

ГРАВИТАЦИЈА НА ПЛАНКОВОЈ СКАЛИ

Марко Војиновић

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

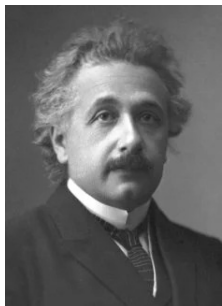


Истраживање спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије,
број 7745968, “Квантна гравитација преко виших гејџ теорија 2021” (QGHG-2021).

УВОД

- Шта значи квантовати гравитацију?
- Опис геометрије
- Опис симетрија
- Модели сума по стањима
- Закључак

ШТА ЈЕ КВАНТНА ГРАВИТАЦИЈА



Класична гравитација — Ајнштајнова ОТР.

Квантна гравитација — опис гравитационог поља на Планковој скали.

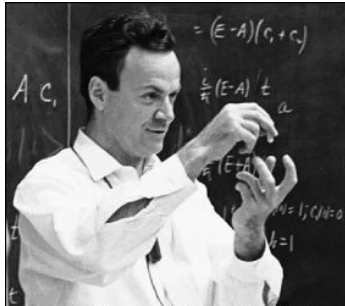
Критеријуми да се неки скуп једначина зове модел квантне гравитације:

- добар семикласичан лимес — репродукује ОТР на скалама много већим од Планкове,
- одсуство дивергенција — теорија је коначна и у UV и у IR режиму.

Опште процедуре квантизације:

- пертурбативна (као QED) — катастрофално лоша,
- канонска (као водоников атом) — није коваријантна и зависи од топологије просторвремена,
- коваријантна (као статистичка механика) — мера у конфигурационим интегралима није дефинисана,
- чудна (као ниједна одозго) — сувише општа и сувише “чудна”...

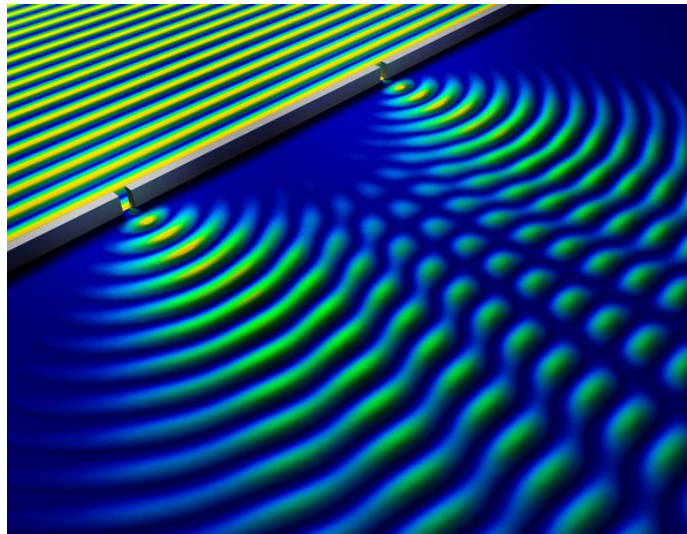
ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



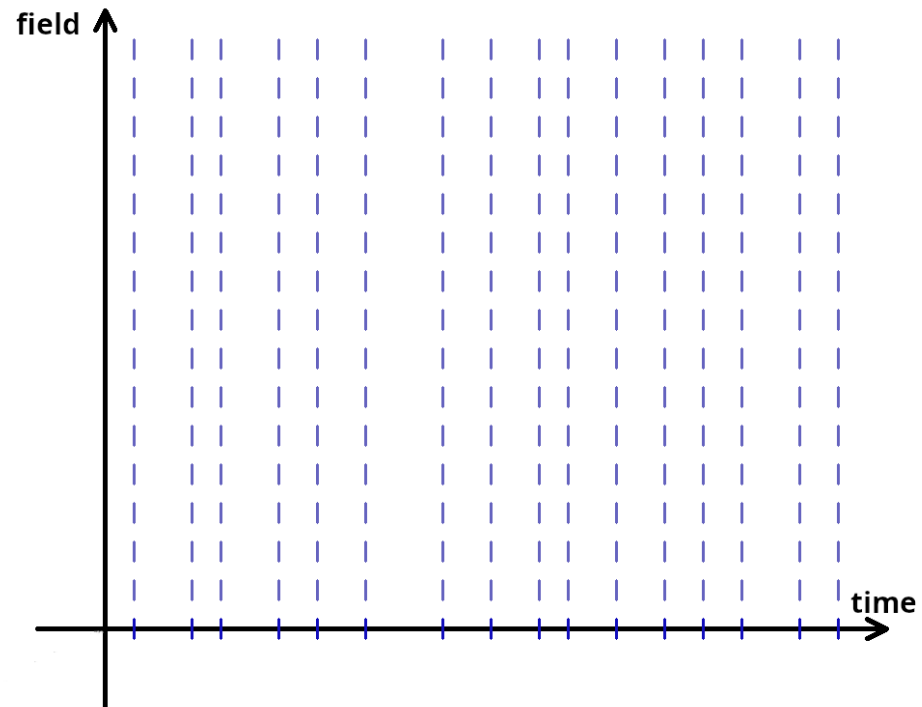
Експеримент са два отвора — прототип феномена квантне интерференције.

