

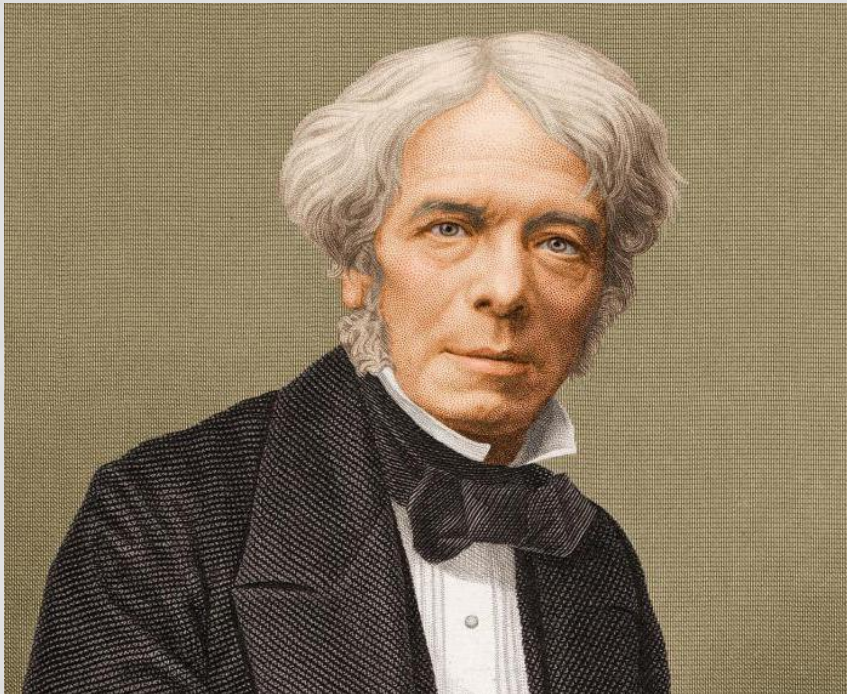
ЭЛЕКТРОДИНАМИКА МАКСВЕЛЛА:  
ГРАНИЦЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
ОБОБЩЕНИЙ И МОДИФИКАЦИЙ

С. КОКАРЕВ (РНОЦ ЛОГОС-НИИ ГСГФ)



