

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:

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

\hat{Q}_α Бозон | Фермион ; \hat{Q}_β Фермион | Бозон

Пространство Минковского

$$\mathbb{R}^4 \text{ с } ct, x, y, z \text{ и } x^2 = -y^2 - z^2 - (ct)^2;$$

\mathbb{R}^4 $x_i, i=0,1,2,3$; $i, j=1,2,3,4$;
 Суперпространство Минковского
 SUSY, SUGRA Superstring M-theory

Суперматематика

Алгебра Грассмана

Пример: внешнее умножение 1-форм: $e^i \wedge e^j = -e^j \wedge e^i$; $e^i \wedge e^i = 0$

Суперчисла: $z = z_B + z_S$, $C_{1/2}^i$

$$z = z_B + z_S \frac{1}{k!} C_{i_1 i_2 \dots i_k}^0 \theta^{i_1} \dots \theta^{i_k}$$

z_B - тело числа, z_S - дух числа ;

Анализ над алгеброй Грассмана G_n

Грассмановы числа $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$;

$$f = f^0 + f_i^{(1)} \theta_i + f_{i_1 i_2}^{(2)} \theta_{i_1} \theta_{i_2} + \dots + f_{i_1 i_2 \dots i_n}^{(n)} \theta_{i_1} \theta_{i_2} \dots \theta_{i_n}$$

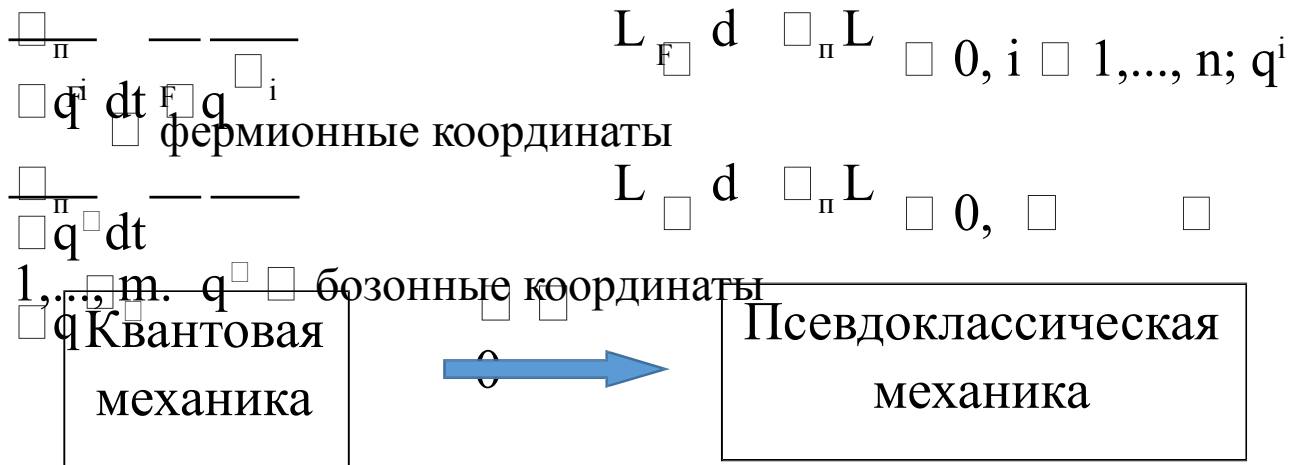
Производная $\frac{\partial}{\partial \theta_j}$, Интеграл по Березину $\int d\theta_i$

Алгебра Березина $B_{n,m}$

$$f(x, \theta) = \sum_{k=0}^n f_{i_1 \dots i_k}^{(k)} \theta_{i_1} \dots \theta_{i_k}, \quad x \in G, \quad p = n$$

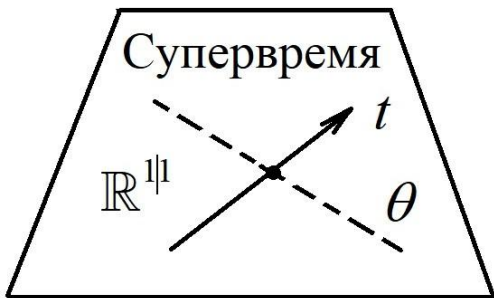
Чётные элементы - бозонные степени свободы,
 Нечётные элементы - фермионные степени свободы.

