

Черные дыры, голография и AdS/CFT соответствие

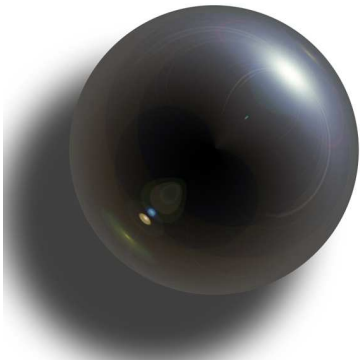
Дмитрий Левков



Институт ядерных исследований РАН

levkov@ms2.inr.ac.ru

7 октября 2010 г.

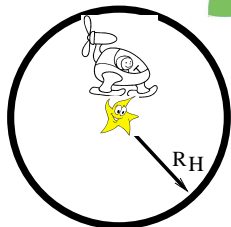


Вторая космическая скорость:

$$v_{2c}^2 = 2GM/R$$

$$V > c \Leftrightarrow R < R_H = 2GM/c^2$$

1915: Черная дыра Швардшильда



Решение ОТО:

R_H - горизонт событий

Пустая! Сингулярность?!

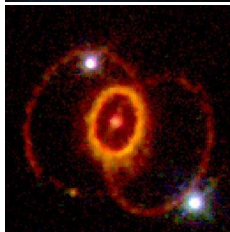
С.Хокинг, Р.Пенроуз:

Гипотеза космического ценза

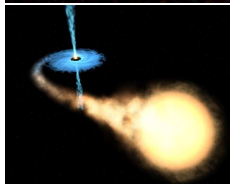




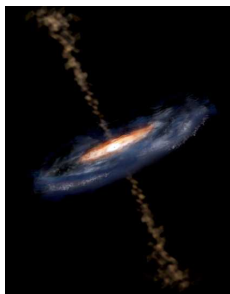
- образование:
взрывы сверхновых



- сверхновая 1987a



- ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ



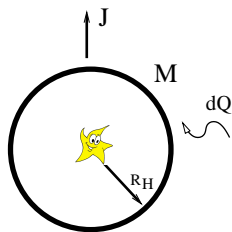
- ускорение частиц



- Сверхмассивные черные дыры
в центре галактик

Биркхоф:

Теорема об отсутствии волос (0 начало)



Простой закон?

Бардин, Картер, Хокинг:

$$\delta Q = dM - \Omega dJ$$

(Ω - угловая частота)

?! I начало термодинамики: $\delta Q = dE - Fdl$



Термодинамика черных дыр!

Классическая формулировка: $dS > 0$

S - энтропия

Хокинг, Пенроуз:

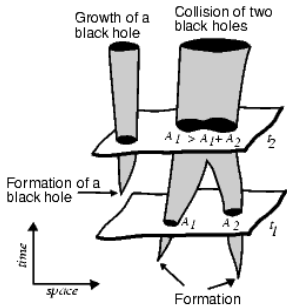
$$dA > 0$$

$$A = \sum_i 4\pi R_{H_i}^2$$

↓

$$S \propto A$$

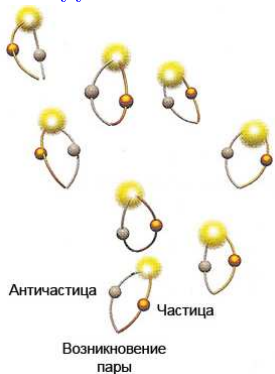
А как же быть с определением
 $\delta Q = TdS$?