# ИСТОРИЯ

**М. Фарадей (1791-1867)**



**Дж. К. Максвелл (1831-1879)**



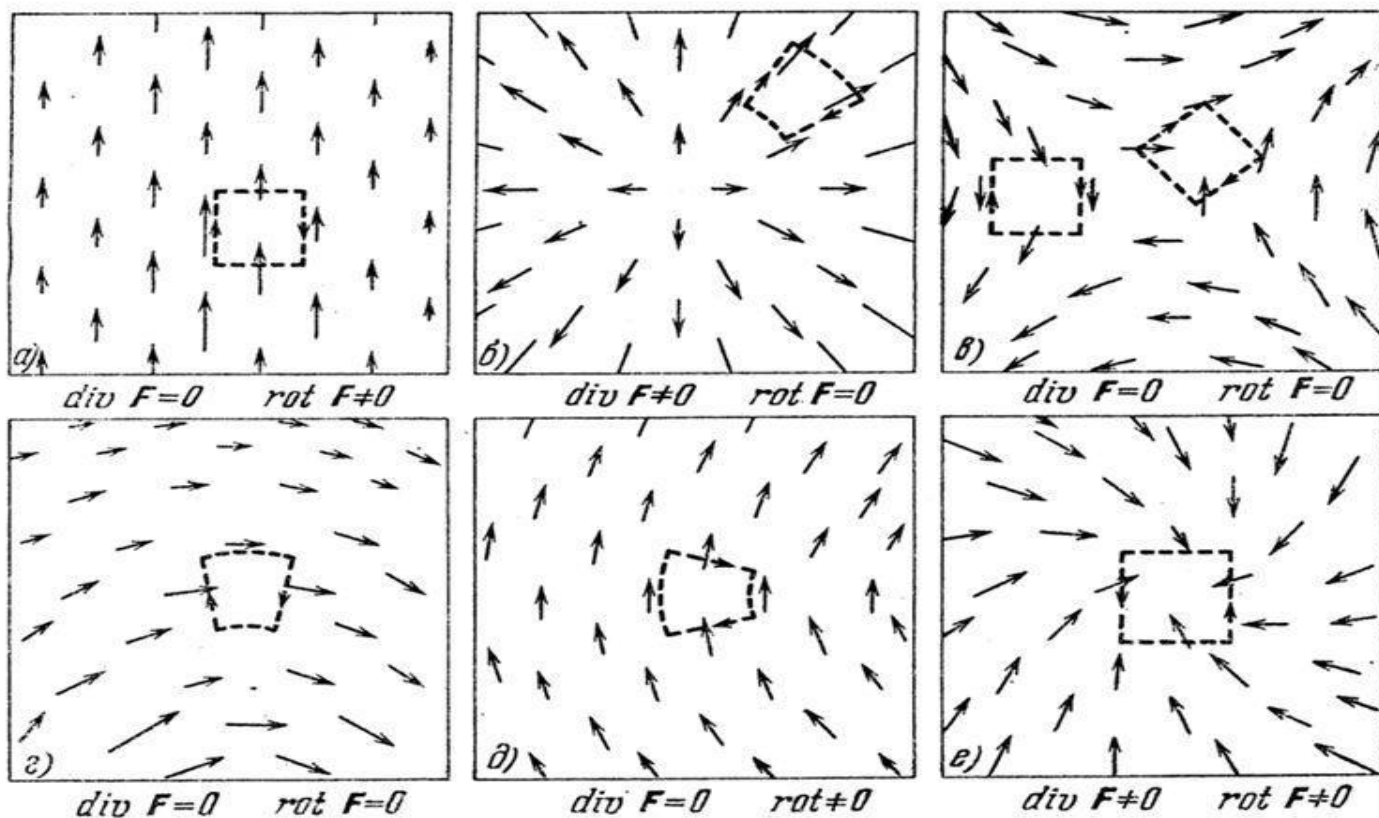
# ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА-I

- 1. Электрические заряды и токи.
- 2. Электромагнитное поле ( $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ ).
- 3. Уравнения электромагнитного поля (уравнения Максвелла):
  - Источник напряженности электрического поля – электрические заряды;
  - Закон электромагнитной индукции;
  - Источник вихревого магнитного поля – электрический ток и ток смещения;
  - Магнитные заряды отсутствуют!

*rot* – вихрь векторного поля (вектор, ориентированный вдоль оси вихря),

*div* – дивергенция (расходимость) векторного поля (скаляр, равный потоку векторного поля из единицы объема)

# РОТОР И ДИВЕРГЕНЦИЯ



Значения дивергенции и ротора в выделенной области векторного поля

# ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА-II

- Следствия уравнений Максвелла:
  - Закон Кулона и теорема Гаусса;
  - Принцип суперпозиции;
  - Потенциальность электростатического и магнитостатического полей;
  - Закон электромагнитной индукции;
  - Закон полного тока Эрстеда;
  - Законы Био-Савара-Лапласа и Ампера;
  - Поперечные электромагнитные волны;
  - Принцип Гюйгенса;
  - Волновая и геометрическая оптика;
  - И многое другое...

# ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА-III

- 1. Релятивистская и конформная инвариантность;
- 2. Существование потенциалов;
- 3. Калибровочная инвариантность;
- 4. Связь потенциалов с квантовой механикой;
- 5. Электродинамика в веществе;
- 6. Электродинамика в неинерциальных системах отсчета;
- 7. Электродинамика в ОТО.
- 8. Квантовая электродинамика ( $e, h, c$ ).

# ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

- 1. Проблема точечных частиц (размер электрона, ультрафиолетовые расходимости в КЭД);
- 2. Проблема дискретности электрического заряда;
- 3. Природа электрического заряда;
- 4. Дуальная асимметрия уравнений Максвелла;
- 5. Электродинамика в сверхсильных полях;
- 6. Статус электромагнитного поля (теория электромагнитного дальнего действия Уилера-Фейнмана);
- 7. Статус электромагнитных потенциалов (эффект Ааронова-Бома);
- 7. Электродинамика на малых и больших расстояниях.

# ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОБОБЩЕНИЯ - I

- Философия и методология:
- 1. Статус электромагнитного поля (объективная реальность – вспомогательная математическая величина);
- 2. Новая теория – обобщение или альтернатива?
- 3. Эксперименты – теоретически нагружены или модельно независимы?



# ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОБОБЩЕНИЯ -II

- Средства:
- 1. Принцип наименьшего действия vs уравнения поля.
- 2. Геометрия;
- 3. Алгебра;
- 4. Дополнительные измерения
- 5. Различные формулировки (около 10)

# ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОБОБЩЕНИЯ - II

- Цели:
- 1. Уточнение и усовершенствование существующей теории;
- 2. Обнаружение электромагнитных или супраэлектромагнитных эффектов нового типа;
- 3. Создание технических устройств нового поколения или усовершенствование старых;

# ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОБОБЩЕНИЯ-III

- 1. Обобщение системы уравнений Максвелла для некоторых конкретных задач;
- 2. Минимальное обобщение теории, нарушающее калибровочную инвариантность;
- 3. Электродинамика фундаментального гиперболического поля в ПВ Минковского;
- 4. Дуально-симметричная формулировка (электродинамика с магнитным зарядом);
- 5. Электродинамика Хэвисайда;
- 6. Алгеброэлектродинамика;
- 7. Геометроэлектродинамика;
- 8. Спинорная (твисторная) электродинамика;
- 9. Электродинамика как деформация ПВ;
- 10. Электродинамика КК;
- 11. Нелинейная электродинамика;
- 12. D-электродинамика;
- 13. Электродинамика без электромагнитного поля;
- 14. Электродинамика без зарядов и токов.

# МОДИФИКАЦИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ СФЕРЫ-I

Задача – поле излучающей заряженной сферы (есть экспериментально наблюдаемый эффект!)

Основной результат классической электродинамики: магнитное поле отсутствует, электрическое – не отличается от статики.

Следствие: 1) эффект потенциалов;

2) ~~неэлектромагнитный эффект;~~

Теоретический факт: потенциалы не определены однозначно из уравнений Максвелла (калибровочная инвариантность:  $\text{div } A = 0$  – калибровочное условие Лоренца или Кулона).

Следствие: эффект зависит от личной воли исследователя!

# МОДИФИКАЦИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ СФЕРЫ-II

- Комбинация соображений теории 2-мерного гиперболического потенциала и эффекта потенциалов