Типично за понашање таласа, али не и честица...

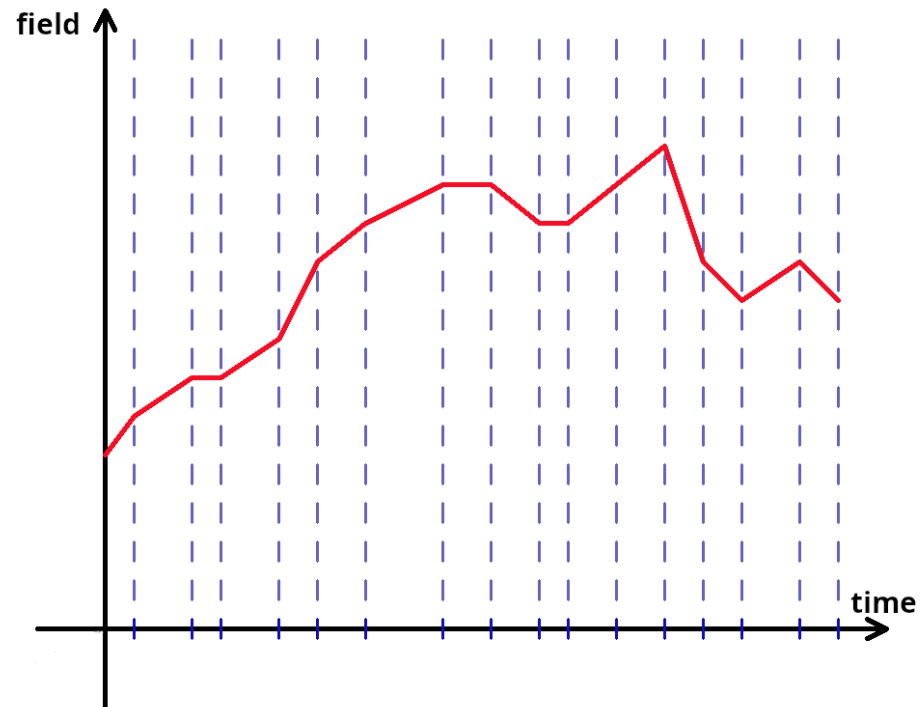
Фејнманов генијални увид — интерференција је *једини* квантни феномен!



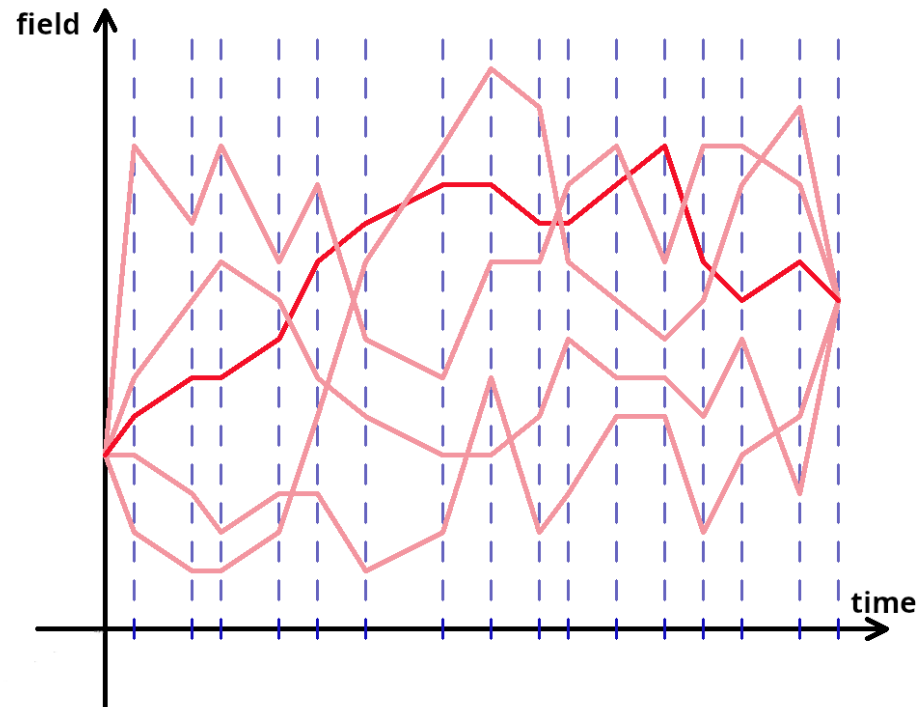
ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



