

Зашто поља у кривом простору?

др Марко Војиновић

Група за гравитацију, честице и поља, Институт за физику у Београду

у сарадњи са Задужбином Илије М. Коларца



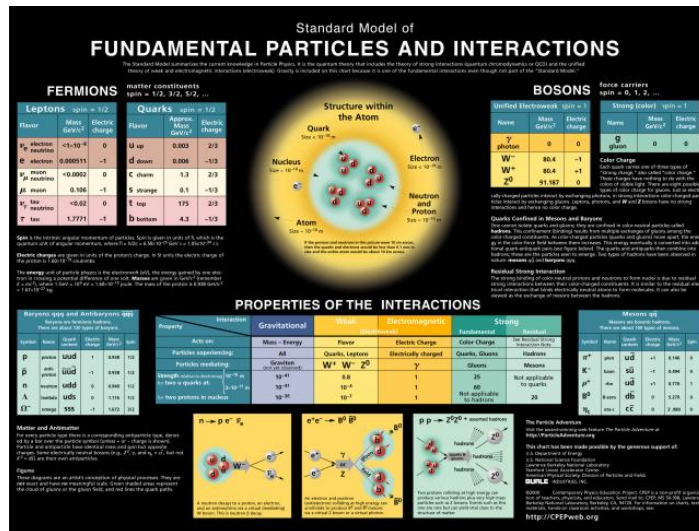
Истраживање спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије, број 7745968, “Квантна гравитација преко виших гејџ теорија 2021” (QGHG-2021).

УВОД

- Прво предавање (Игор Салом) — зашто квантна механика?
- Друго предавање (Данијел Обрић) — зашто општа релативност?
- Треће предавање (Бојан Николић) — зашто теорија поља?
- Четврто предавање (ово сада) — зашто поља у кривом простору?
- Пето предавање (Тијана Раденковић) — зашто квантна гравитација?

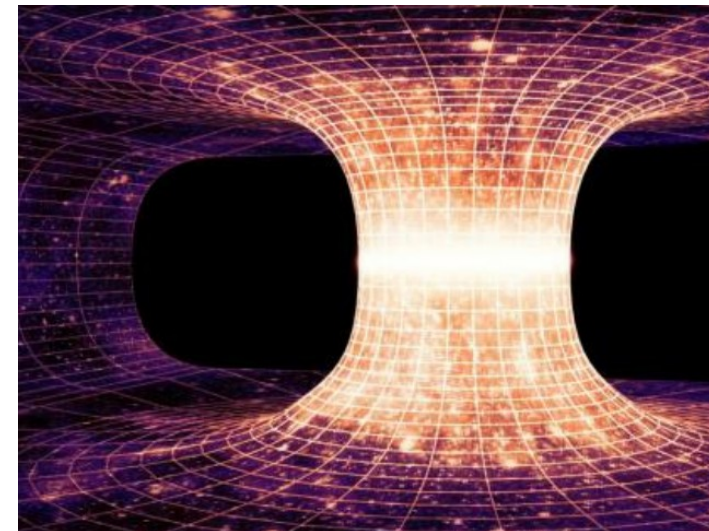
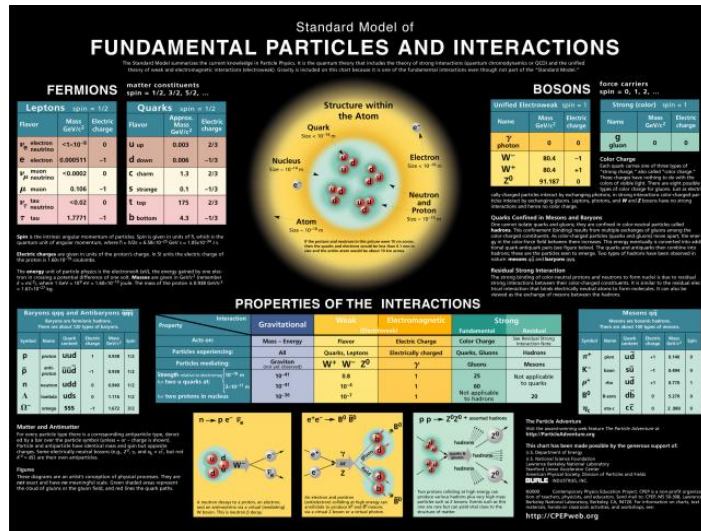
ŠTA POKUŠAVAMO?

Са леве стране — Стандардни Модел елементарних честица, као пример квантне теорије поља...