Псевдоклассическая механика над $B_{n,m}$



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

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



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

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

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

$$x^i(t, \theta) = x^i(t) + \theta \psi^i(t)$$

$$\hat{Q} = \frac{dS}{d\theta} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \dot{x}^i + \theta \dot{\psi}^i \right)$$

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

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

Ковариантная производная: $\hat{D} = \frac{d}{dt} + \theta \frac{d}{d\theta}$

Псевдоклассическая модель электрона

Ди-Векиа, Равндел (1967)

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

$$S = \int dt \left(\frac{d\mathbf{x}}{dt} \cdot \mathbf{D} X - L \right)$$

$$L = \frac{1}{2} \left(\mathbf{x} \cdot \mathbf{D} \mathbf{D} X - i \right)$$

Уравнения Баргманна-Мишеля-Телегди в ЭМ-поле

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

$$S = \int dt \left(\mathbf{x} \cdot \mathbf{q} F - S \right)$$

Уравнения Матиссона-Папапетру в ОТО

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

$$S = \int dt \left(\mathbf{x} \cdot \mathbf{q} F - S \right)$$

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

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

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

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

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

Формула Барута $N = 1$

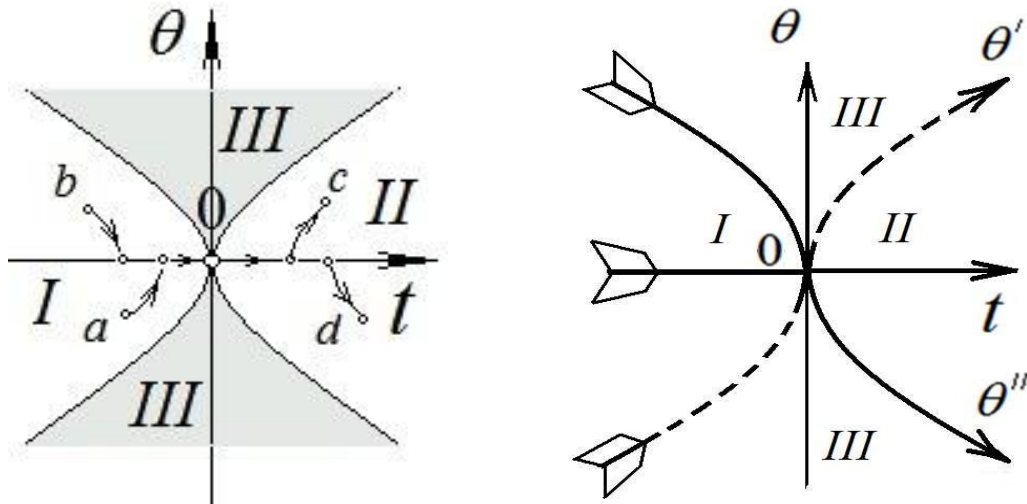
$m(N) = m_0 (1 - aF(N)); F(N)_{k=0} = k^4;$
 □ 1/137 Массы лептонов и кварков (МэВ)

