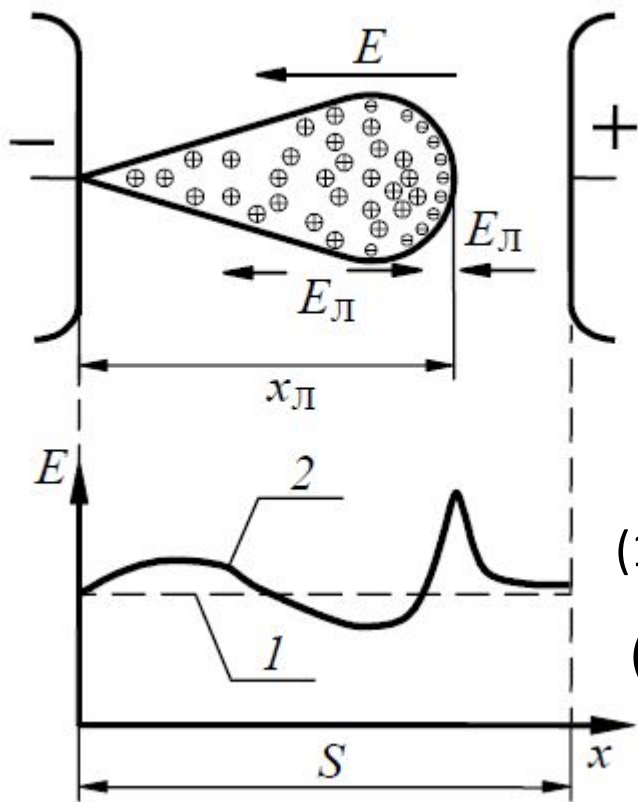


$$v_{De} \gg v_{Di}$$



Электроны намного быстрее ионов покидают промежуток и поглощаются анодом



Искажение электрического поля в промежутке, обусловленное лавиной

Таунсендовский (темный) разряд.

Условие самостоятельности ($i=1$ мкА).

Для поддержания самостоятельного разряда достаточно лишь приложенного напряжения

Число электронов в лавине в промежутке длиной S с учетом «прилипания»

$$(1) N_e = e^{(\alpha - \eta)S} \quad \eta - \text{коэффициент прилипания}$$

$$(2) N_i = N_e - 1 - \text{число образовавшихся ионов}$$

γ - эффективный коэффициент извлечения электрона из катода при столкновении с

$$\gamma \cong 10^4 \text{ ионом}$$

Условие генерации новой лавины (3) $\gamma N_i \geq 1$

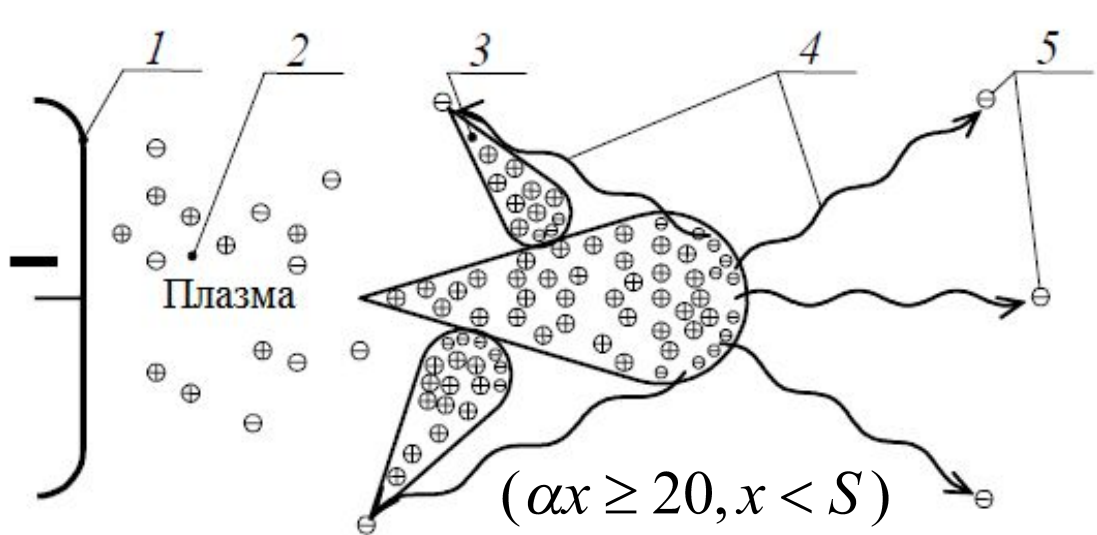
откуда (4)
$$e^{(\alpha - \eta)S} - 1 = \frac{1}{\gamma}$$