ШТА ПОКУШАВАМО?

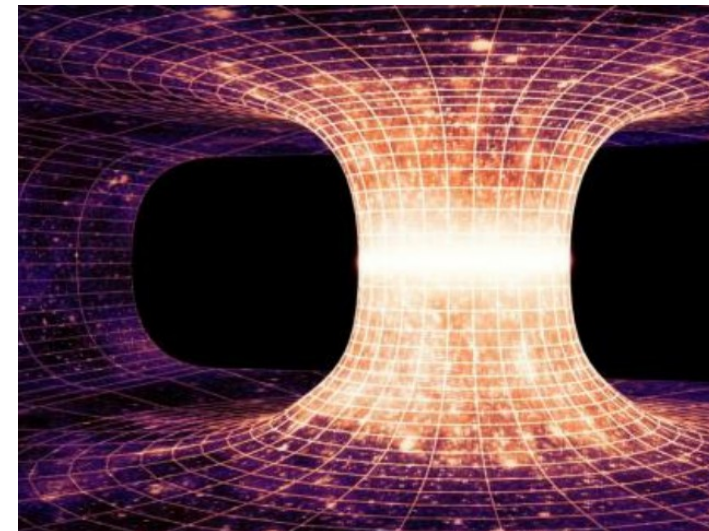
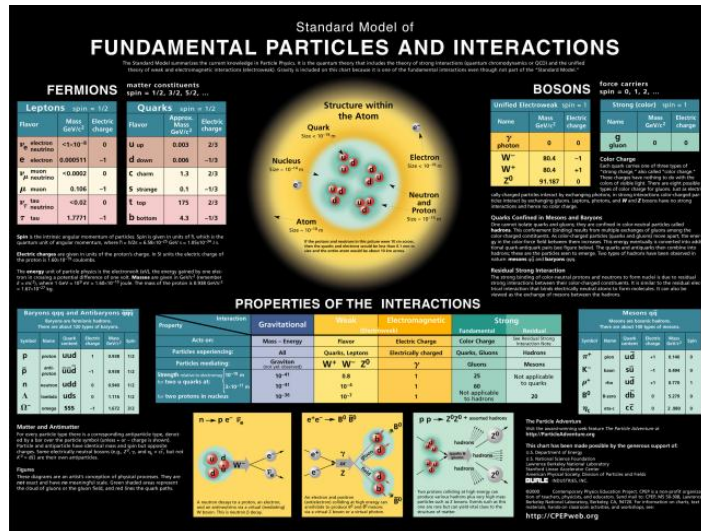
Са леве стране — Стандардни Модел елементарних честица, као пример квантне теорије поља...



Са десне стране — Општа теорија релативности, као пример класичне теорије поља...

ШТА ПОКУШАВАМО?

Са леве стране — Стандардни Модел елементарних честица, као пример квантне теорије поља...

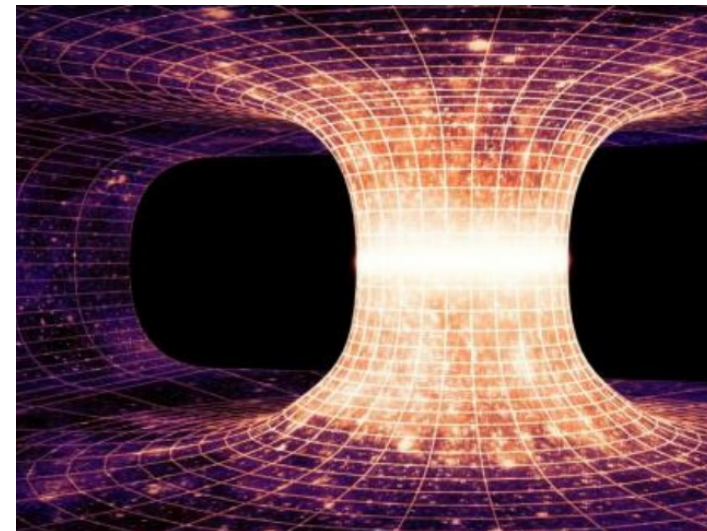
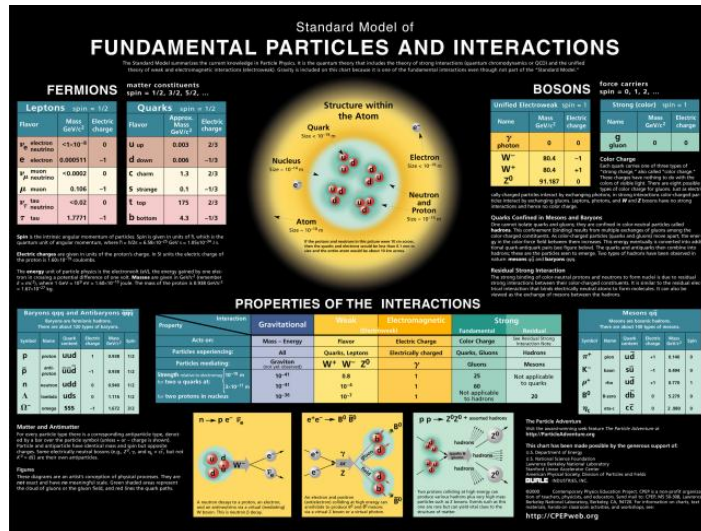