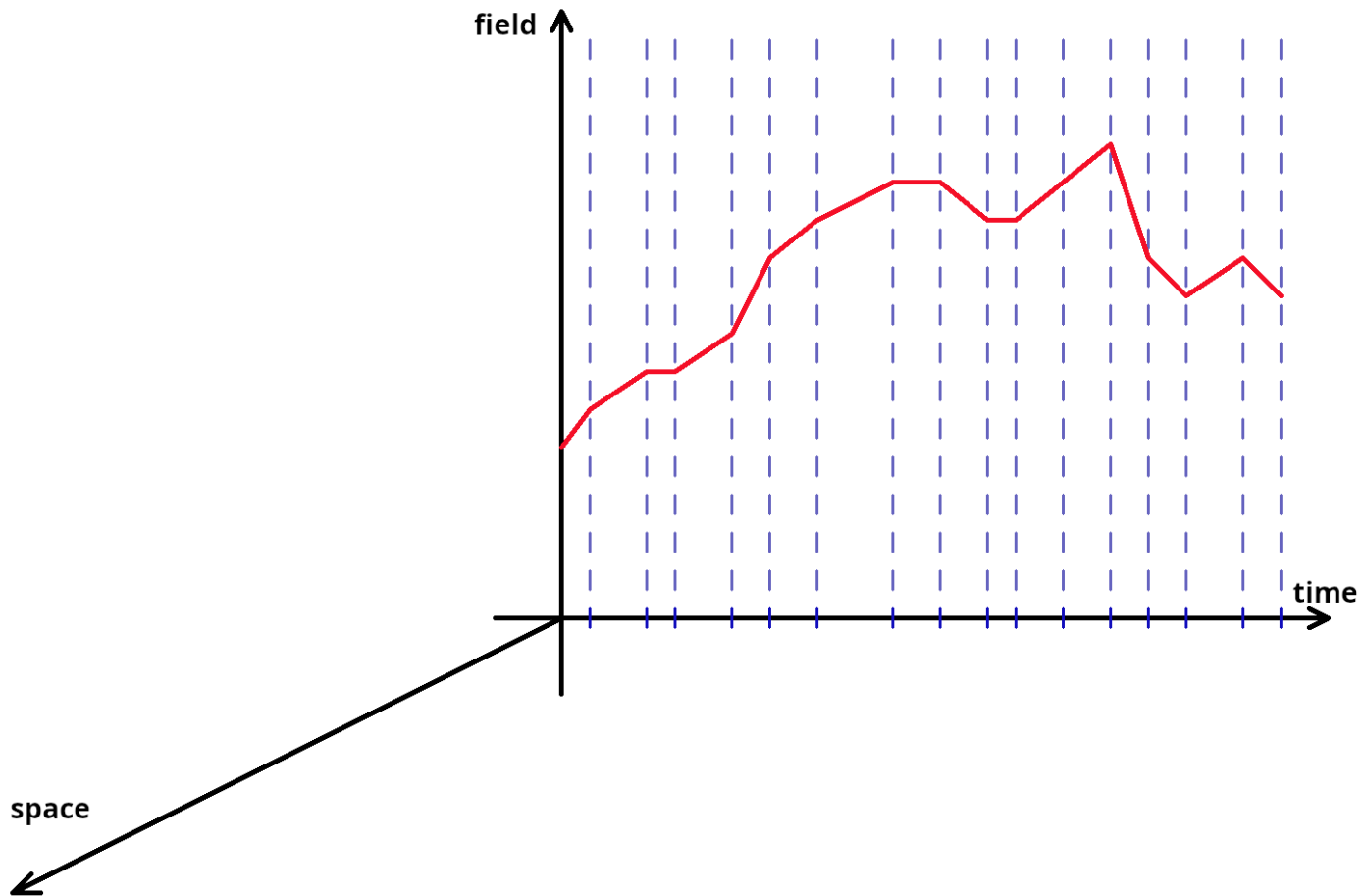
ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



