

# 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  
 $\hat{P}, \hat{P}, \hat{P}, \hat{P}, \hat{J}, \hat{J}, \hat{J}, \hat{J}$   
 $\hat{P}, \hat{P}, \hat{P}, \hat{P}, \hat{J}, \hat{J}, \hat{J}, \hat{J}$

Генераторы:  $\hat{P}$  – трансляций,  $\hat{J}$  – вращений.

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

Алгебра суперсимметрии SUSY:

$$\begin{aligned} \hat{P}, \hat{Q} & \hat{P}, \hat{Q} \quad \hat{Q}, \hat{Q} \quad \hat{Q}, \hat{Q} \\ \hat{Q}, \hat{Q} & \quad \hat{Q}, \hat{Q} \quad 0; \end{aligned}$$

$\hat{Q}$  Бозон | Фермион ;  $\hat{Q}$  Фермион | Бозон

Пространство Минковского

$$\mathbb{R}^4 \text{ ct, } x, y, z \quad x^2$$

$$\mathbb{R}^4 \quad 0, 1, 2, 3 \quad x_i, \quad i, j \quad 1, 2, 3, 4;$$

Суперпространство Минковского  
 SUSY, SUGRA Superstring M-theory

# Суперматематика

## Алгебра Грассмана

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

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

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

Интеграл по Березину

$$\int_{G_n} f(x) dx_1 \wedge \dots \wedge dx_n = \int_{G_n} f(x) dx_1 \dots dx_n$$

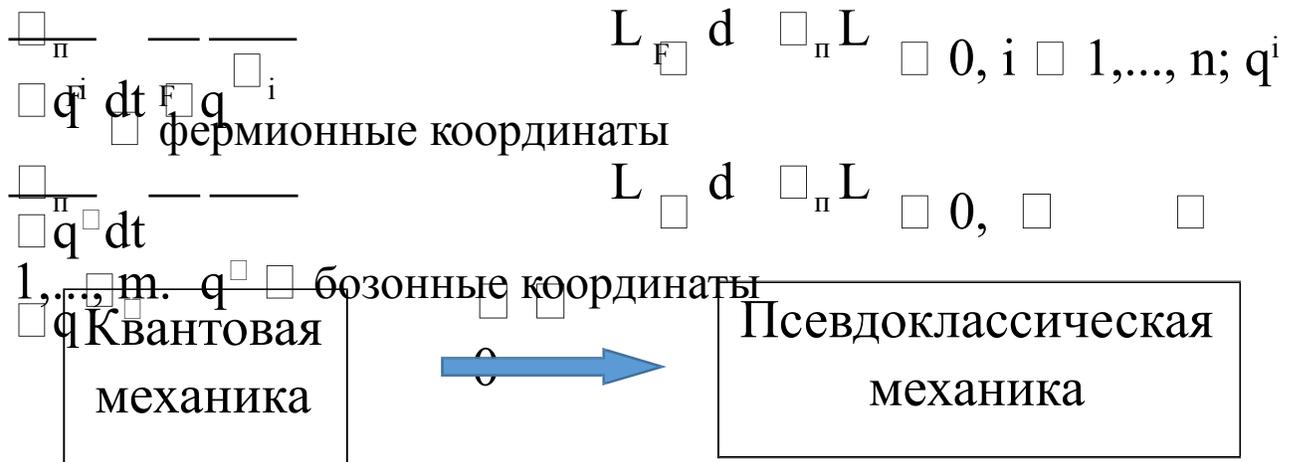
Алгебра

Березина

$$f(x) = \sum_{k=0}^n f_{i_1 \dots i_k} x^{i_1 \dots i_k} \quad x \in G_n$$

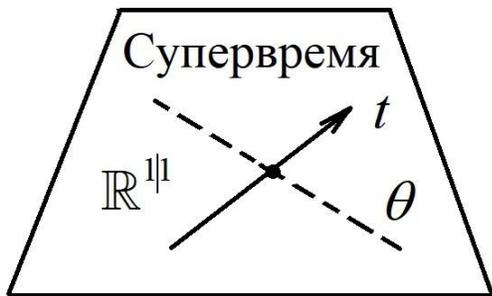
Чётные элементы - бозонные степени свободы,  
 Нечётные элементы - фермионные степени свободы.