Са десне стране — Општа теорија релативности, као пример класичне теорије поља...

Да ли ове две теорије могу да се разумеју као једна целина?

ШТА ПОКУШАВАМО?

Са леве стране — Стандардни Модел елементарних честица, као пример квантне теорије поља...



Са десне стране — Општа теорија релативности, као пример класичне теорије поља...

Да ли ове две теорије могу да се разумеју као једна целина?

И зашто уопште покушавамо да их разумемо као једну целину?

У ЧЕМУ ЈЕ ПРОБЛЕМ?

Принципи на којима се заснива
квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

У ЧЕМУ ЈЕ ПРОБЛЕМ?

Принципи на којима се заснива
квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

Главне лекције које нас је научила
општа теорије релативности:

У ЧЕМУ ЈЕ ПРОБЛЕМ?

Принципи на којима се заснива
квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

Главне лекције које нас је научила
општа теорије релативности:

- просторвреме није равно,

У ЧЕМУ ЈЕ ПРОБЛЕМ?

Принципи на којима се заснива
квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

Главне лекције које нас је научила
општа теорије релативности:

- просторвреме није равно,
- енергија није одржана,

У ЧЕМУ ЈЕ ПРОБЛЕМ?

Принципи на којима се заснива
квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

Главне лекције које нас је научила
општа теорије релативности:

- просторвреме није равно,
- енергија није одржана,
- гравитационо поље није квантно,

У ЧЕМУ ЈЕ ПРОБЛЕМ?

Принципи на којима се заснива
квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

Главне лекције које нас је научила
општа теорије релативности:

- просторвреме није равно,
- енергија није одржана,
- гравитационо поље није квантно,
- честице не постоје.

У ЧЕМУ ЈЕ ПРОБЛЕМ?

Принципи на којима се заснива
квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

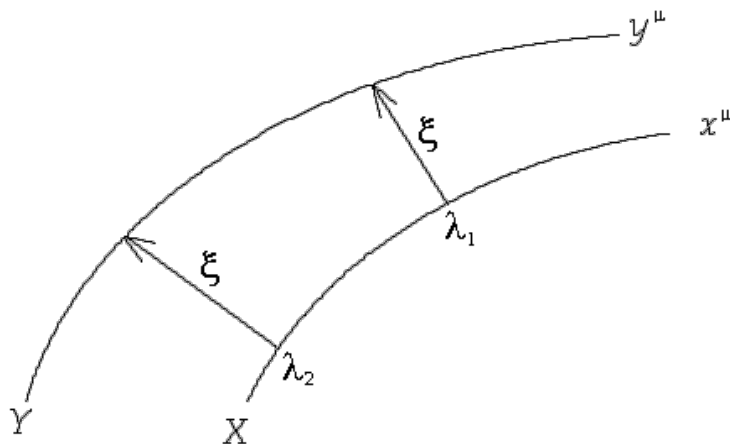
Главне лекције које нас је научила
општа теорије релативности:

- просторвреме није равно,
- енергија није одржана,
- гравитационо поље није квантно,
- честице не постоје.



ПРОСТОРВРЕМЕ НИЈЕ РАВНО !!

Основна идеја ОТР — гравитација је закривљеност просторвремена!