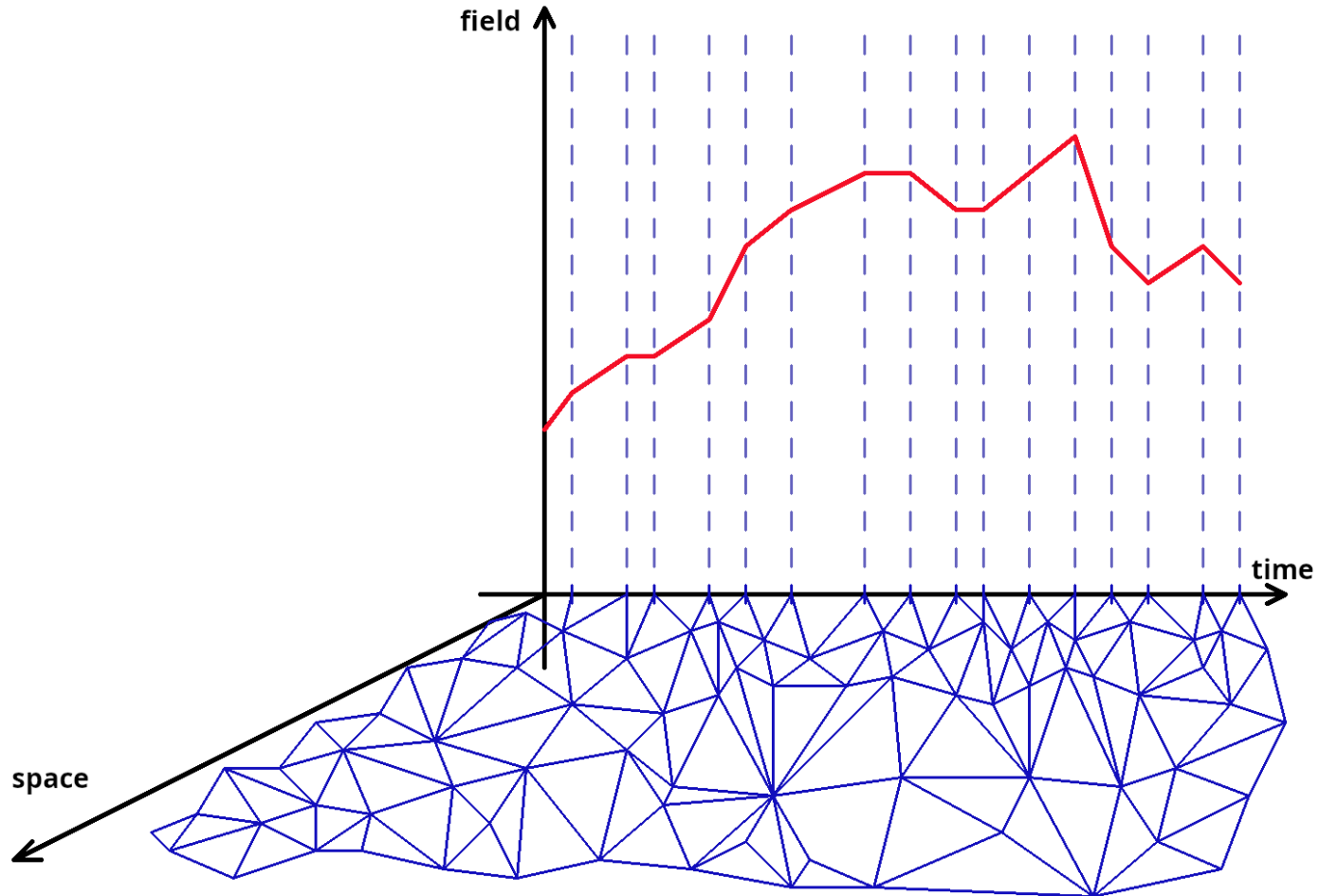
ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



