

СПИН И РАСШИРЕННОЕ СУПЕРВРЕМЯ

Ю. Р. Мусин, МАИ (Москва)

Основные утверждения:

- 1) Макроскопическое время имеет статистическую природу и в этом смысле подобно температуре.
- 2) Микроскопическое собственное время фундаментальных частиц (лептонов и кварков) является первичным понятием.
- 3) Микроскопическое собственное время имеет внутреннюю структуру.
- 4) Квантово-механический спин – атрибут времени.

Исходные предпосылки:

- Суперсимметрия и суперпространство.
- Суперматематика. Псевдоклассическая механика.
- Суперсимметричный электрон как адекватная физическая модель.
- Композитные модели лептонов и кварков.
- Структура собственного времени и спин

Суперсимметрия и суперпространство

Группа Пуанкаре: $P \cong \mathbb{R}^4 \rtimes so(3,1)$
 T^4 $so(3,1)$ - группа ;

Лоренца
 $\hat{P}_\mu, \hat{P}_\nu, \hat{J}_{\mu\nu}$
 $\hat{P}_\mu, \hat{J}_{\mu\nu}$

Генераторы: \hat{P}_μ – трансляций, $\hat{J}_{\mu\nu}$ – вращений.

Теорема «no-go» Коулмена-Мандулы:
 «Не существует нетривиального объединения группы внутренних симметрий с группой Пуанкаре». Но!

Алгебра суперсимметрии SUSY:

$$\begin{aligned} [\hat{P}_\mu, \hat{Q}_\alpha] &= \hat{P}_\mu \hat{Q}_\alpha - \hat{Q}_\alpha \hat{P}_\mu = 0 \\ [\hat{P}_\mu, \hat{Q}_{\dot{\alpha}}] &= \hat{P}_\mu \hat{Q}_{\dot{\alpha}} - \hat{Q}_{\dot{\alpha}} \hat{P}_\mu = 0 \\ \{\hat{Q}_\alpha, \hat{Q}_{\dot{\beta}}\} &= 0 \\ \{\hat{Q}_\alpha, \hat{Q}_\beta\} &= 0 \end{aligned}$$