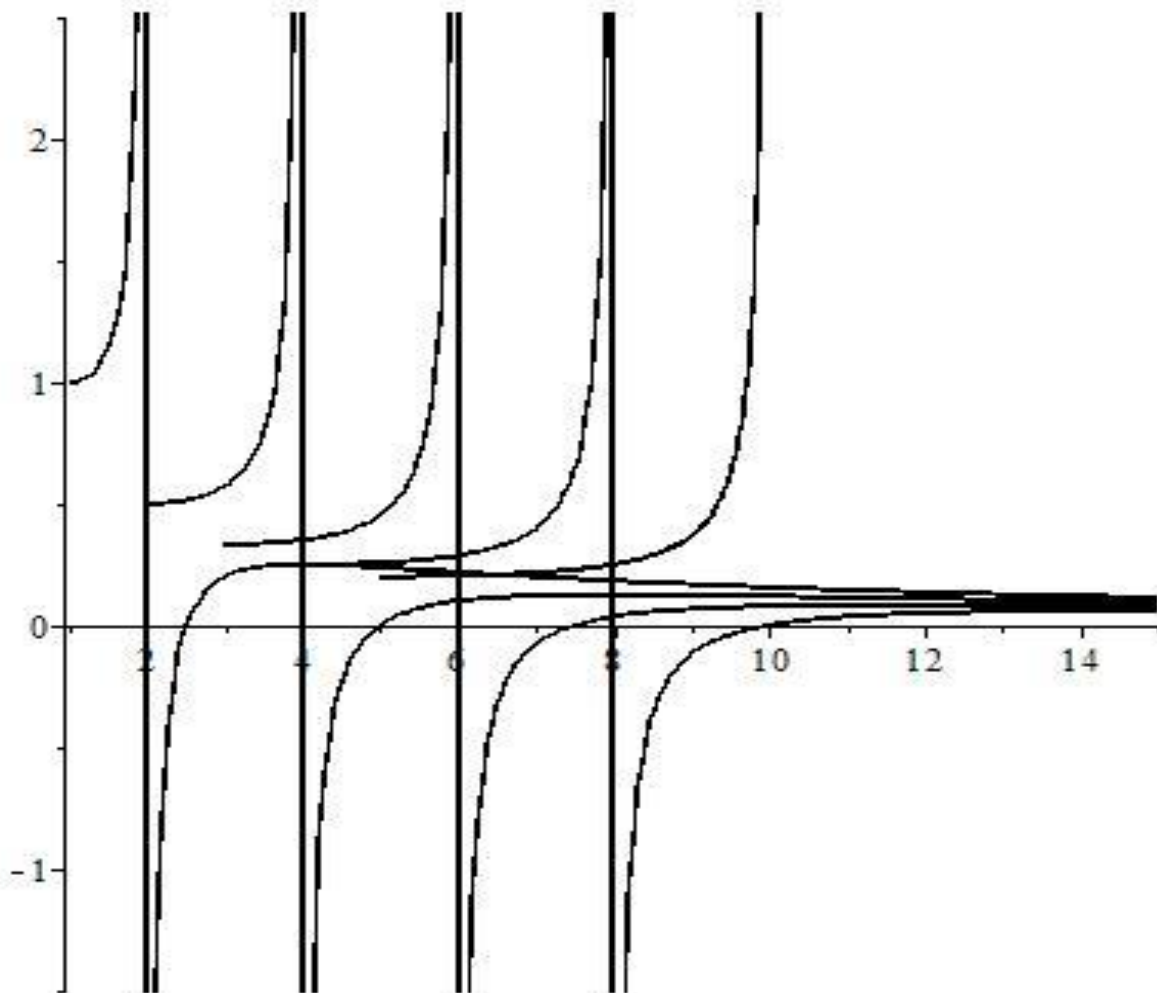


Обобщенная система 2-мерных уравнений Максвелла, в которой  $S = \operatorname{div} A$  является равноправным динамическим полем наряду с  $E = \operatorname{rot} A$ .

# МОДИФИКАЦИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ СФЕРЫ-III

- Следствия теории:
- 1. Наличие второго, независимого от электрического, типа заряда;
- 2. Кулоновский характер решения для напряженности;
- 3. Сужение калибровочной инвариантности и ее динамический характер;
- 4. Эффекты потенциала (нелокальные и нестационарные!)

# МОДИФИКАЦИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ СФЕРЫ-IV



# ТЕОРИЯ С НАРУШЕННОЙ КАЛИБРОВОЧНОЙ ИНВАРИАНТНОСТЬЮ -I

Минимальная модификация лагранжиана электродинамики Максвелла:

$$L \rightarrow L + k(\operatorname{div} A)^2$$

- добавление калибровочно-неинвариантного слагаемого со скалярной напряженностью

$$S = \operatorname{div} A.$$



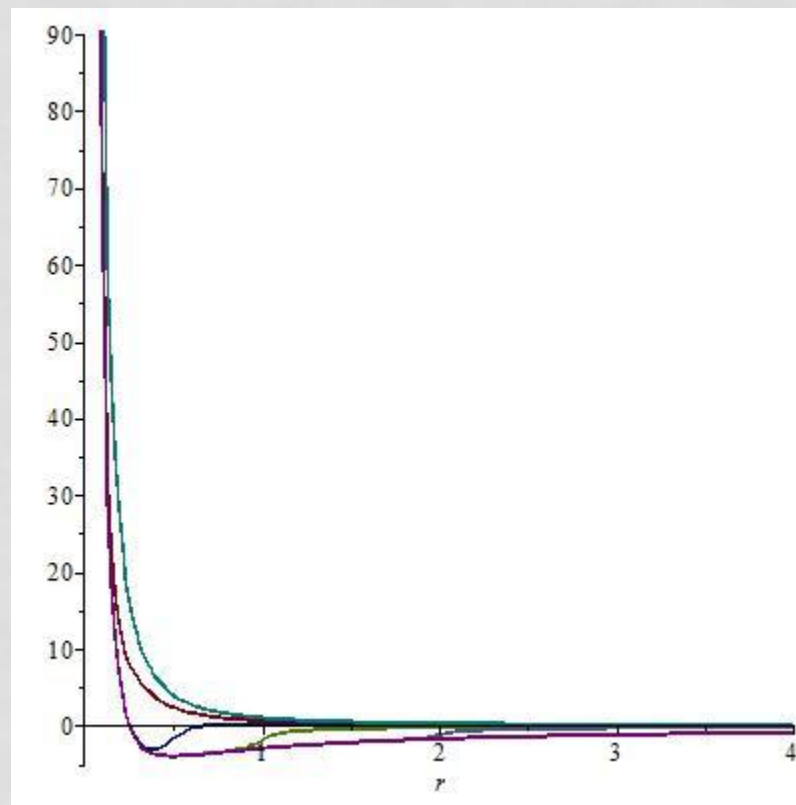
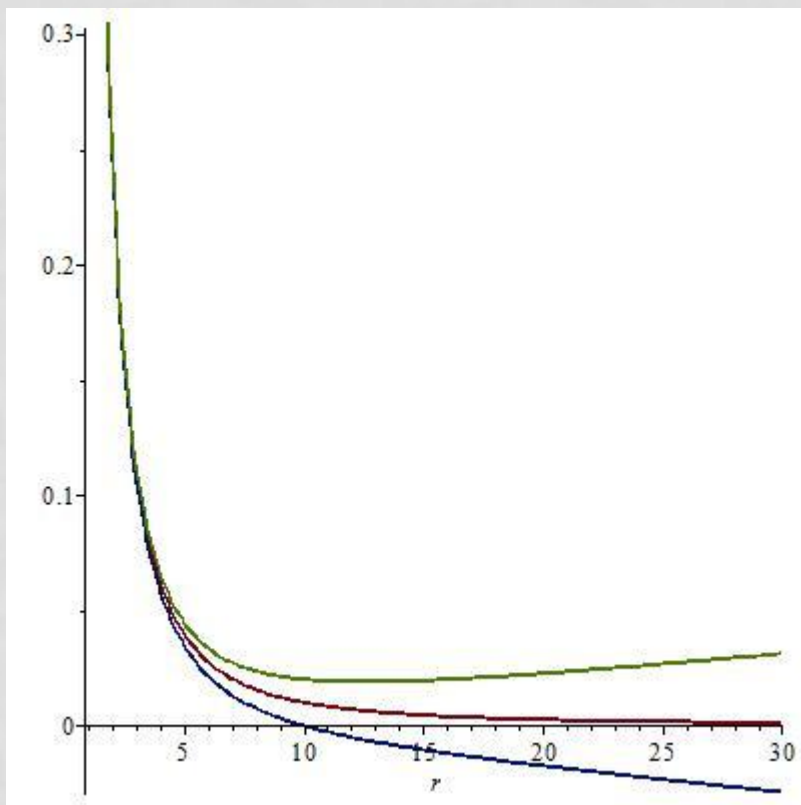
# ТЕОРИЯ С НАРУШЕННОЙ КАЛИБРОВОЧНОЙ ИНВАРИАНТНОСТЬЮ-II

Следствия:

1. При  $k \rightarrow 0$  теория переходит в максвелловскую;
2. Скалярная напряженность не имеет собственных источников и не взаимодействует с электрическими зарядами напрямую;
3. Закон сохранения заряда выполняется только в обобщенной формулировке;
4. Уравнения поля допускают сферические электрические волны;
5. Уравнения для плоских волн допускают электрически продольные волны!
6. Эффект экранирования (модуляции) электрического заряда:

$$E = \frac{Q - \Delta(t, r)}{r^2}$$

# ТЕОРИЯ С НАРУШЕННОЙ КАЛИБРОВОЧНОЙ ИНВАРИАНТНОСТЬЮ-III



# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПВ МИНКОВСКОГО-I

1. 4-мерное пространство-время Минковского – арена для историй частиц полей (нет динамики, время – 4-ая координата).
2. Прошлое и будущее – реальность, временная протяженность – основная, физическая реальность – 4-мерна!
3. Решение релятивистски-инвариантного сферически симметричного волнового уравнения в пустоте – 4-мерный закон Кулона:

$$\varphi = \frac{C}{s^2},$$

$s^2 = c^2 t^2 - r^2$  - 4-мерный интервал,  $C$  - (гипотетический) гиперболический заряд.