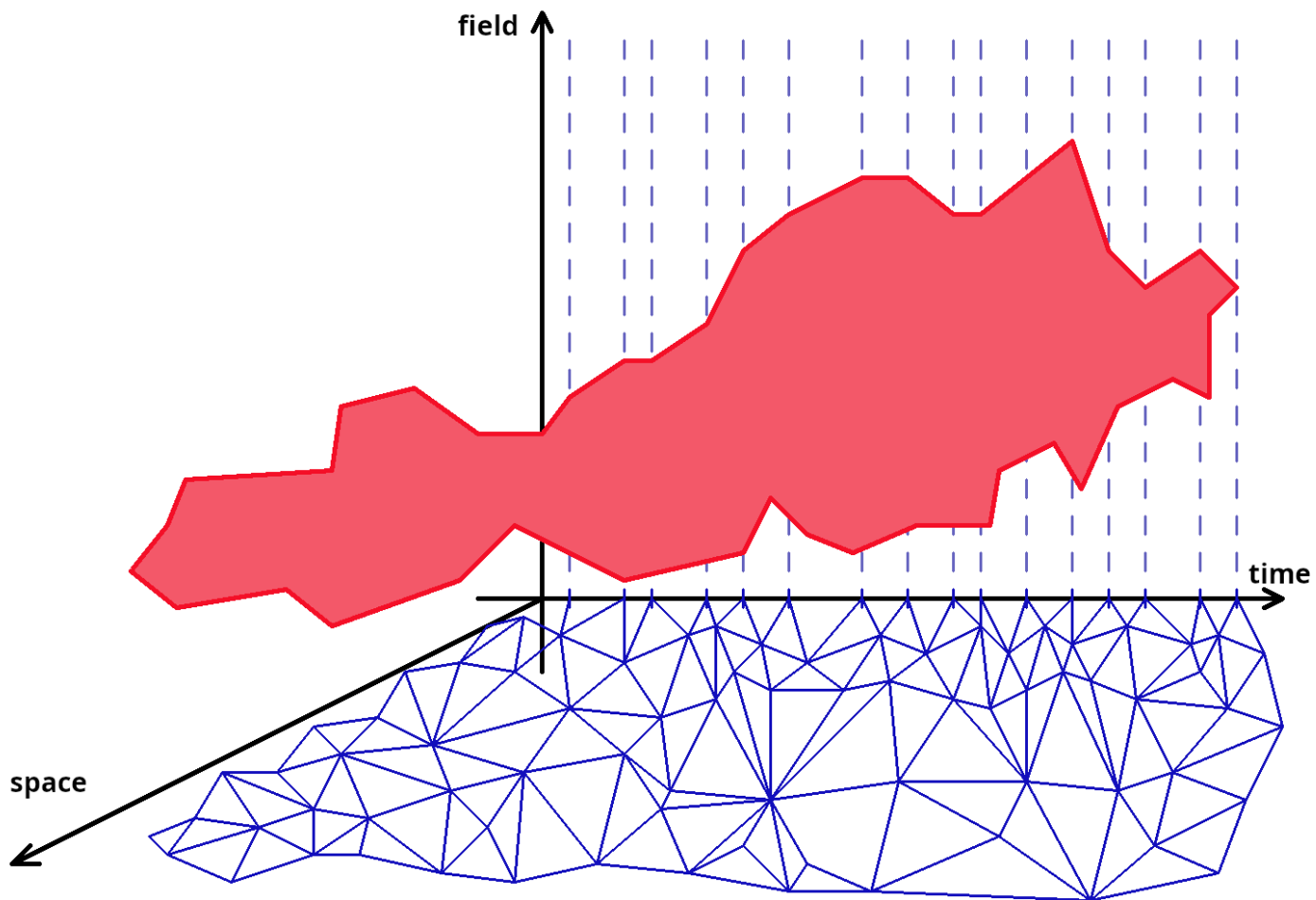
ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



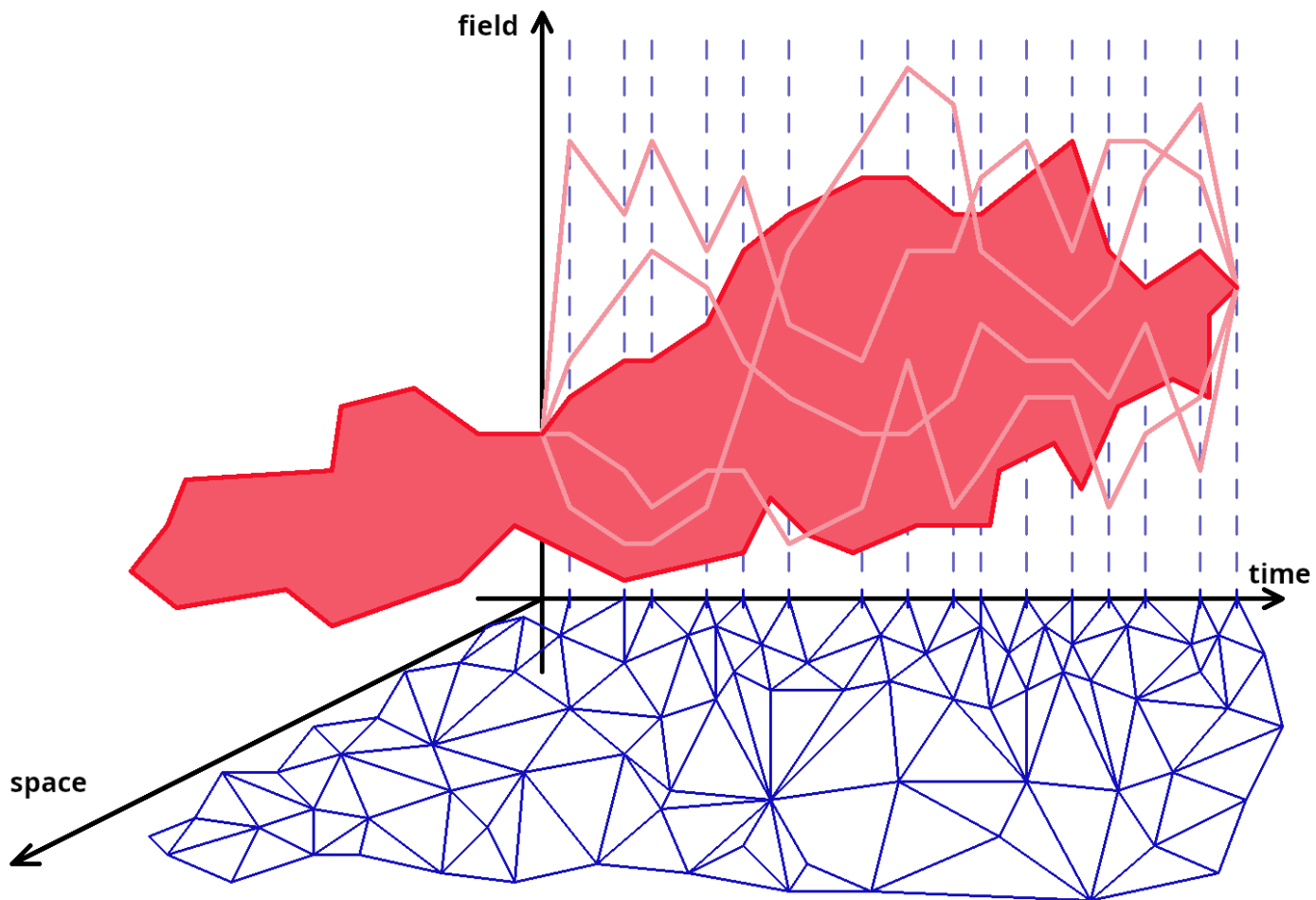
ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



