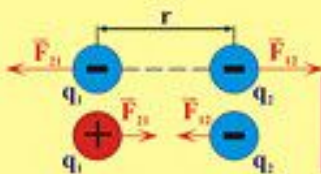


# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

## ЭЛЕКТРОСТАТИКА



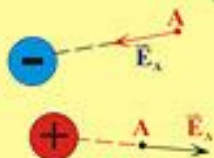
ЗАКОН КУЛОНА

$$F_{21} = F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$



ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

НАПРЯЖЕННОСТЬ

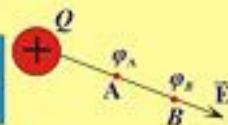


$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

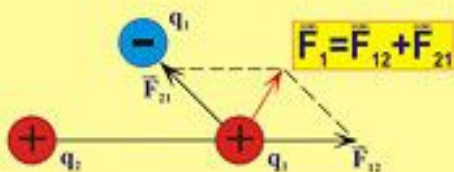
$$\varphi = \frac{A}{q} = \frac{qEr}{q}$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\epsilon r}$$

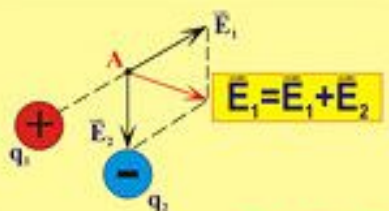


ПОТЕНЦИАЛ

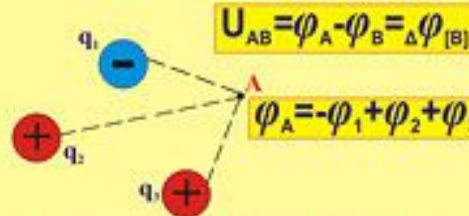
ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ



$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21}$$



$$\vec{E}_1 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \Delta\varphi_{[B]}$$

$$\varphi_A = -\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$$

НАПРЯЖЕНИЕ

### ЗАКОН ОМА

для участка цепи:



$$I = \frac{U}{R} \quad [A]$$

$$U = I \cdot R$$

### РАБОТА И МОЩНОСТЬ

для полной цепи:



$$I = \frac{E}{R+r}$$

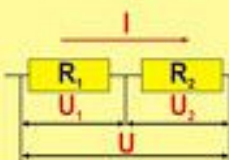
РЕЖИМ РАБОТЫ:  
 XX:  $R \gg r, I \approx 0, U_{AB} \approx E$   
 КЗ:  $R=0, I_{max} = E/r, U_{AB}=0$   
 РАБОЧИЙ РЕЖИМ - КЛЮЧ «К» ЗАМКНУТ

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R} t$$

$$P = \frac{A}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$$

$Q = I^2Rt$  - ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА

### СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



$$I = I_1 = I_2 \quad \text{ТОК ОДИН И ТОТ ЖЕ}$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$R = R_1 + R_2$$



$$U = U_1 = U_2 \quad \text{НАПРЯЖЕНИЕ ОДНО И ТО ЖЕ}$$

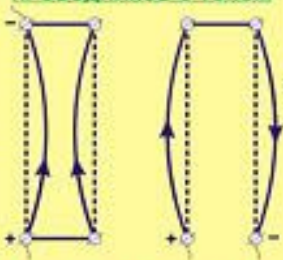
$$I_0 = I_1 + I_2$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКА

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОВОДНИКОВ С ТОКОМ



ЗАКОН АМПЕРА

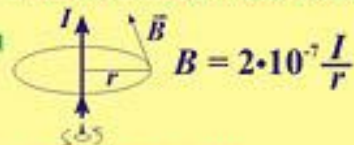
$$\Delta F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 \Delta l}{r}$$

$$\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ H/A}^2$$

ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРЯМОГО ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

$$B = \frac{F}{I \Delta l} = \frac{F}{qv} = \frac{M}{IS}$$



$$B = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{r}$$

ЛИНИИ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКА



прямого провода

кругового тока

соленоида

СИЛА АМПЕРА

$$F_A = B I l \sin \alpha$$

СИЛА ЛОРЕНЦА

$$F_L = qvB \sin \alpha$$

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Электромагнитное поле – особая форма материи, осуществляющая взаимодействие между заряженными частицами. Оно существует реально, т.е. независимо от нас, от наших знаний о нем.