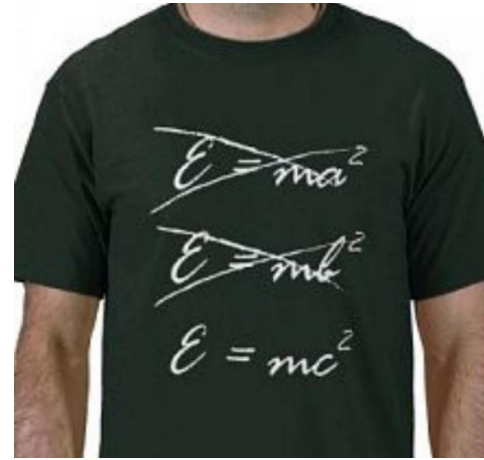
Једначина геодезијске девијације:

$$\nabla^2 \xi = R(u, u, \xi)$$

убрзање = кривина · (брзина)² · растојање

$$\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{1}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot \text{m}$$

ЕНЕРГИЈА НИЈЕ ОЧУВАНА !!



Прва теорема Еми Нетер:

закони одржања \iff симетрије

енергија \iff временске транслације

Али у космологији немамо симетрију временских транслација!

Технички исказ — космолошка константа је већа од нуле...



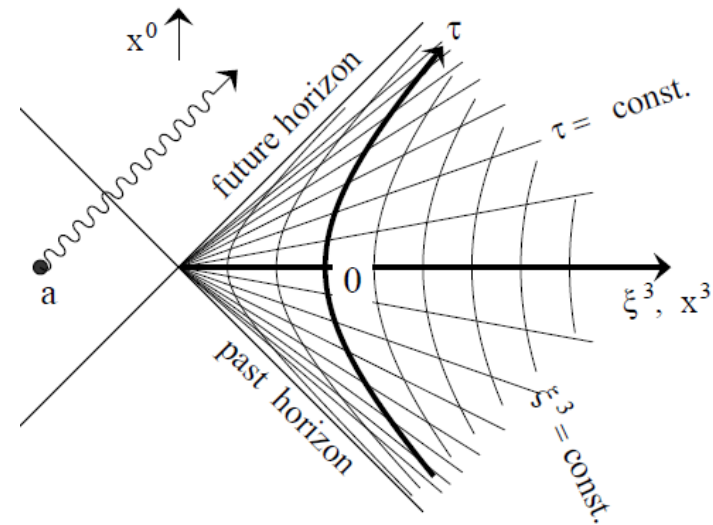
ЧЕСТИЦЕ НЕ ПОСТОЈЕ !!



Бил Анру (William Unruh)

$$T = \frac{\hbar}{\underbrace{2\pi c k_B}} a$$
$$4 \cdot 10^{-21} \frac{\text{K}}{\text{m/s}^2}$$

Један посматрач види вакуум,
а други види честице!



ШТА МОЖЕМО ДА УРАДИМО?

Принципи на којима се заснива квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

Главне лекције које нас је научила општа теорије релативности:

- просторвреме није равно,
- енергија није одржана,
- гравитационо поље није квантно,
- честице не постоје.

ШТА МОЖЕМО ДА УРАДИМО?

Принципи на којима се заснива
квантна теорија поља:

- равно просторвреме Минковског,
- закони одржања (енергије, итд. . .),
- поља су квантни оператори,
- честице које се сударају.

Главне лекције које нас је научила
општа теорије релативности:

- просторвреме није равно,
- енергија није одржана,
- гравитационо поље није квантно,
- честице не постоје.

Једна физичка ситуација у којој су ове противречности “питоме” — простор око
црне рупе: Хокингово зрачење!

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi G k_B} \frac{1}{M}$$

$1,2 \cdot 10^{23} \text{ kg K}$



ШТА МОЖЕМО ЈОШ?

Можемо да предвидимо вредност космолошке константе!

ШТА МОЖЕМО ЈОШ?

Можемо да предвидимо вредност космолошке константе!

- Рачунамо очекивану вредност тензора енергије-импулса до реда на једну петљу,

$$\langle \hat{T}_{\mu\nu}(\phi) \rangle = T_{\mu\nu}^{\text{класично}}(\phi) + T_{\mu\nu}^{\text{петља}}(\phi),$$

ШТА МОЖЕМО ЈОШ?

Можемо да предвидимо вредност космолошке константе!