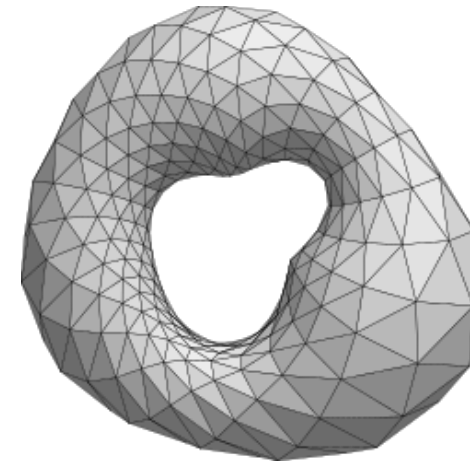
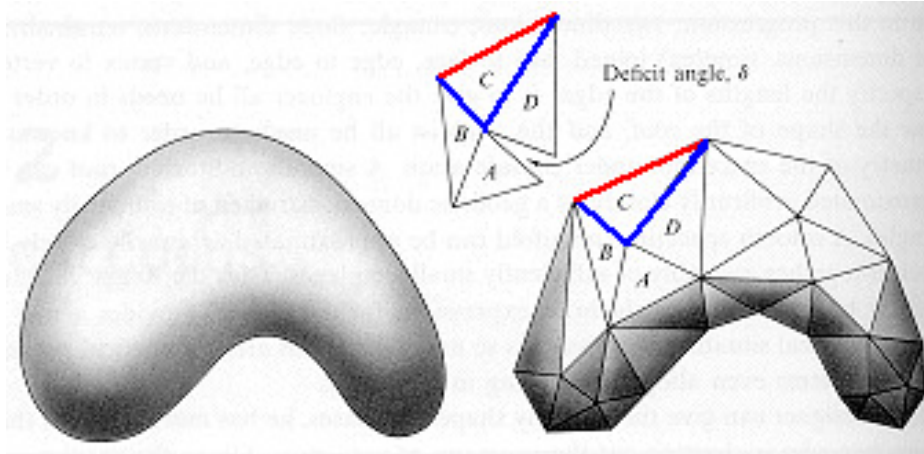
ОПИС ГЕОМЕТРИЈЕ



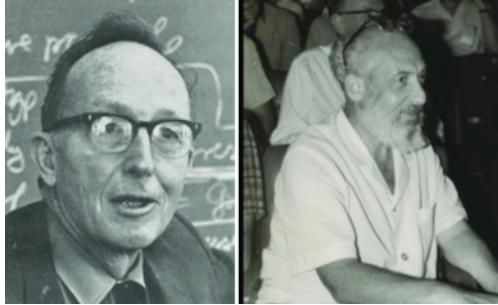
Фејнманов конфигурациони интеграл (тзв. интеграл “по путањама”) — одличан за опис било какве опсервабле која живи на триангулацији просторвремена. Квантовање дате опсервабле је аутоматско!

Да ли се геометрија саме триангулације може сматрати опсерваблом која живи на триангулацији?

Може! Реџе рачун омогућава да се ОТР формулише на језику триангулације!