Разряд в форме стримера



Лавина переходит в стример формируется при $N_{i,e} > 10^7 - 10^9$

Это достигается в плотных, включая нормальные условия, газах и достаточно длинных (свыше 2см) газовых промежутков S



$$v_{дрейфа} \ll v_{стримера}$$

Анодный стример
формируется после
пересечения
лавиной
промежутка
(при $\alpha S < 20$)
при

$$v_{стримера} = 10^6 - 10^8 \text{ см/с}$$

Механизм развития катодного стримера:

1 – электрод (катод); 2 – канал стримера; 3 – лавины;
4 – движение фотонов; 5 – электроны за счет фотоионизации



Фотография катодного стримера
 $S=30 \text{ мм}$ $U=42 \text{ кВ}$, $P=740 \text{ торр}$

После пересечения
стримером промежутка
наступает стадия
главного разряда-
образование хорошо
проводящего
светящегося канала

Закон Пашена. Подобие разрядных промежутков



Выше имели условие самостоятельности разряда в виде

$$(1) \quad e^{(\alpha-\eta)S} - 1 = \frac{1}{\gamma}$$

При низких давлениях P $\eta=0$

$$\Rightarrow e^{\alpha S} = \frac{1}{\gamma} + 1 \cong \frac{1}{\gamma} \Rightarrow$$

В то же время экспериментально подтвержденная формула Таунсенда (см. выше) дает

$$(3) \quad \alpha = PAe^{-\frac{B}{E/P}}$$

где E – напряженность электрического поля, A, B – константы газа

$$(4) \quad E = \frac{U}{S}$$

Приравнивая выражения для α найдем

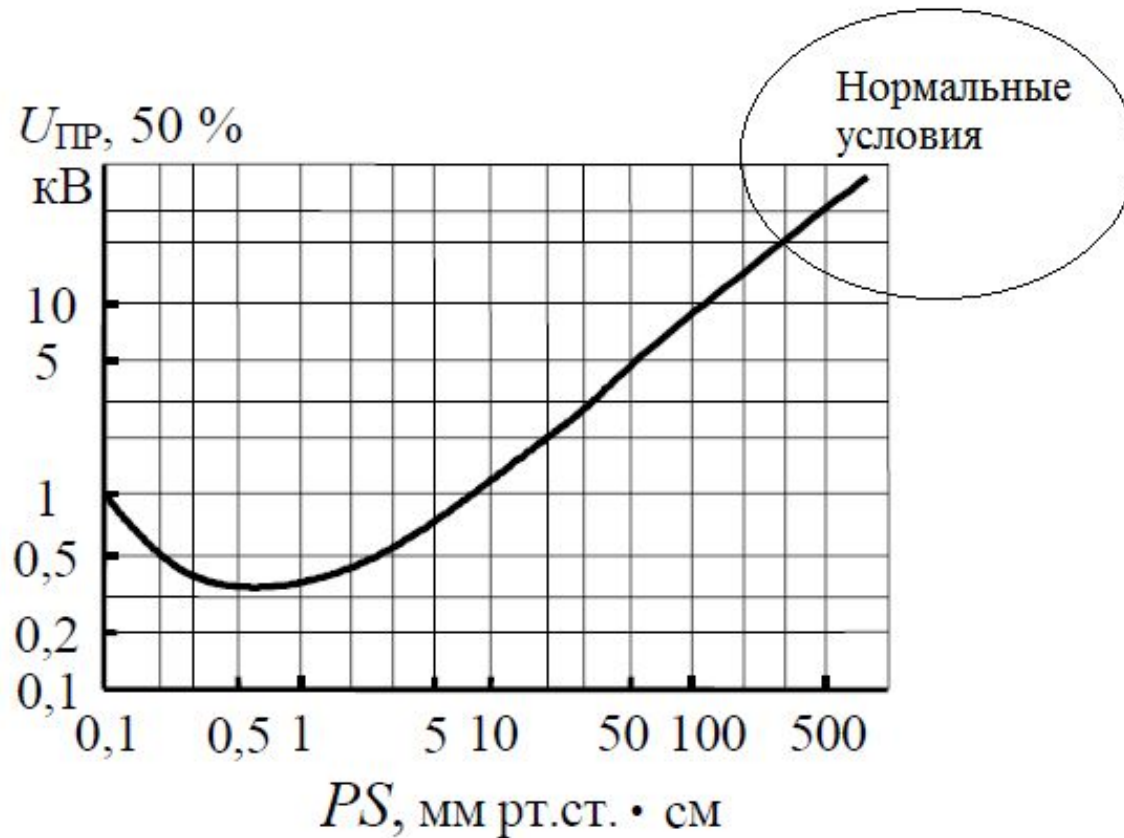
$$(5) \quad U_{np} = \frac{B \cdot (P \cdot S)}{\ln \frac{A \cdot (P \cdot S)}{\ln \frac{1}{\gamma}}}$$