# Псевдоклассическая механика над $B_{n,m}$



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

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



$t$  - четное (бозонное) время  
 $\theta$  - нечетное (грассманово) время

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

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

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

$$x(t) = x(t, \theta)$$

$$\hat{Q} = \frac{dS}{d\theta} = \dot{\theta} ; \quad \hat{H} = \frac{dT}{dt} = \frac{1}{2} \dot{x}^2 + i \dot{\theta}^2$$

$$Q, \bar{Q} \simeq 2Q \quad Q, \bar{Q} \simeq 2\bar{Q} \quad Q, \bar{Q} \simeq 0$$

Ковариантная производная:

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

# Псевдоклассическая модель электрона

Ди-Векиа, Равндел (1967)

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

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

$$L = \frac{1}{2} \left( \mathbf{x} \cdot \hat{D} \hat{D} \mathbf{x} + i \psi \dot{\psi} \right)$$

Уравнения Баргманна-Мишеля-Телегди в ЭМ-поле

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

$$S = \int dt \left( \mathbf{x} \cdot \mathbf{q} F - S \right) = \int dt \left( \mathbf{x} \cdot \mathbf{q} F - \frac{q}{x^2} \right)$$

Уравнения Матиссона-Папапетру в ОТО

$$S = \int dt \left( \mathbf{x} \cdot \mathbf{q} F - \frac{q}{x^2} \right) = \int dt \left( \mathbf{x} \cdot \mathbf{q} F - \frac{q}{x^2} \right)$$

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

$$S = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N ds_k d_k$$

$$E_{kl} = g_{kl} \sum_{i=1}^N D_i X_i D_i X_i g_{kl} DY_{kl}$$

$$E_{kl} = \sum_{i=1}^N (F(N) a^2) (F(N) a^2) (F(N) a^2) (F(N) a^2) (F(N) a^2)$$

Формула Барута

$N \geq 1$

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

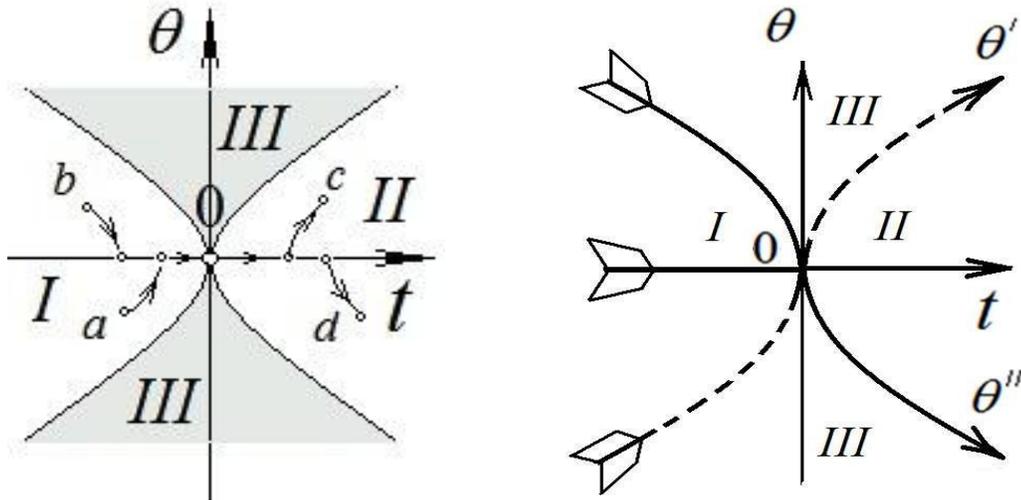
Частица	Расчетные значения	Экспериментальные значения
Электрон	0,510998910(13)	
Мюон	105,549	105.658367(4)
Таон	1786,155	1776,82(16)
u-кварк	0,685	1,8-3,0
d-кварк	6,46	4,5-5,3
s-кварк	141	90-100
c-кварк	1 336	1 250-1 300
b-кварк	4646	4 630-4 690
t-кварк	171 523	172 500-173 920
u-кварк	0,685	1,8-3,0