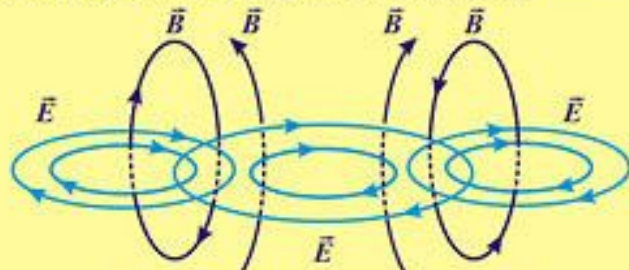
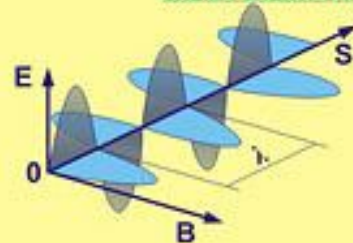


Схема образования электромагнитного поля

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Электромагнитная волна – процесс распространения переменных магнитного и электрического полей.

СХЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ



В каждой точке пространства электрические и магнитные поля изменяются периодически. Колебания векторов  $E$  и  $B$  в любой точке совпадают по фазе.

Длина волны  $\lambda$  – расстояние между двумя ближайшими точками, в которых колебания происходят в одинаковых фазах.

Скорость электромагнитных волн в вакууме равна 300 000 км/с, или  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

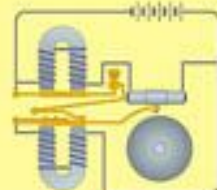
## ПРИНЦИПЫ РАДИОСВЯЗИ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Передача и прием информации с помощью радиоволн называется радиосвязью.



Схема приемника Попова

1. Электромагнитное реле
2. Акустический кристалл
3. Батарея из гальванических элементов
4. Колесеро
5. Микротелефонная трубка
6. Чашечка лампы
7. Электромагнитная катушка



ПЕРЕДАЧА РАДИОВОЛН

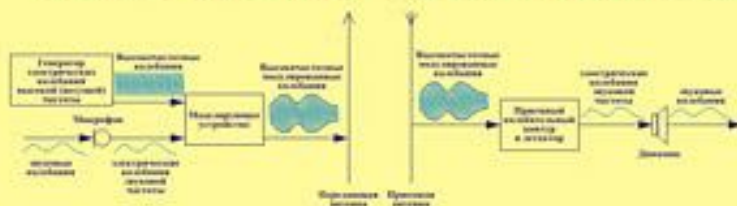


РАДИОВОЛНЫ

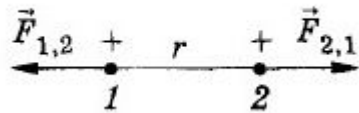
Передающая антенна  
Принимающая антенна

СХЕМА ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

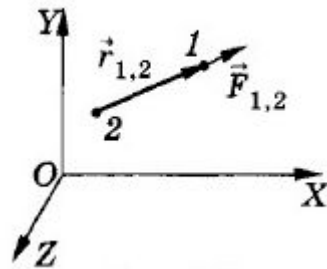
СХЕМА РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА





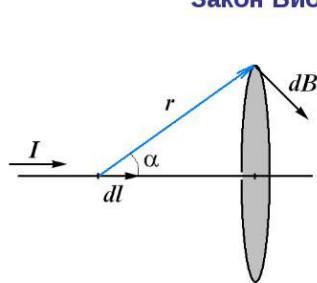


$$\vec{F}_{1,2} = k \frac{q_1 q_2}{r_{1,2}^3} \vec{r}_{1,2}$$



$$dF_1 = dF_2 = dF = \frac{\mu_0 \mu 2I_1 I_2}{4\pi R} dL$$

**Закон Био - Савара - Лапласа**



$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I [dl, r]}{4\pi r^3}$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  [Гн / м; Н/А<sup>2</sup>] – магнитная постоянная.