Данное напряжение также носит название начального, как минимально необходимое для поддержания ионизационных процессов

$$(6) \quad U_{np} = f(P \cdot S)$$



В однородном поле



Графическое отображение закона Пашена для воздуха

Влияние температуры – обратное по отношению к росту давления

$$U_{пр} = U_{прПашена} 0.386 \frac{P_{мм\ рт.ст.}}{T_K} \quad (1)$$

Отклонения от закона Пашена



- 1) Низкие (близкие к вакууму) давления. Главная роль принадлежит процессам на электродах в частности на катоде
- 2) Высокие давления и длины промежутков. Основной механизм разряда стример и объемная фотоионизация. Появление вторичных лавин в объеме ведет к снижению пробивного напряжения.

Практическое использование закона Пашена

- 1) Вакуумная изоляция установок высокого напряжения
- 2) Газовая изоляция высокого давления
- 3) При конструировании следует избегать минимума кривой Пашена, в которой $U_{пр} \approx 300 \text{ В}$

Практическая аппроксимация кривой Пашена (правая ветвь)

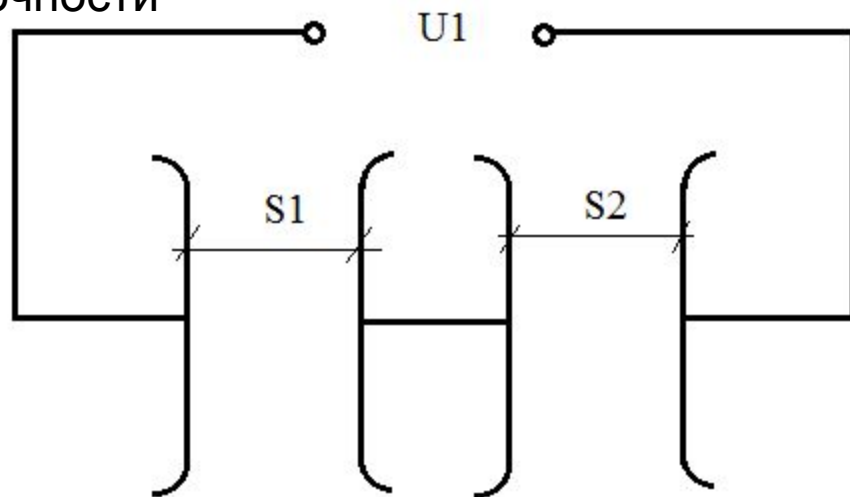


$$(1) \quad U_{np} = a(\delta \cdot S) + b\sqrt{\delta \cdot S} \quad \delta = \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} \quad \begin{array}{l} \text{- относительная} \\ \text{плотность воздуха} \\ \text{[T]=K} \end{array}$$

Постоянные	Воздух	O ₂	N ₂	H ₂	He	Ne
a, кВ/см	24.5	26	23.5	12.6	2.01	1.82
b, кВ/см ^{1/2}	6.4	6.35	9.55	4.33	1.55	1.57

$$(2) \quad E_{np} = \frac{U_{np}}{S} = a\delta + b\sqrt{\frac{\delta}{S}} \quad \Rightarrow \quad S \downarrow \Rightarrow E_{np} \uparrow \quad \Rightarrow$$