- Рачунамо очекивану вредност тензора енергије-импулса до реда на једну петљу,

$$\langle \hat{T}_{\mu\nu}(\phi) \rangle = T_{\mu\nu}^{\text{класично}}(\phi) + T_{\mu\nu}^{\text{петља}}(\phi),$$

- затим израчунамо вредност енергије-импулса за основно стање поља материје, $\phi = 0$,

$$\begin{aligned} \langle \hat{T}_{\mu\nu}(\phi) \rangle \Big|_{\phi=0} &= \underbrace{T_{\mu\nu}^{\text{класично}}(0)}_0 + T_{\mu\nu}^{\text{петља}}(0) = \left[\text{погледамо уџбеник} \right] = \\ &= \frac{a_1}{l_p^4} g_{\mu\nu} + \frac{a_2}{l_p^2} \left(R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R \right) + a_3 \left(\dots R^2 \dots \right) + \dots, \end{aligned}$$

где су a_1, a_2, a_3, \dots бездимензионе константе реда $\mathcal{O}(1)$,

ШТА МОЖЕМО ЈОШ?

Можемо да предвидимо вредност космолошке константе!

- Рачунамо очекивану вредност тензора енергије-импулса до реда на једну петљу,

$$\langle \hat{T}_{\mu\nu}(\phi) \rangle = T_{\mu\nu}^{\text{класично}}(\phi) + T_{\mu\nu}^{\text{петља}}(\phi),$$

- затим израчунамо вредност енергије-импулса за основно стање поља материје, $\phi = 0$,

$$\begin{aligned} \langle \hat{T}_{\mu\nu}(\phi) \rangle \Big|_{\phi=0} &= \underbrace{T_{\mu\nu}^{\text{класично}}(0)}_0 + T_{\mu\nu}^{\text{петља}}(0) = \left[\text{погледамо уџбеник} \right] = \\ &= \frac{a_1}{l_p^4} g_{\mu\nu} + \frac{a_2}{l_p^2} \left(R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R \right) + a_3 \left(\dots R^2 \dots \right) + \dots, \end{aligned}$$

где су a_1, a_2, a_3, \dots бездимензионе константе реда $\mathcal{O}(1)$,

- заменимо све у Ајнштајнове једначине и прочитамо ренормализовану вредност космолошке константе на једну петљу:

$$\Lambda_{\text{пред}} = -\frac{8\pi a_1}{l_p^2} \approx \frac{1}{l_p^2}, \quad \text{док је} \quad \Lambda_{\text{експ}} \approx \frac{10^{-122}}{l_p^2}.$$

ШТА МОЖЕМО ЈОШ?

Можемо да предвидимо вредност космолошке константе!

- Рачунамо очекивану вредност тензора енергије-импулса до реда на једну петљу,

$$\langle \hat{T}_{\mu\nu}(\phi) \rangle = T_{\mu\nu}^{\text{класично}}(\phi) + T_{\mu\nu}^{\text{петља}}(\phi),$$

- затим израчунамо вредност енергије-импулса за основно стање поља материје, $\phi = 0$,

$$\begin{aligned} \langle \hat{T}_{\mu\nu}(\phi) \rangle \Big|_{\phi=0} &= \underbrace{T_{\mu\nu}^{\text{класично}}(0)}_0 + T_{\mu\nu}^{\text{петља}}(0) = \left[\text{погледамо уџбеник} \right] = \\ &= \frac{a_1}{l_p^4} g_{\mu\nu} + \frac{a_2}{l_p^2} \left(R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R \right) + a_3 \left(\dots R^2 \dots \right) + \dots, \end{aligned}$$

где су a_1, a_2, a_3, \dots бездимензионе константе реда $\mathcal{O}(1)$,

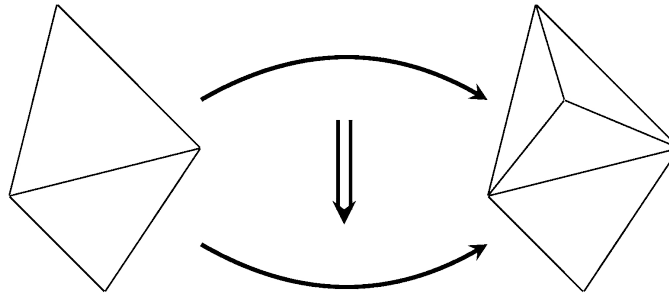
- заменимо све у Ајнштајнове једначине и прочитамо ренормализовану вредност космолошке константе на једну петљу:

$$\Lambda_{\text{пред}} = -\frac{8\pi a_1}{l_p^2} \approx \frac{1}{l_p^2}, \quad \text{док је} \quad \Lambda_{\text{експ}} \approx \frac{10^{-122}}{l_p^2}.$$

Најгора предикција у историји науке!!

ШТА НАМ ЗАПРАВО ТРЕБА?

Треба нам пуна теорија квантне гравитације!



тема Тијаниног предавања, следећег уторка...

ХВАЛА НА ПАЖЊИ!