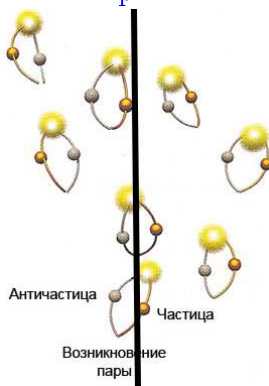
1975 г: Излучение Хокинга

Квантовые флуктуации:

в вакууме:



вблизи горизонта:



Сюрприз:

$$n(\omega) \propto \frac{1}{1 \pm e^{\hbar\omega/kT_H}}$$

$$kT_H = \frac{\hbar c^3}{8\pi GM}$$

Энтропия черной дыры

$$\delta Q = TdS$$

\Rightarrow

$$S = A/4l_{pl}^2$$

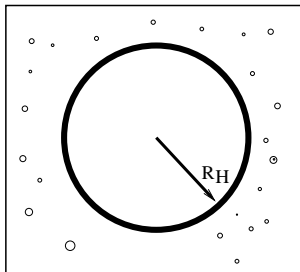
$$l_{pl} = \sqrt{G\hbar/c^3} \approx 10^{-33} \text{ см} - \text{длина Планка}$$



Черная дыра - это костер!

- 0 начало: M, J
- 1 начало: $TdS = dM - \Omega dJ$
- 2 начало: $dS > 0$
- «Уравнения состояния»: $kT_H = \frac{\hbar c^3}{8\pi GM}$, $S = A/4l_p^2$

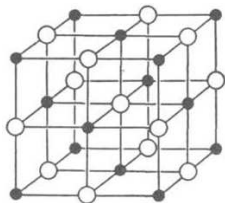
$$M = M_{sun} \quad \Rightarrow \quad R_H = 3\text{км}, \quad T_H = 10^{-8}\text{К}$$



Опять энтропия

Статистическая интерпретация энтропии:

$$\Gamma = e^S - \text{число микросостояний}$$



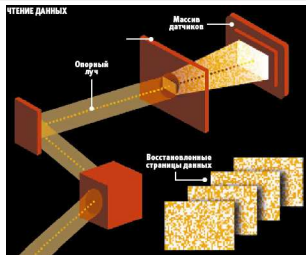
N

$$\Gamma \sim 2^{N^3} \Rightarrow S \propto N^3 \propto V$$

Как объяснить $S \propto A$?!

Предел Бекенштейна: сфера размера $R \Rightarrow S < A_R/4l_{pl}^2$

Мир двумерен?

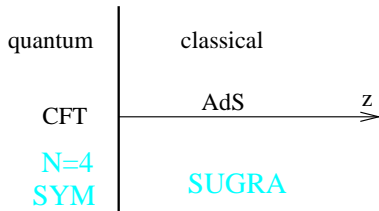


По оптической голограмме
нельзя восстановить $E(\vec{x}, t)$, $H(\vec{x}, t)$!

Но весь мир можно описать с помощью функций 2+1 переменных!



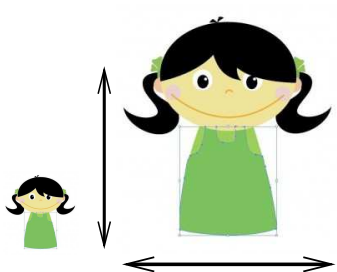
Дж. Мальдачена, 1997:



С. Губстер, И. Клебанов, А. Поляков, Э. Виттен:

$$P \propto |\Psi|^2 \quad \longleftrightarrow \quad \text{классические решения}$$

Конформная теория поля



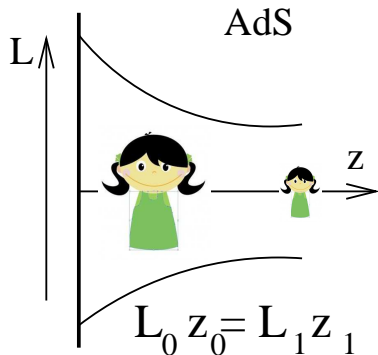
Как сделать так, чтобы девочка не смогла узнать свой размер?

- СГС: см, г, сек $\Rightarrow \hbar, c$ и все!
Все остальные параметры безразмерны!
 $m_e = m_p = |p| = 0$
- Растянуть девочку: $L = \infty$.



- В теории есть дополнительная симметрия!