Разбиение газового промежутка для увеличения электрической прочности

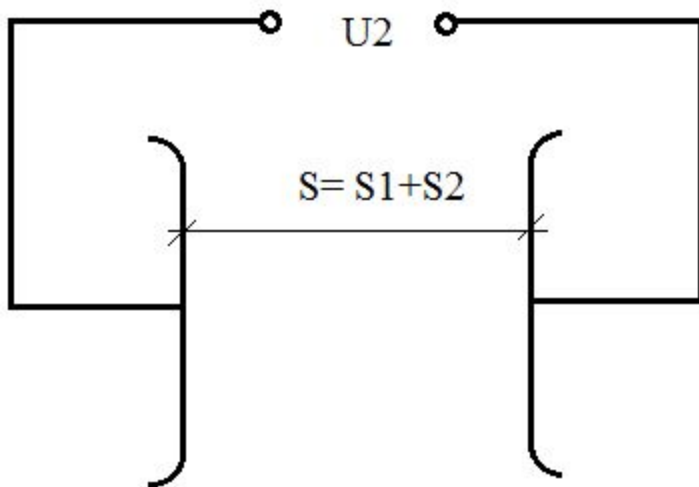


$$U_{np1} = E_{np1} \cdot S_1 + E_{np2} \cdot S_2$$

$$U_{np1} > U_{np2}$$

$$E_{np1} > E_{np}$$

$$E_{np2} > E_{np}$$



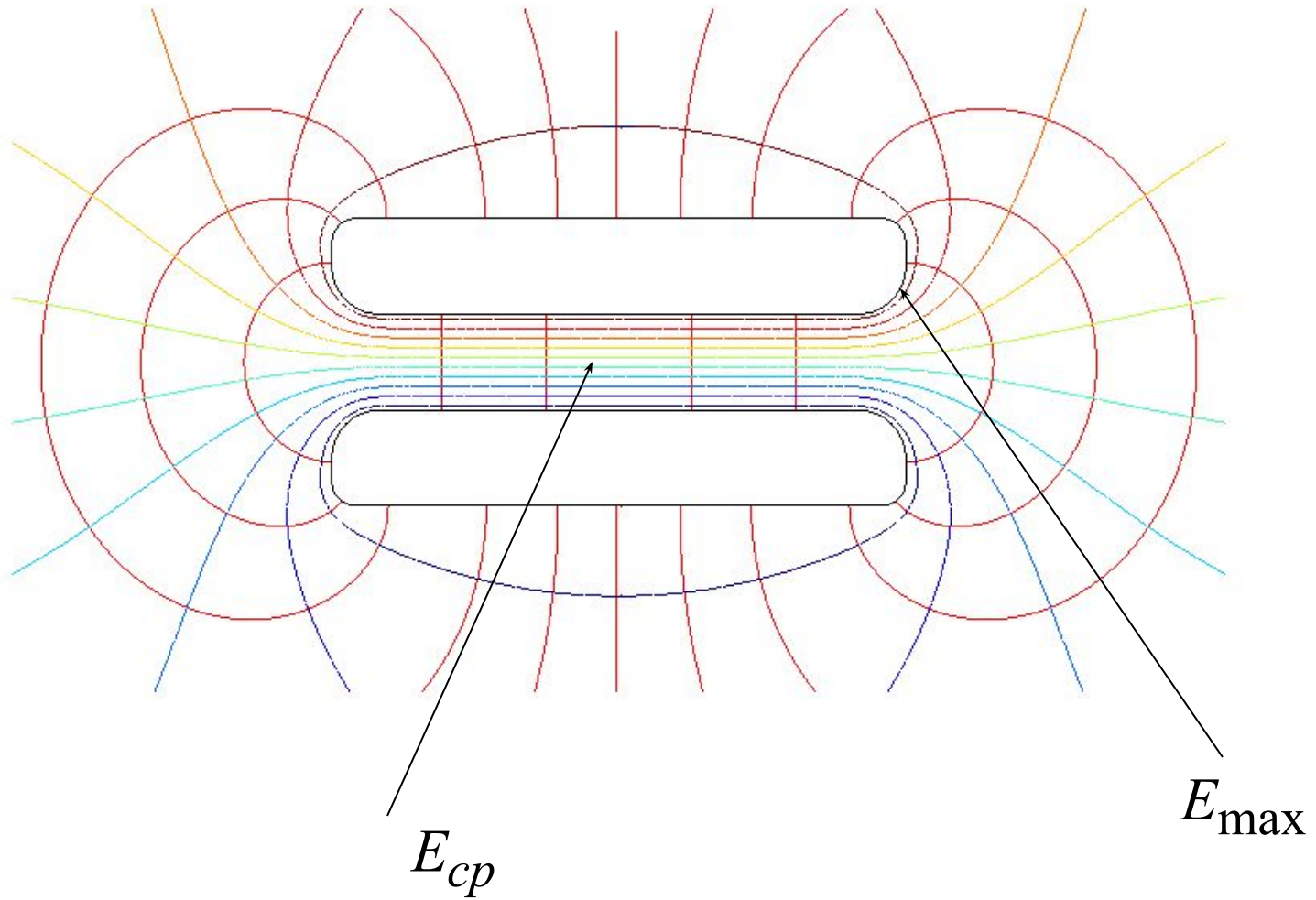
$$U_{np2} = E_{np} \cdot S$$

Разряд в неоднородном электрическом поле

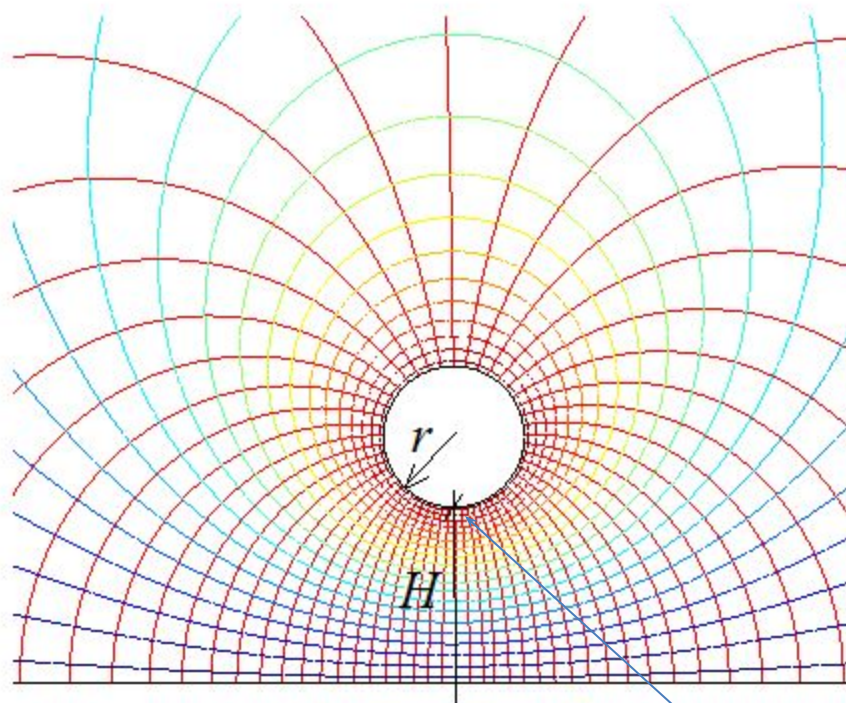