\hat{Q}_α Бозон | Фермион ; $\hat{Q}_{\dot{\alpha}}$ Фермион | Бозон

Пространство Минковского

$$\mathbb{R}^4 \cong \text{ct, } x, y, z \quad x^\mu$$

$$x^\mu, \quad \mu = 0, 1, 2, 3; \quad x^i, \quad i = 1, 2, 3, 4;$$

Суперпространство Минковского
 SUSY, SUGRA, Superstring, M-theory

Суперматематика

Алгебра Грассмана

e^0, e^1, \dots, e^n

Пример: внешнее умножение 1-форм: $e^i \wedge e^j$

Суперчисла: z_B, z_S

z_B - тело числа, z_S - дух числа

Анализ над алгеброй Грассмана G_n

Грассмановы числа e_1, e_2, \dots, e_n

$f = f^0 + f_i e^i + \dots + f_{i_1 i_2 \dots i_n} e^{i_1 i_2 \dots i_n}$

Производная $\frac{\partial}{\partial e^i}$

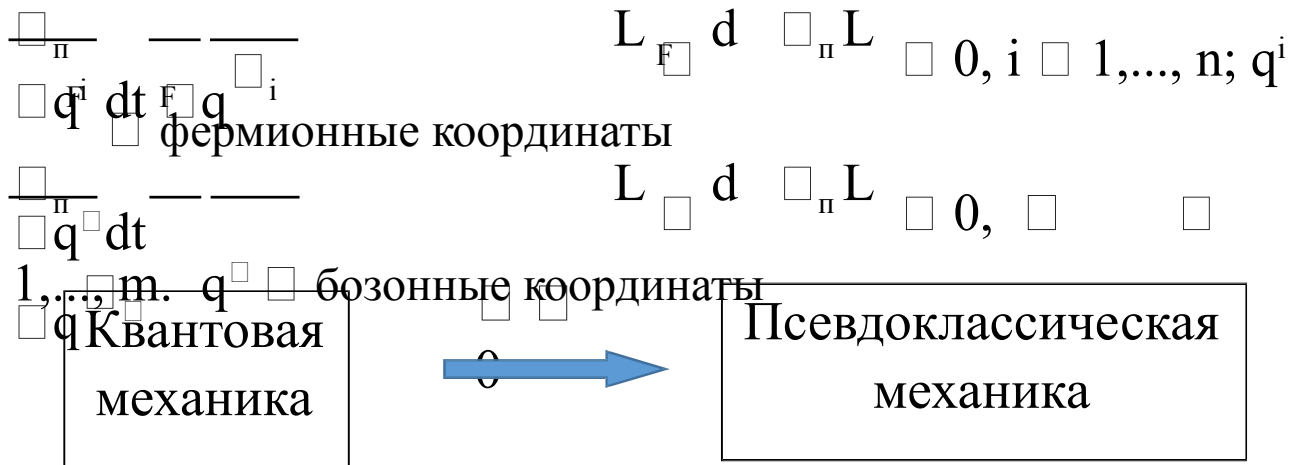
Интеграл по Березину $\int_G f(x) dx$

Алгебра Березина $B_{n,m}$

$f(x) = \sum_{k=1}^n f_{i_1 \dots i_k} x^{i_1 \dots i_k}$

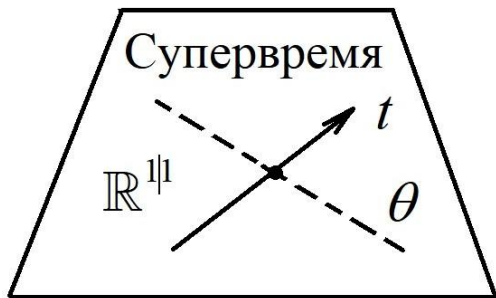
Чётные элементы - бозонные степени свободы,
 Нечётные элементы - фермионные степени свободы.

Псевдоклассическая механика над $B_{n,m}$



Механика – это теория поля, на одномерном пространстве – прямой, параметризуемой собственным временем.

Плоское супервремя $\mathbb{R}^{1|1} = (t, \theta)$



t - четное (бозонное) время
 θ - нечетное (грассманово) время

$$ds^2 = dt^2 + i d\theta^2$$

$$S = \int dt \left(\frac{1}{2} \dot{x}^2 + i \dot{\theta} \right)$$

$$(t, \theta) : \mathbb{R}^{1|1} \rightarrow \mathbb{R}^n$$

$$x(t) = x(t)$$

$$\hat{Q} = \frac{dS}{d\theta} = i \dot{\theta}$$

$$\hat{H} = \frac{dT}{dt} = \frac{1}{2} \dot{x}^2 + i \dot{\theta}$$

$$[\hat{Q}, \hat{H}] = 2\dot{\theta} \neq 0$$

Ковариантная производная:

$$D = \frac{d}{dt} + i \dot{\theta} \frac{d}{d\theta}$$

Псевдоклассическая модель электрона

Ди-Векиа, Равндел (1967)

$$X^\mu(t, \mathbf{x}) : \psi^\dagger \psi, X^\mu(t, \mathbf{x}) = x^\mu(t) + i \sigma^\mu \psi^\dagger \psi$$

$$S = \int dt \left(\frac{d\mathbf{x}}{dt} \cdot \mathbf{p} - \frac{1}{2} \mathbf{p}^2 - \frac{1}{2} (\mathbf{x} \cdot \mathbf{p})^2 \right)$$

Уравнения Баргманна-Мишеля-Телегди в ЭМ-поле

$$\mathbf{x} \cdot \mathbf{p} = \frac{q}{2} \mathbf{F} \cdot \mathbf{x} = 0$$

Уравнения Матиссона-Папапетру в ОТО

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{x} = 0.$$

Некоторые результаты применения данной модели.