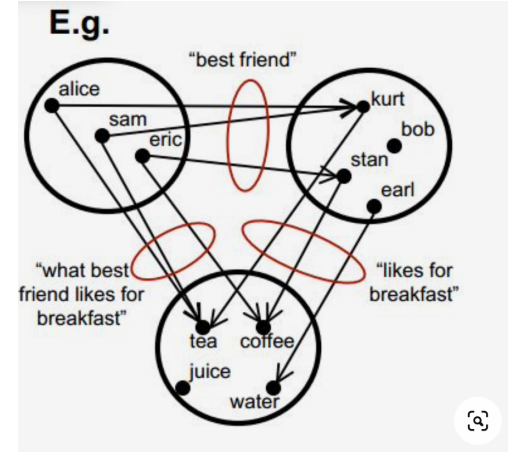
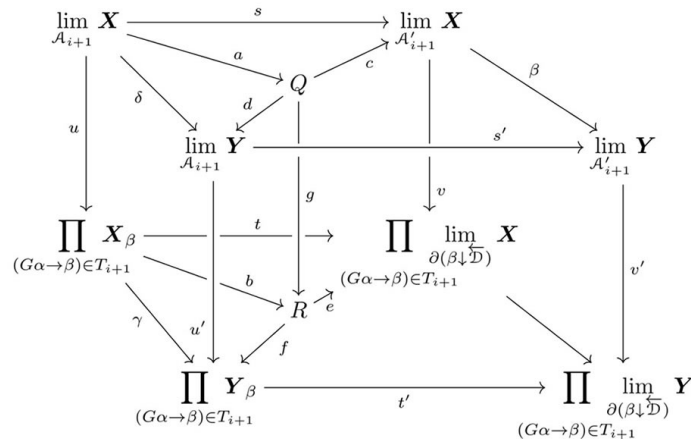
ОПИС СИМЕТРИЈА



Симетрија — математичка структура која нам каже од чега природа не зависи!

Теорија категорија (Saunders Mac Lane, Samuel Eilenberg) — проучава појам композиције процеса над појавама (морфизми над објектима).

У основи цела математика може да се формулише на језику теорије категорија!



ОПИС СИМЕТРИЈА

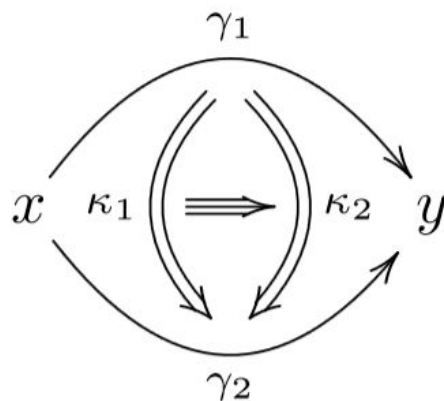


Када су два објекта “иста”? Када су *једнаки*, или када су *изоморфни*?

Када су две трансформације “исте”? Када су *једнаке*, или када су *изоморфне*?

Теорија виших категорија проучава појам “истости”!

Алат за систематско профињавање појма симетрије — n -групе.



МОДЕЛИ СУМА ПО СТАЊИМА

Класична теорија:

- Избор 3-групе симетрије за Ајнштајн-Картанову гравитацију са Стандардним Моделом:

$$(L \xrightarrow{\delta} H \xrightarrow{\partial} G, \triangleright, \{-, -\}),$$

где је

$$G = SO(3, 1) \times SU(3) \times SU(2) \times U(1), \quad H = \mathbb{R}^4,$$

$$L = \mathbb{C}^4 \times \mathbb{G}^{64} \times \mathbb{G}^{64} \times \mathbb{G}^{64}.$$

- Тополошки сектор теорије:

$$S_{3BF} = \int_{\mathcal{M}_4} \langle B \wedge \mathcal{F} \rangle_{\mathfrak{g}} + \langle C \wedge \mathcal{G} \rangle_{\mathfrak{h}} + \langle D \wedge \mathcal{H} \rangle_{\mathfrak{l}},$$

односно

$$S_{3BF} = \int \overbrace{B_\alpha \wedge F^\alpha + B^{[ab]} \wedge R_{[ab]}}^{\langle B \wedge \mathcal{F} \rangle} + \overbrace{e_a \wedge \nabla \beta^a}^{\langle C \wedge \mathcal{G} \rangle} + \overbrace{\phi^A (\nabla \gamma)_A + \bar{\psi}_A (\vec{\nabla} \gamma)^A - (\bar{\gamma} \overleftarrow{\nabla})_A \psi^A}^{\langle D \wedge \mathcal{H} \rangle}.$$

МОДЕЛИ СУМА ПО СТАЊИМА

Квантизација тополошког сектора (метод тополошке квантне теорије поља):

- Тополошка инваријанта:

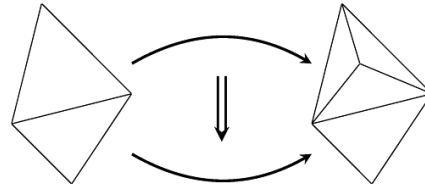
$$\begin{aligned}
 Z &= |G|^{-|\Lambda_0|+|\Lambda_1|-|\Lambda_2|} |H|^{|\Lambda_0|-|\Lambda_1|+|\Lambda_2|-|\Lambda_3|} |L|^{-|\Lambda_0|+|\Lambda_1|-|\Lambda_2|+|\Lambda_3|-|\Lambda_4|} \\
 &\times \prod_{(jk) \in \Lambda_1} \int_G dg_{jk} \prod_{(jkl) \in \Lambda_2} \int_H dh_{jkl} \prod_{(jklm) \in \Lambda_3} \int_L dl_{jklm} \\
 &\times \prod_{(jkl) \in \Lambda_2} \delta_G \left(\partial(h_{jkl}) g_{kl} g_{jk} g_{j\ell}^{-1} \right) \prod_{(jklm) \in \Lambda_3} \delta_H \left(\delta(l_{jklm}) h_{jlm} (g_{lm} \triangleright h_{jkl}) h_{klm}^{-1} h_{jkm}^{-1} \right) \\
 &\times \prod_{(jklmn) \in \Lambda_4} \delta_L \left(l_{jlmn}^{-1} h_{jln} \triangleright' \{ h_{lmn}, (g_{mn} g_{lm}) \triangleright h_{jkl} \}_P l_{jklm}^{-1} (h_{jkn} \triangleright' l_{klmn}) l_{jkmn} h_{jmn} \triangleright' (g_{mn} \triangleright l_{jklm}) \right),
 \end{aligned}$$

- инваријантна на Пахнорове потезе (промену триангулације),
- задовољава Атијине аксиоме тополошке квантне теорије поља.

МОДЕЛИ СУМА ПО СТАЊИМА

Деформација до пуне теорије:

$$\begin{aligned}
 S = & \int \overbrace{B_\alpha \wedge F^\alpha + B^{[ab]} \wedge R_{[ab]} + e_a \wedge \nabla \beta^a}^{\langle B \wedge \mathcal{F} \rangle} + \overbrace{\phi^A (\nabla \gamma)_A + \bar{\psi}_A (\overrightarrow{\nabla} \gamma)^A - (\bar{\gamma} \overleftarrow{\nabla})_A \psi^A}^{\langle C \wedge \mathcal{G} \rangle} + \overbrace{\dots}^{\langle D \wedge \mathcal{H} \rangle} & 3BF \\
 & - \int \lambda_{[ab]} \wedge \left(B^{[ab]} - \frac{1}{16\pi l_p^2} \varepsilon^{[ab]cd} e_c \wedge e_d \right) + \frac{1}{96\pi l_p^2} \Lambda \varepsilon_{abcd} e^a \wedge e^b \wedge e^c \wedge e^d & \text{GR and CC} \\
 & + \int \lambda^\alpha \wedge (B_\alpha - 12 C_\alpha^\beta M_{\beta ab} e^a \wedge e^b) + \zeta^{\alpha ab} (M_{\alpha ab} \varepsilon_{cdef} e^c \wedge e^d \wedge e^e \wedge e^f - F_\alpha \wedge e_a \wedge e_b) & \text{YM} \\
 & + \int \lambda^A \wedge (\gamma_A - H_{abcA} e^a \wedge e^b \wedge e^c) + \Lambda^{abA} \wedge (H_{abcA} \varepsilon^{cdef} e_d \wedge e_e \wedge e_f - (\nabla \phi)_A \wedge e_a \wedge e_b) & \text{Higgs} \\
 & - \int \frac{1}{12} \chi (\phi^A \phi_A - v^2)^2 \varepsilon_{abcd} e^a \wedge e^b \wedge e^c \wedge e^d & \text{Higgs potential} \\
 & + \int \bar{\lambda}_A \wedge \left(\gamma^A + \frac{i}{6} \varepsilon_{abcd} e^a \wedge e^b \wedge e^c (\gamma^d \psi)^A \right) - \lambda^A \wedge \left(\bar{\gamma}_A - \frac{i}{6} \varepsilon_{abcd} e^a \wedge e^b \wedge e^c (\bar{\psi} \gamma^d)_A \right) & \text{Dirac} \\
 & - \int \frac{1}{12} Y_{ABC} \bar{\psi}^A \psi^B \phi^C \varepsilon_{abcd} e^a \wedge e^b \wedge e^c \wedge e^d & \text{Yukawa} \\
 & + \int 2\pi i l_p^2 \bar{\psi}_A \gamma_5 \gamma^a \psi^A \varepsilon_{abcd} e^b \wedge e^c \wedge e^d. & \text{spin-torsion}
 \end{aligned}$$



ЗАКЉУЧАК

Основне идеје за конструкцију теорије:

- опис геометрије просторвремена триангулацијама
 - Реџе рачун, суме по стањима
- опис симетрије теоријом виших категорија
 - тополошка квантна теорија поља, више гејџ теорије, n -групе
- конструкција модела квантне гравитације
 - коначност, класичан лимес
- истраживање идеје великог уједињења свих интеракција
 - избор згодне n -групе
- потенцијални одговори на отворена питања како сектора гравитације тако и сектора материје
 - нпр. откуд три фамилије фермиона, исл. . .

ХВАЛА!