Картина квазиоднородного электрического поля

$$E_{cp} = E_{max}$$



Цилиндрический провод над плоскостью



$$E_{cp} = \frac{U}{H}$$

$$E_{max} = \frac{U}{r \ln \frac{2(H+r)}{r}}, \quad r \ll H$$

$$E_{max} = \frac{0.9U}{r \ln \frac{r+H}{r}}, \quad r \approx H$$

E_{max}

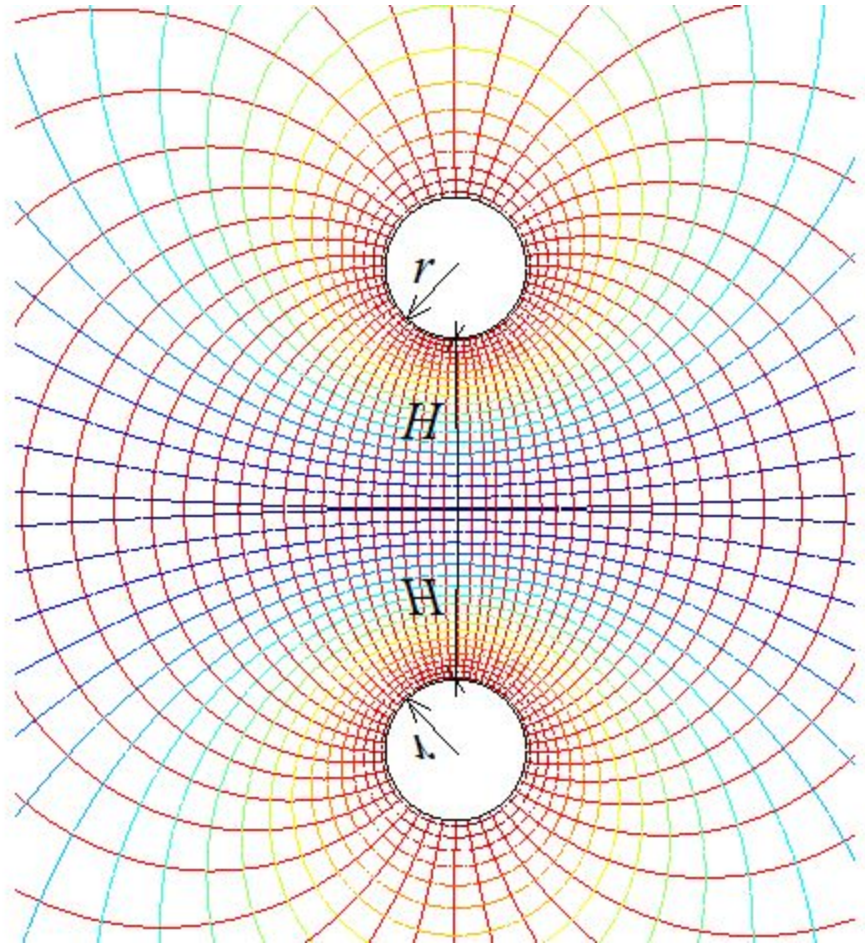
Два параллельных цилиндрических провода