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

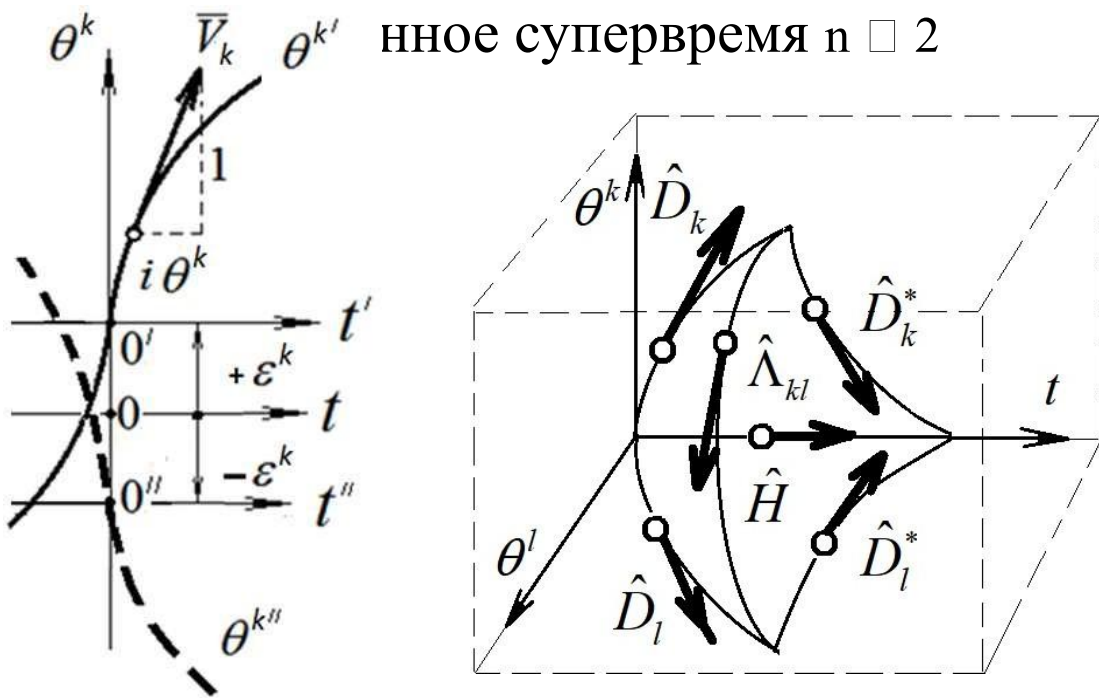
$m_0 = m_e \quad m_u = 0,685 \text{ МэВ}; \quad m_d = 6,46 \text{ МэВ}; \quad a = 3/4$
 «Загадка радиуса протона» 4% или в 3,5 раза.
 (2010) $0,8802 \pm 0,0080 \text{ фм} \quad 0,8775 \pm 0,0051 \text{ фм}$

Структура супервремени

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



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



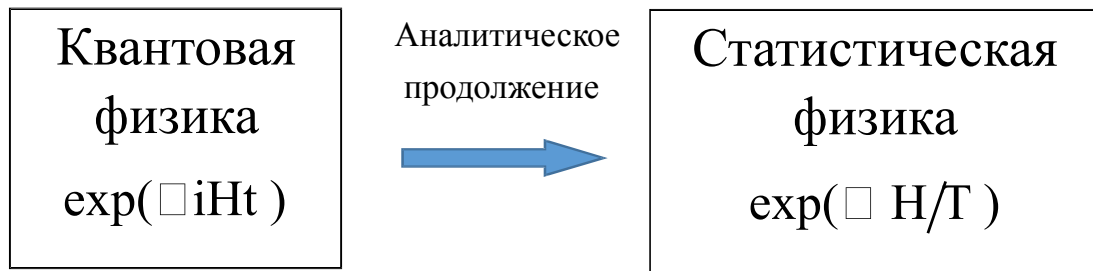
Акаузальные аномалии $n \square 5$ для частиц при $S \square 5/2$

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

$\frac{d t_i}{d t} = \sqrt{1 - \frac{V_i^2}{c^2}}$; $T = \frac{1}{3k} \left\langle \frac{m_0^2 V^2}{N} \right\rangle = \frac{1}{3k} \sum_{i=1}^N V_i^2$

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

Температура и время – эмерджентные явления.

Спин – атрибут супервремени