Пространство Анти-Де Ситтера



$$\left. \begin{array}{l} L \rightarrow cL \\ z \rightarrow z/c \end{array} \right\} \text{- симметрия!}$$



- $z=0$ - граница AdS
Девочка ∞ размера
- Тоже есть масштабная симметрия!

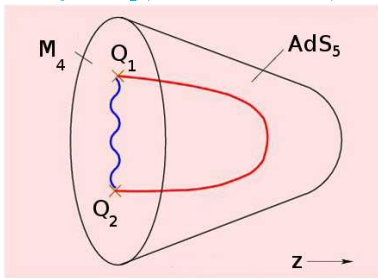
Наложим еще Суперсимметрию!

Дж. Мальдачена:

Симметрии SUGRA на AdS_5 и SCFT на M_4 совпадают!

Неужели угадали?

С. Губстер, И. Клебанов, А. Поляков, Э. Виттен:



$$\rho_i(\mathbf{x}, z) = Q_i \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i)$$

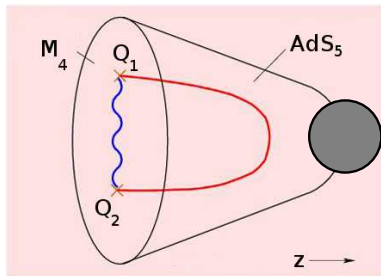
$$\rho = \rho_1 + \rho_2$$

$\phi(\mathbf{x}, z), \vec{A}(\mathbf{x}, z)$ - э/м поле

$S(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ - действие

Предположение: $P_{12} = |\langle 0 | \hat{\rho}(\mathbf{x}_1) \hat{\rho}(\mathbf{x}_2) | 0 \rangle|^2 \propto |S(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)|^2$

Губстер, Клебанов, Пит, 1996:

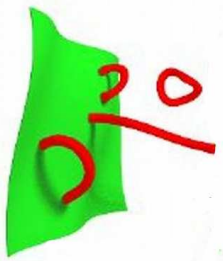


$\phi(x, z), \vec{A}(x, z)$ - э/м поле

$$P_{12} = |\langle \hat{\rho}(x_1) \hat{\rho}(x_2) \rangle|^2 \Big|_{T=T_H}$$

$$\propto |\mathbf{S}(x_1, x_2)|^2$$

Э. Виттен, 1998:



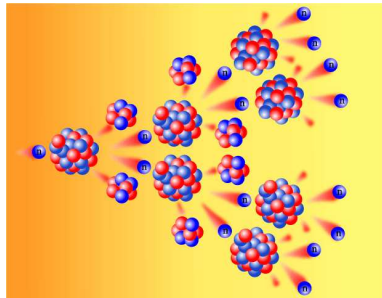
Струны в AdS	$\mathcal{N} = 4$ SYM
g_s — струнная константа T — натяжение струны	λ константа т'Хофта N_c число цветов
$g_s \rightarrow 0$ — свободные струны $T \gg 1$ — классические струны	$N_c \rightarrow \infty$ $\lambda \gg 1$ — сильная связь

Зачем это все нужно?

КЭД: Разложение по константе связи $\alpha = e^2/4\pi$
 $f(\alpha) = f(0) + \alpha f'(0) + \dots$

КХД: $\alpha_{QCD} \sim 1$ - разложиться нельзя
↓

Позор для теоретиков: \mathcal{L}_{QCD}
известен, решить теорию нельзя

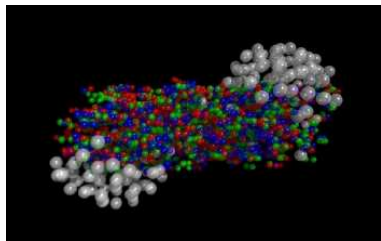


AdS/CFT: Слабая связь \longleftrightarrow слабая связь!

Д.Т. Шон, 2001: Ограничение на вязкость ядерной жидкости

$$\mu < \mu_0$$

Эксперимент RHIC: $\mu \approx \mu_0$



Шон, Степанов, 2005: Спектр адронов

(пока – феноменологические модели)