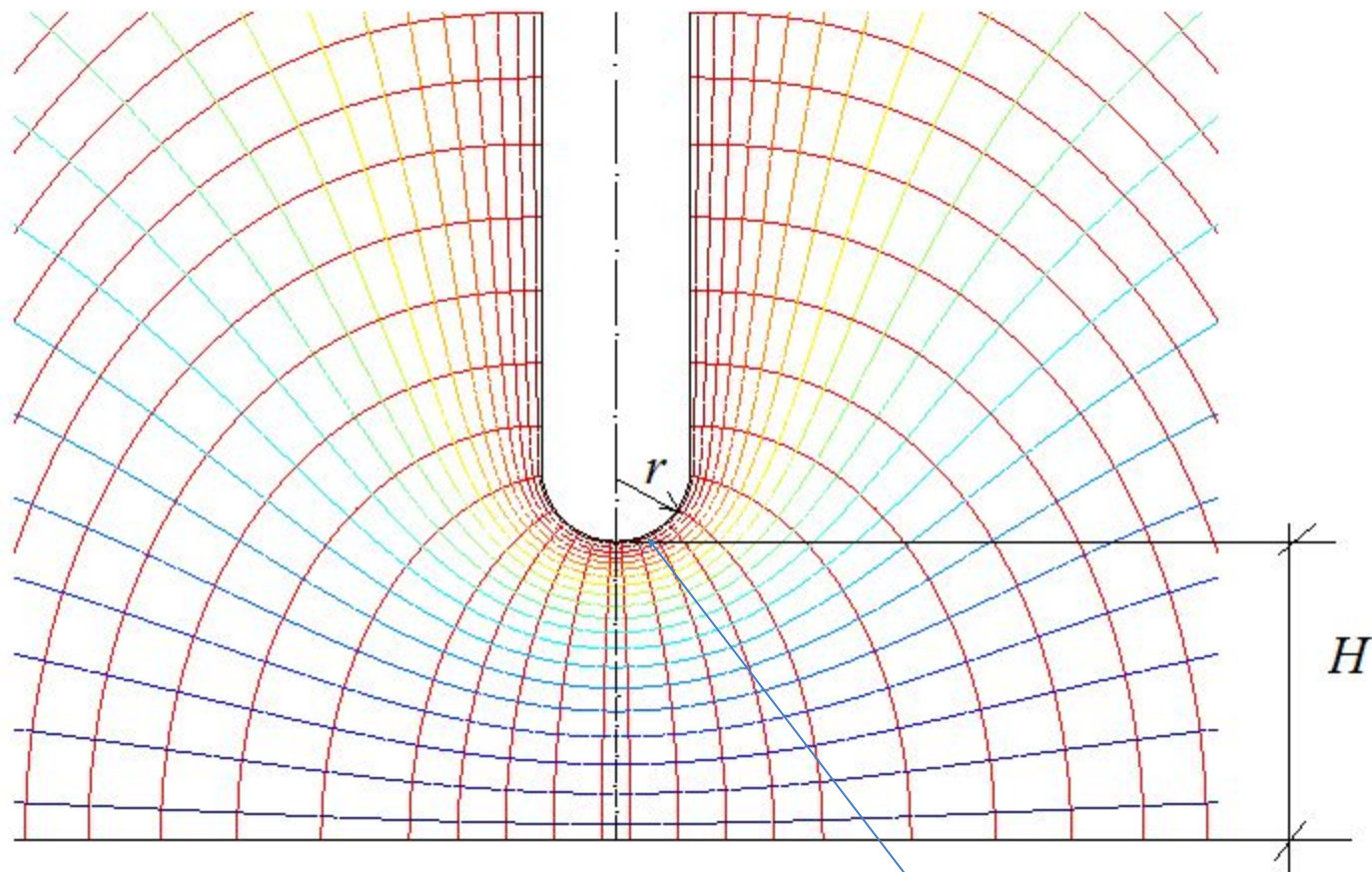
$$E_{cp} = \frac{U}{2H}$$

$$E_{max} = \frac{U}{2r \ln \frac{4(H+r)}{r}}, \quad r \ll H$$

$$E_{max} = \frac{0.45U}{r \ln \frac{r+2H}{r}}, \quad r \approx H$$



Стержень плоскость

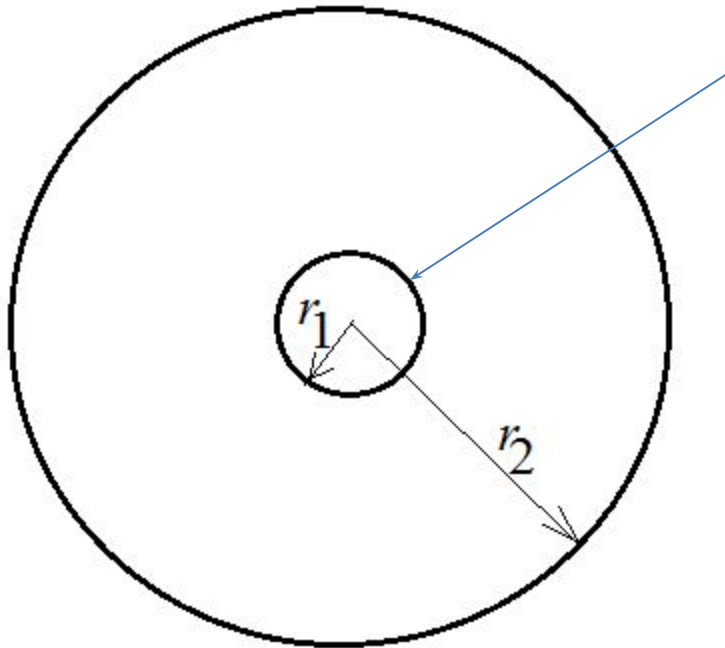


$$E_{cp} = \frac{U}{H}$$

$$E_{max} \cong \frac{U}{r \ln \frac{4H}{r}}, \quad r \ll H$$

E_{max}

Коаксиал



$$E_{\max} = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1) \quad E_{\text{cp}} = \frac{U}{r_2 - r_1}$$

$$E_{\max} = \frac{U}{r_2} \frac{\varepsilon}{\ln \varepsilon}, \quad \varepsilon = \frac{r_2}{r_1} \quad (k1)$$

Коэффициент
неоднородности
и полей

$$K_H = \frac{E_{\max}}{E_{\text{cp}}}$$

Таблица 1

Поле	K_H
Однородное	1
Слабо неоднородное	< 2
Резко неоднородное	> 2