В скалярном виде:

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I [dl, r]}{r^2} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}$$

Магнитное поле прямого тока

$$r = \frac{R}{\sin \alpha} \quad dl = \frac{r d\alpha}{\sin \alpha} \Rightarrow dB = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi R} \sin \alpha da$$

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi R} \int_0^\pi \sin \alpha da = \frac{\mu_0 \mu \cdot 2I}{4\pi R}$$

Магнитное поле кругового проводника с током.

$$dB = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi R^2} dl \Rightarrow B = \int dB = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi R^2} \int dl = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi R^2} 2\pi R = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{2R}$$

# Следствия электродинамики

|   |  |
|---|--|
| <p><i>Теоретические<br/>следствия</i></p> | <p>Расчёты излучения электромагнитных волн. предсказание существования электромагнитных волн. Расчёты электрических цепей. Выяснение природы света и др.</p> |
| <p><i>Технические<br/>применения</i></p>  | <p>Радиосвязь. Телевизионная связь. Получение, передача, и потребление электроэнергии. Оптические приборы и др.</p>  |



## ОБЩИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

физическая природа  
всех излучений одинакова

все излучения распространяются  
в вакууме с одинаковой скоростью,  
равной скорости света

все излучения обнаруживают  
общие волновые свойства

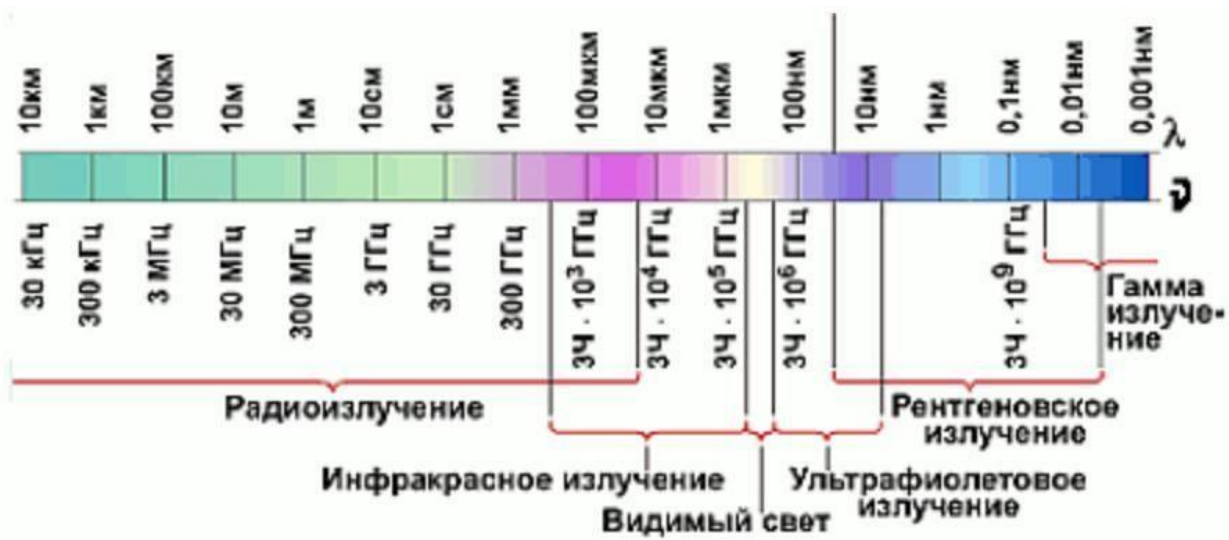
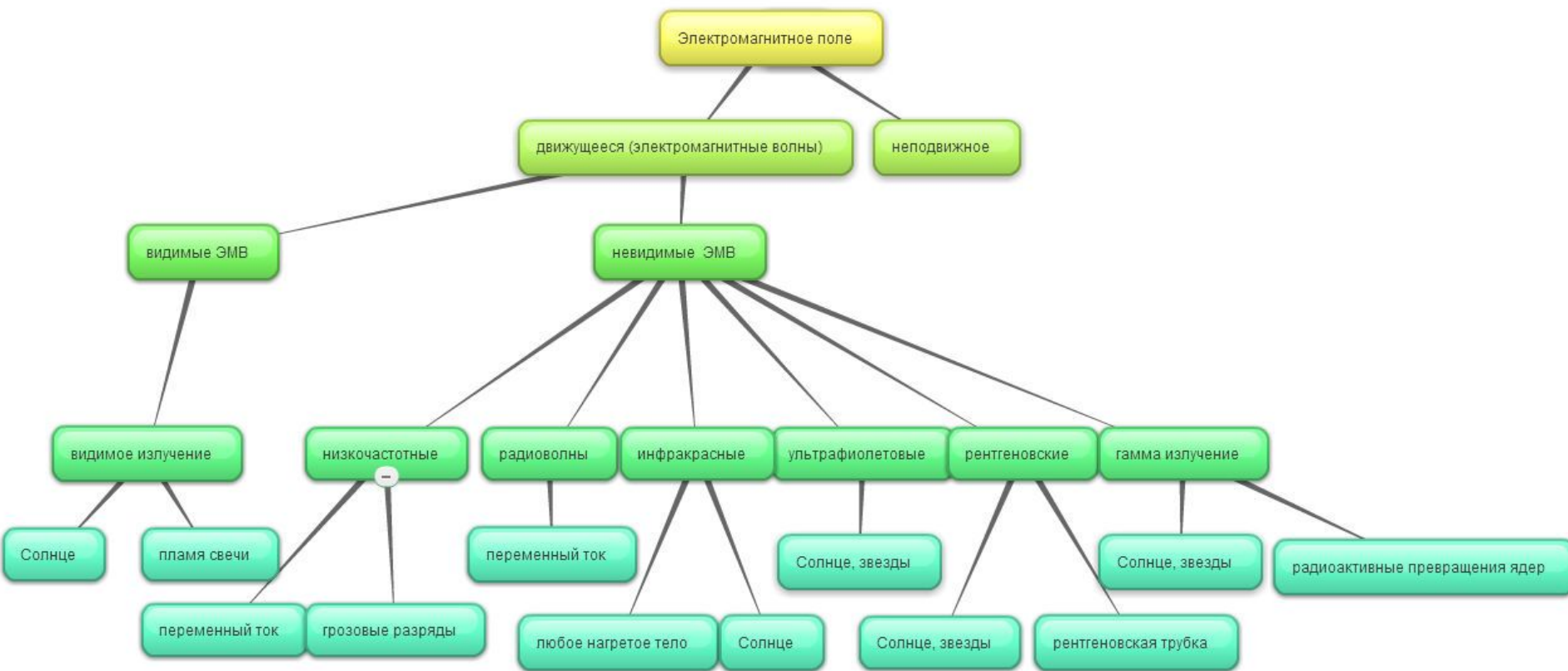
отражение