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПВ МИНКОВСКОГО - II

- Предыдущие результаты для взаимодействия мировых линий:
- 1. Масса – результат самодействия мировой линии свободной частицы:

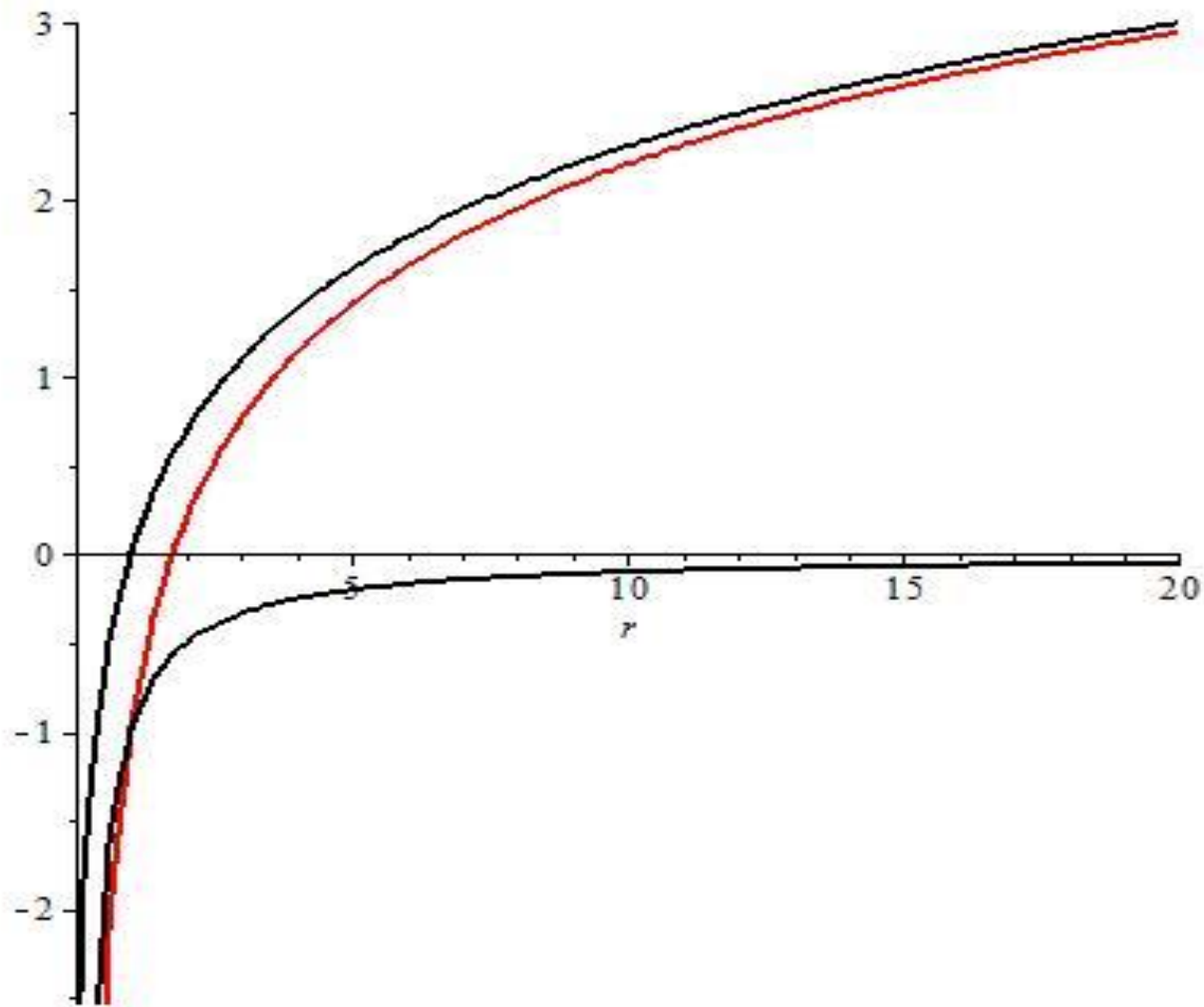
$$m = \frac{2\sigma^2}{c^2 T}$$

- 2. Взаимодействие двух покоящихся частиц (параллельных мировых линий):

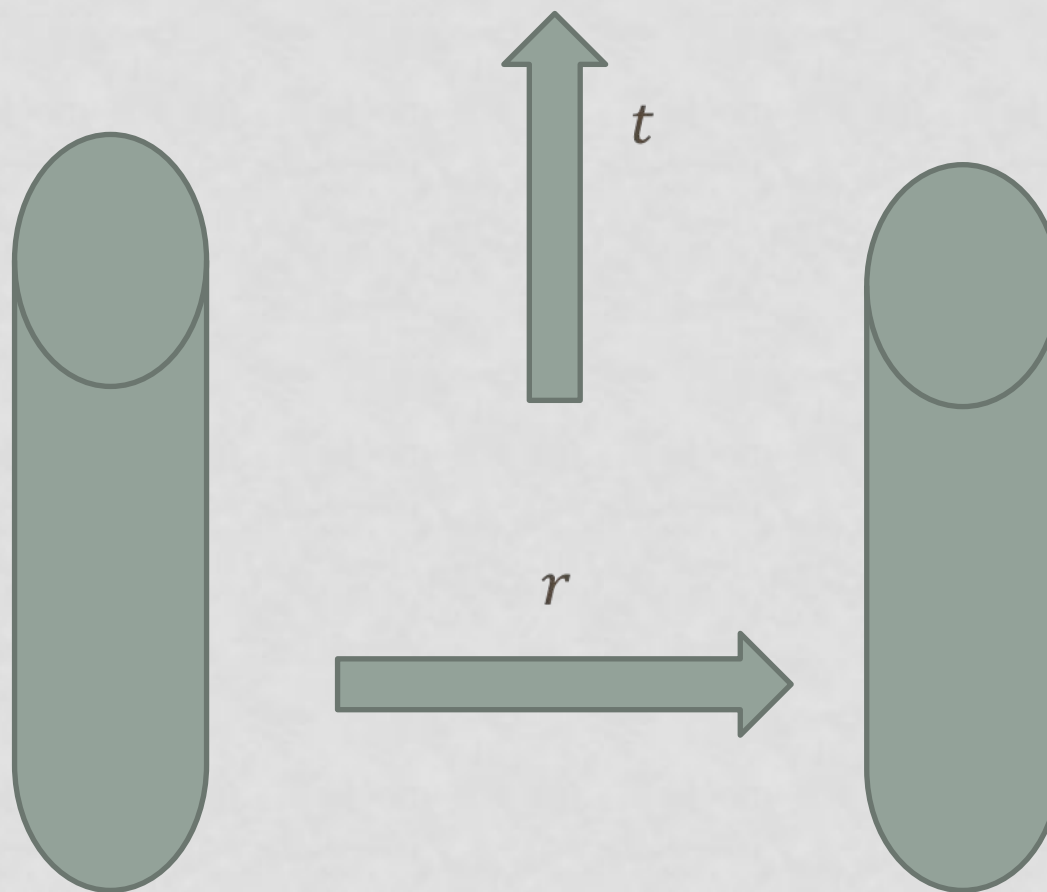
$$\varphi = \frac{\alpha}{r} + k \cdot \ln(r/r_0)$$

D. Pavlov, S. Kokarev, Hyperbolic statics in space-time, *Gravitation and Cosmology*, 2015, v21 (2), pp 152–156

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПВ МИНКОВСКОГО-III



# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПВ МИНКОВСКОГО - IV



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**