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

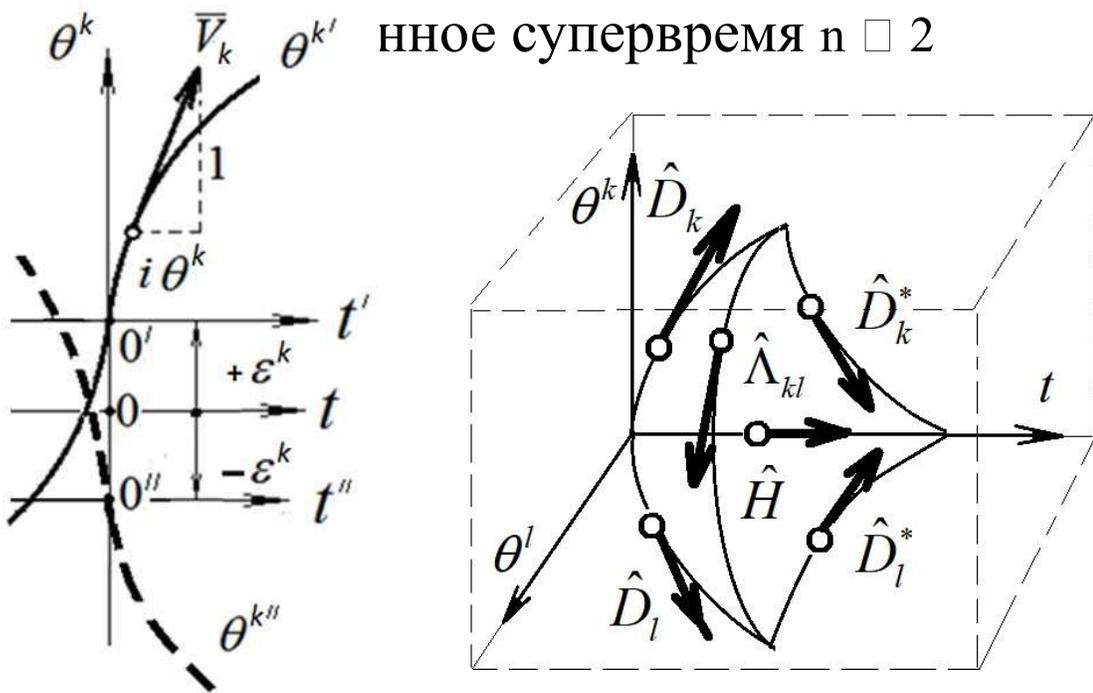


# Структура супервремени

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



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



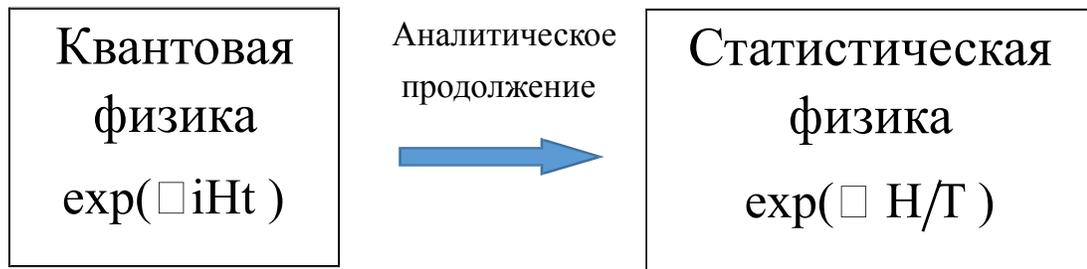
Акаузальные аномалии  $n \square 5$  для частиц при  $S \square 5/2$

# 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