Марковские чтения — 2016
ИЯИ РАН

Скульптор Ольга Артемьевна Домогацкая

В. А. Березин

Марков — мой Учитель: вчера, сегодня и ...

13 мая 2016 г.

Мне в жизни невероятно повезло
Я ученик Моисея Александровича

- Хочу заниматься теорией гравитации, но толком ничего не знаю
  П. К. Рашевский "Риманова геометрия и тензорный анализ"
  (до книги "Теория поля" Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица еще не дорос)
- Предыстория: 1967 г.
  Кафедра теоретической физики физфака МГУ —
  Д. Д. Иваненко
  К. П. Станюкович (книга, спецкурс)
  Л. Г. Деденко $\longrightarrow$ Я. Б. Зельдович (ГАИШ)
  Л. Г. Деденко $\longrightarrow$ М. А. Марков (ФИАН)
  1. Недавно занялся гравитацией
  2. Никогда не берет больше 2-х студентов
  3. Торопитесь!

До того мы Моисея Александровича не знали. Не знали его знаменитых работ:

- 1940: О "четырехмерно протяженном" электроне в релятивистской квантовой теории. ЖЭТФ, 10 (1940) 1311-1338
- 1947: О природе физического знания. Вопросы философии, 2 (1947) 140-176
- 1951: О нелокализуемых полях. ЖЭТФ, 21 (1951) 11-15
- 1953: О нелокальных полях и сложной природе "элементарных" частиц (динамически деформируемый формфактор), УФН, 51 (1953) 317-341; Динамически деформируемый формфактор элементарных частиц, ЖЭТФ, 25 (1953) 527-539
- 1955: К теории динамически деформируемого формфактора. ДАН СССР, 101 (1955) 51-54; On dynamically deformable formfactors in the theory of elementary particles. Nuovo Cim. Ser. X, Vol. 3, Suppl. (1956) 760-772; О систематике элементарных частиц. М.: Изд-во АН СССР (1955)

- 1957: Гипероны и K-мезоны. Физматгиз, 1958 - Серия "Современные проблемы физики"
- 1959: On the classification of fundamental particles. Proc. of VI Int. conf. on high energy physics. Rochester, Vol. 8, p.31 (1959)
  Модель Сакаты = модель Маркова-Сакаты.
- 1960: О современной форме атомизма (о понятии элементарной частицы). Вопросы философии, 3 (1960) 47-60
  О современной форме атомизма (о будущей теории элементарных частиц). Вопросы философии, 4 (1960) 125-135
- Нейтрино (1964)
  (перевод книжки на японский - японский студент из Новосибирска)
- Нейтринная деятельность.
- Поражает широта охвата. Глубина и оригинальность идей.

- 1965: Can the gravitational Field Prove Essential for the Theory of Elementary Particles? Progr. Theor. Phys. Suppl. Extra Number. Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa. (1965) 85–95.

  Вопрос Юкаве: Кто Вам ближе всех по духу и пониманию физики элементарных частиц?

  Ответ Юкавы: русский физик-теоретик Моисей Марков

- 1966: Элементарные частицы максимально больших масс (кварки, максимоны). ЖЭТФ, 51 (1966) 878–890

- Повторюсь: До этого мы Моисея Александровича не знали
  Это правильно, но про него я кое-что уже знал, хотя тогда, перед первой встречей, совершенно того не осознавал
- 1963 г. (мой 10-й класс). Д. Данин "Неизбежность странного мира"
  Вопрос: Что такое элементарная частица?
  Ответ: Динамически деформируемый формфактор
  Ничего не понятно, кроме слова "динамически".
  Впечатление в то время такое же, как и от выражения "Хорошо темперированный клавир" — знакомо только слово "хорошо", но это засело в голове
  Запало — полез в Энциклопедический словарь: Марков Моисей Александрович, советский физик-теоретик, член-корреспондент АН СССР
- И думать не мог, что через 5 лет...

1968 г.: история начинается

Рисунок — из книги "Ученые против войны" серии "Эврика М.: "Молодая гвардия" (1984). Художники Галина Николаевна Бойко и Игорь Наумович Шалито

- 1-я встреча
  ФИАН — А. А. Комар — семинар по средам
  После семинара — Валера — "Мы хотим брать у Вас научные консультации" — тел. (дом.!) — 135-10-45.
- 2-я встреча — через неделю — (дома!) — первое задание
  Ландау-Лифшиц "Теория поля"
  Далее встречи по средам (потом — по понедельникам)
- 1968 г.: "Я вас беру к себе"
- 1969 г.: "Я вас беру к себе в аспирантуру"

1970 г.: история продолжается

- Арзамас-2 (жена, ребенок — хорошая зарплата + хорошая квартира, и сразу). "Работать будете по специальности"
- Армия — Марков (генерал) — (семья, грудной ребенок)
- Первая публикация — препринт ОИЯИ — ТМФ
- Диплом — рецензент И. Д. Новиков (затем оппонент на защитах)
- Мой отказ от аспирантуры (семья, ребенок, нет жилья, нет зарплаты)
  М.А.: "Вы физику любите — значит, все будет хорошо" — ИЯИ — работа
- Аспирантура — экзамены (А. А. Комар, А. Лебедев, А. М. Балдин) — отказ от аспирантуры — Д. В. Скобельцын — ковер
- Судьба решена