- Мусин Ю.Р., Козориз В.И. Суперсимметричный электрон в кулоновском поле, ТМФ т 123, №1, 2000, с. 75-80 (Аналитические решения)
- Мусин Ю.Р., Козориз В.И. Проблема рассеяния для классической частицы со спином в кулоновском поле, ТМФ, т 138, №2, 2004, с 338-348 (Сечение рассеяния Мотта)
- Мусин Ю.Р., Чередов В.В. Электрон со спином в поле шварцшильдовской черной дыры, Тезисы докладов ГР-8 (Численное моделирование)

Композитные модели лептонов и кварков

$$S = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} ds & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k \\ l \end{pmatrix}$$

$$E_{kl} = g_{kl} \begin{pmatrix} DDX & DDX & DDX \end{pmatrix} g \quad DY$$

$$E_{kl} = g_{kl} \begin{pmatrix} DDY \\ DDY \\ DDY \end{pmatrix} a \quad (F(N) \approx 1)a$$

$$E_{kl} = g_{kl} \begin{pmatrix} a \\ a^2 \\ a^2 \end{pmatrix} (F(N) \approx 1)a^2$$

Формула Барута $N \approx 1$

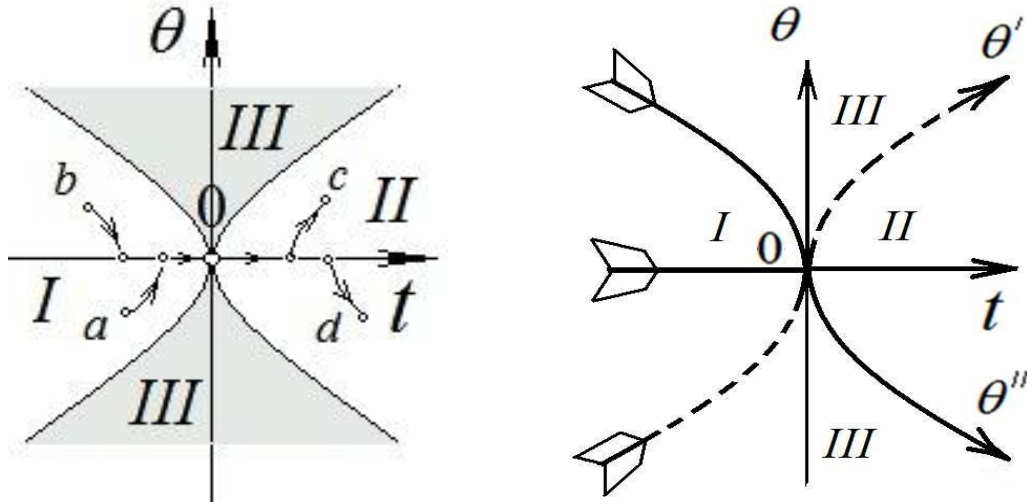
$m(N) \approx m_0 (1 - aF(N)); F(N) \approx k^4;$
 $\approx 1/137$ Массы лептонов и кварков (МэВ)

| Частица | Расчетные значения | Экспериментальные значения |
|----------|--------------------|----------------------------|
| Электрон | 0,510998910(13) | |
| Мюон | 105,549 | 105.658367(4) |
| Таон | 1786,155 | 1776,82(16) |
| u-кварк | 0,685 | 1,8-3,0 |
| d-кварк | 6,46 | 4,5-5,3 |
| s-кварк | 141 | 90-100 |
| c-кварк | 1 336 | 1 250-1 300 |
| b-кварк | 4646 | 4 630-4 690 |
| t-кварк | 171 523 | 172 500-173 920 |
| u-кварк | 0,685 | 1,8-3,0 |