преломление

поляризация

интерференция

дифракция





Правило вычисления определителя  $\Delta_3$  равносильно правилу треугольников (правилу Саррюса), которое схематически можно записать как



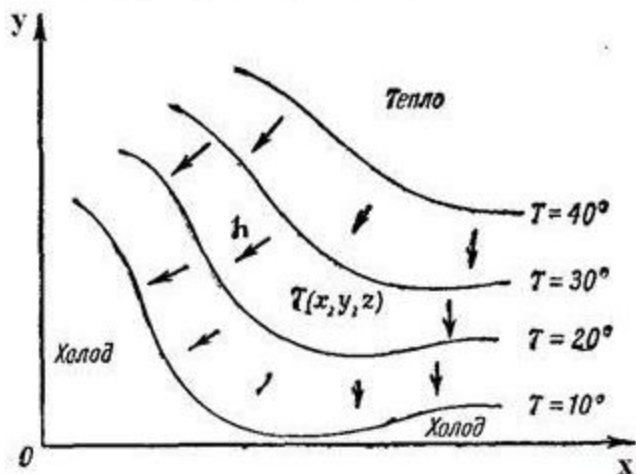
$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31} - a_{12}a_{21}a_{33} - a_{11}a_{23}a_{32}.$$

Если векторы  $\bar{a} = (a_1, a_2, a_3)$  и  $\bar{b} = (b_1, b_2, b_3)$  заданы своими координатами, то векторное произведение находится по формуле:

$$[\bar{a}, \bar{b}] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix}$$

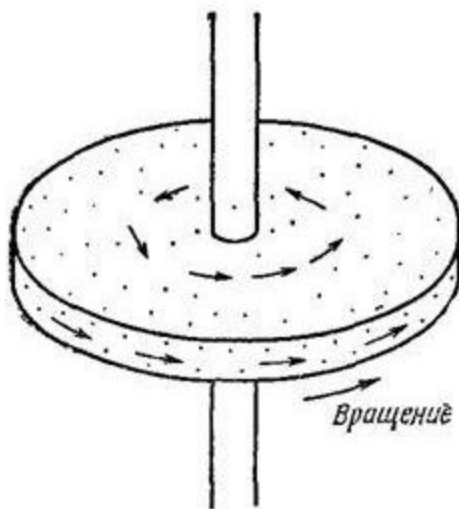


## Скалярное поле



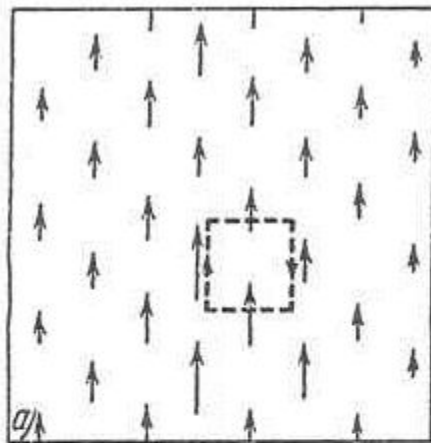
Температура  $T$  – это скалярное поле. На рисунке представлены изотермы – линии с равными температурами. Поток тепла от горячей точки к холодной (отмечено стрелками) – это векторное поле

