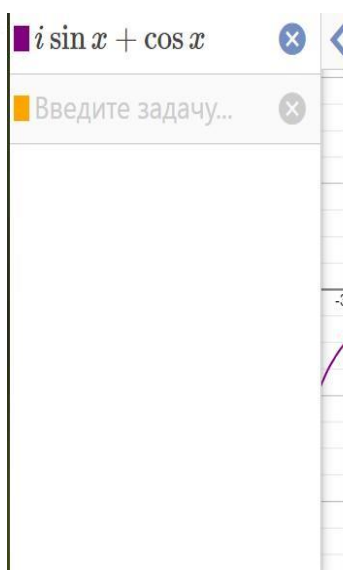
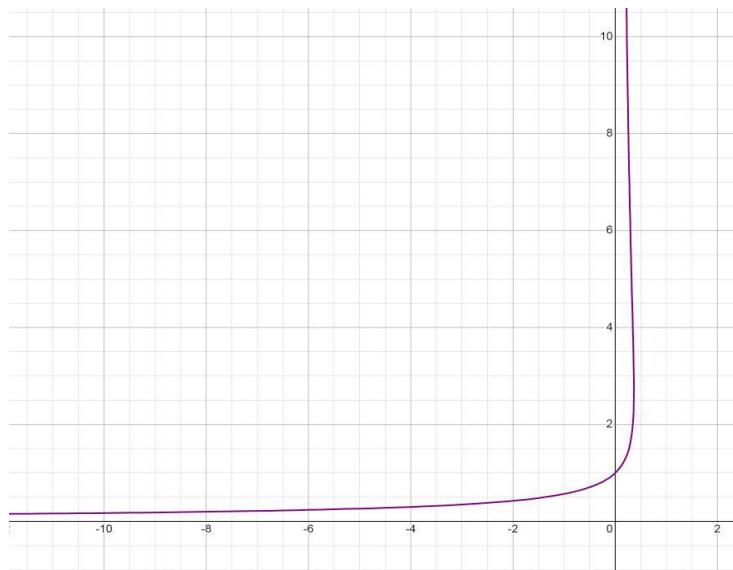
Если смотреть со стороны на процесс становления поля, то сначала мы увидим колебания высокой частоты, затем ниже и ниже. В конце намагниченный объект (Магнитное поле кругового тока), или $\text{rot } E$. Картина симметричная, но вторую половину мы не увидим- ограничены скоростью света.

Движение
наблюдателя \rightarrow



Самая красивая формула математики

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$



Трудности математического моделирования.

- * Кроме того надо учитывать, что становление поля создаётся контуром (антенна), плюс окружающий объём, создающий индуктивность, в каждом месте разную, а при выключении антенной является весь объём, который формирует вихревой ток внутри себя. Импульс выключения в контуре так же формирует электромагнитную волну, которая к тому же может отразиться от электрических границ.

Что делать?

- * Мне представляется оптимальным использовать физическое моделирование с использованием малых петель на известных средах. Практически планируем показать на примерах.

Спасибо за внимание