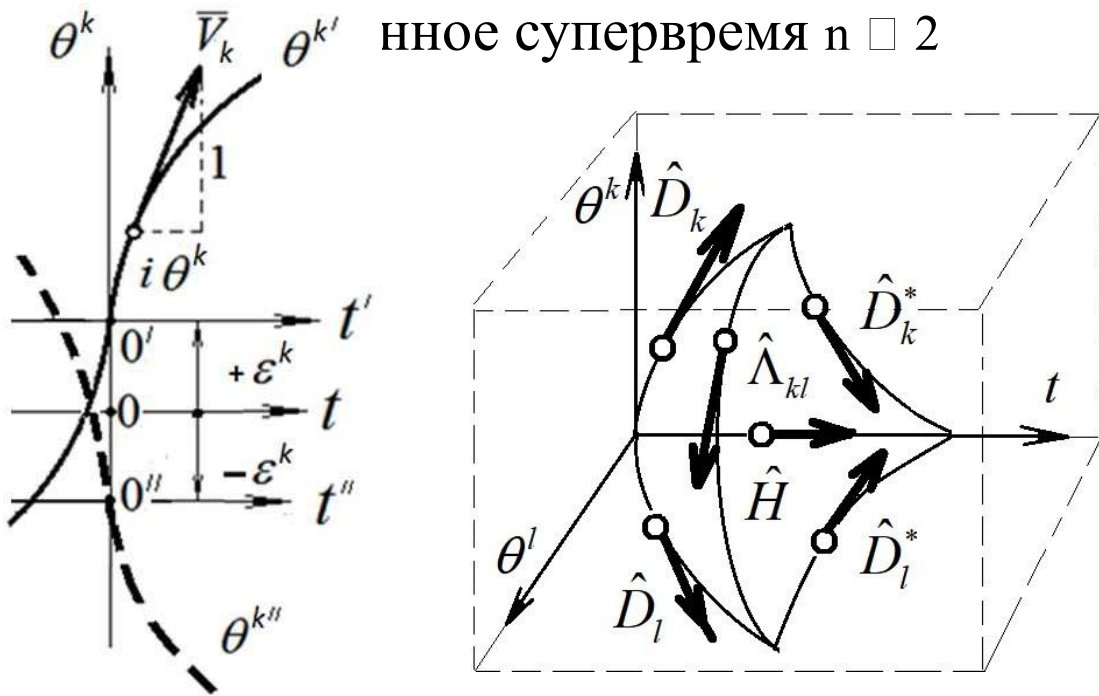
$m_0 \approx m_e \quad m_u \approx 0,685 \text{ МэВ}; m_d \approx 6,46 \text{ МэВ}; a \approx 3/4$
 «Загадка радиуса протона» 4% или в 3,5 раза.
 (2010) $0,8802 \pm 0,0080 \text{ фм} \approx 0,8775 \pm 0,0051 \text{ фм}$

Структура супервремени

Плоское супервремя спинорных частиц $S \square 1/2$



Существуют только три поколения и только при $n \square 1$ (лептоны, кварки)



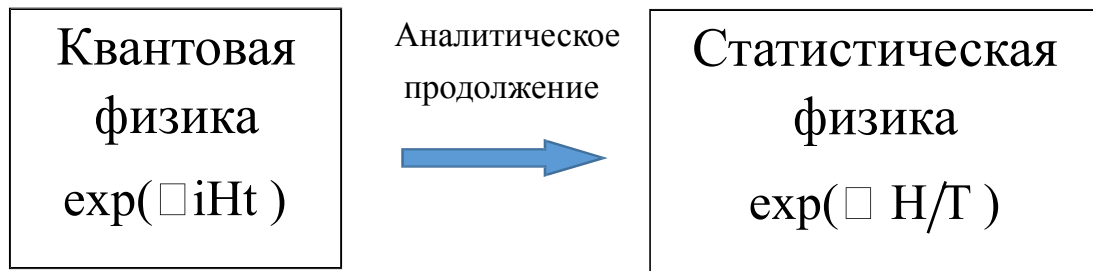
Акаузальные аномалии $n \square 5$ для частиц при $S \square 5/2$

Стрелы времени

- Термодинамическая стрела (рост энтропии)
- Нарушение CP-инвариантности (каон, В-мезон)

«Странные связи» понятий температуры и времени

- Только косвенное измерение
- Виковский поворот: $t \rightarrow i t$



Температура является эквивалентом циклического мнимого времени

- Температура и координатное время

□ t_i - собственное время i - той частицы

$\frac{d t_i}{dt} = \sqrt{1 - \frac{V_i^2}{c^2}}$; $T = \frac{1}{3k} \left\langle \frac{V^2}{2} \right\rangle = \frac{1}{3k} \left\langle \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N V_i^2 \right\rangle$

$$dt = \sqrt{\frac{\langle d x^2 \rangle}{1 - 3kT}}$$

Температура и время – эмерджентные явления.

Спин – атрибут супервремени