## Векторное поле

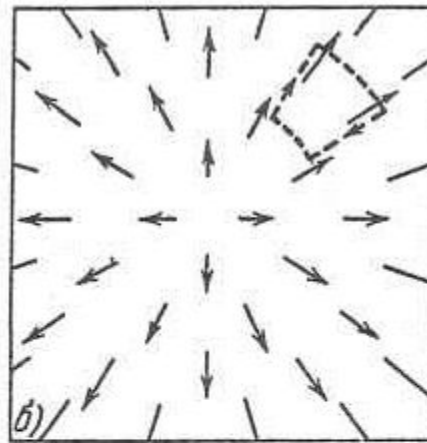


Пример векторного поля – это скорость атомов во вращающемся теле. Каждый вектор привязан к конкретному атому и имеет разное направление при движении и разное местоположение

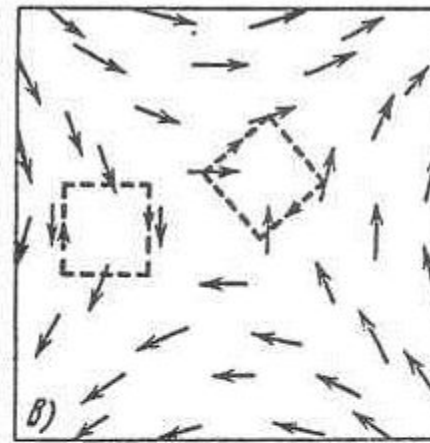
Значения дивергенции и ротора  
векторного поля в выделенной области



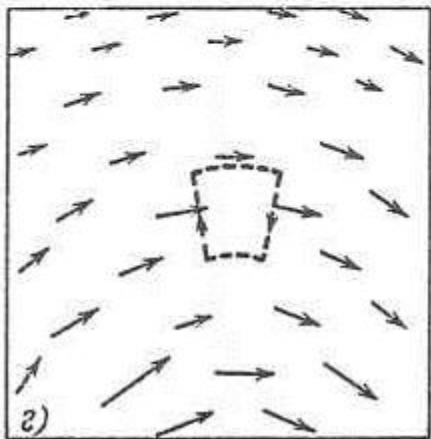
$div F=0$   $rot F \neq 0$



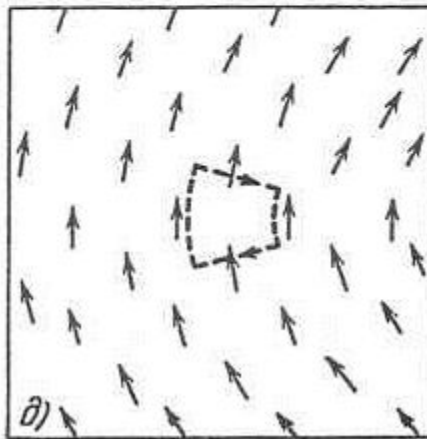
$div F \neq 0$   $rot F=0$



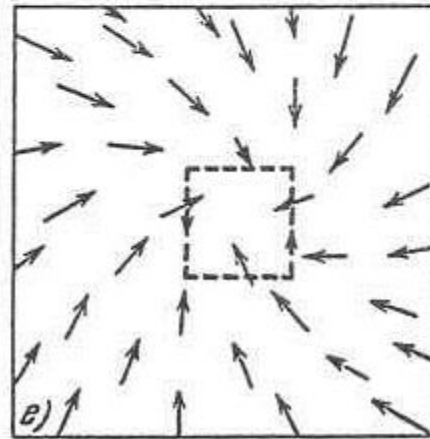
$div F=0$   $rot F=0$



$div F=0$   $rot F=0$



$div F=0$   $rot F \neq 0$



$div F \neq 0$   $rot F \neq 0$