1973 г.: история продолжается

- 1973 г. ИЯИ — квартира (Пахра)
- 1978 — 1995 гг. 18-летняя эпопея:
  Семинары "Квантовая теория гравитации" + конференции Кембридж — Москва — Кембридж (1989 — 1991 — 1994) + !00-летия А. А. Фридмана (1988)
- Маленькая дверь в железной стене
- "И запируем на просторе"
- Стивен Хокинг, познакомившись с Я. Б. Зельдовичем: "Я был уверен, что это — русские Бурбаки в физике"
- Мы не только знакомились друг с другом. Каждая конференция — пиршество науки
- Труды публикуются в "Plenum Press" (2-й Семинар) и в "World Scientific" (все остальные) — украдены в библиотеках
- 1995 г. 6-й и последний Семинар "Квантовая теория гравитации". Памяти Моисея Александровича Маркова

Маленькие истории

- 1-й Семинар — 1978 г.
  Сахаров — кураторы
  Эмблема — "Почему японец?" и "Почему голый?" — Федя Домогацкий — новая эмблема — трусы подлиннее, и уже не японец, а похоже на Сизифа
- 2-й Семинар — 1981 г.
  Английская (в основном) команда во главе со Стивеном Хокингом. Врач-индус, чемодан, трусы
- 4-й Семинар — 1987 г.
  Приезжает Джон Арчибальд Уилер — кураторы. Семинар в Теоротделе ИЯИ. "Мои доклады и лекции должны быть безупречны".

Последняя встреча — сентябрь 1994 г.

Мы с женой приезжаем на дачу в Перхушково.
Обсуждаем последнюю (как оказалось) работу Моисея Александровича "Размышляя о Вселенной".
После — кофе на веранде, вот этой самой

Моисей Александрович уже занес руку с "пером", чтобы что-то вставить в текст, но продолжает думать. Потрясающе точно!

Меня МА называл бернштейнианцем в науке:
"движение все — конечная цель — ничто"

Призывал: результат нужно "отоварить"
(выражение Д. Д. Иваненко)

- Идеи Моисей Александровича были всегда неожиданными, очень глубокими, часто намного опережали время

  Из письма Хокинга (о максимонах) "И вольно же Вам было выдвигать идеи, которые понадобятся через 20 лет!"

- Раз возникнув, идея уже не покидала его. Он чуть ли не при каждой нашей встрече ее высказывал в различных вариантах

  Любимое выражение — слова Катона Старшего:
  "И тем не менее я полагаю, что Карфаген должен быть разрушен"

История одной идеи

"Динамическая" остановка коллапса внутри электрически заряженной черной дыры Рейсснера-Нордстрема за счет рождения пар — очень красиво, но, ... (Карфаген)

- 1981 г. "Может ли вселенная при сжатии превратиться в мир де Ситтера?" Поначалу не верю (и не я один: Д. А. Киржниц)
  Через час — бегу звонить: получается!
  Но все равно — совершенно непонятно
  Доклад на 2-м Семинаре "Квантовая теория гравитации" — первое мое международное выступление
  Выступление в ГАИШе на семинаре А. Л. Зельманова.
  Предтеча идеи о максимально возможной плотности
- Постепенно приходит понимание: во всем "виноват" квантовый процесс рождения вещества
  Обратное влияние на метрику пространства-времени — требует классического (феноменологического) описания.
  Хойл и Нарликар — переопределенная система уравнений

Феноменологическое описание уже рожденных частиц — гидродинамика.
Нельзя пользоваться лагранжевыми переменными — нужны эйлеровы переменные

Валера Фролов — нужные ссылки в нужное время в нужном месте

- 1987 г. Статья "Необычная гидродинамика"
  (Г. Т. Зацепин, Вернер Израэль)
- Полностью обе задачи — о рождении заряженных пар внутри черной дыры и о космологическом рождении частиц с учетом обратного влияния на геометрию пространства-времени — не решены и по сей день
- Я вернулся к этой теме после долгого перерыва — влияние Моисея Александровича

Конформная гравитация и рождение частиц

(совместно с В. И. Докучаевым и Ю. Н. Ерошенко)

Рождение частиц — феноменология

Гидродинамика идеальной жидкости с переменным числом частиц. Лагранжево описание не годится $\Longrightarrow$ варьируется мировая линия без учета процесса ее возникновения $\Longrightarrow$ Эйлерово описание

Стандартное действие: (J. R. Ray 1972)

$$\begin{aligned} S_{\mathrm{hydro}} &= -\int \varepsilon(X,n)\sqrt{-g}\,dx + \int \lambda_0(u^\mu u_\mu - 1)\sqrt{-g}\,dx \\ &\quad + \int \lambda_2 X_{,\mu} u^\mu \sqrt{-g}\,dx + \int \lambda_1 (n u^\mu)_{;\mu}\sqrt{-g}\,dx \end{aligned}$$

$\varepsilon(X,n)$ — инвариантная плотность энергии
n — инвариантная плотность числа частиц
u^μ — четырех-скорость потока частиц
X — вспомогательная переменная (нумерация линий тока)
$\lambda_0,\ \lambda_1,\ \lambda_2$ — множители Лагранжа
$(nu^\mu)_{;\mu} = 0$ — закон сохранения числа частиц

Динамические переменные: $n,\ u^\mu,\ X$

Наше предложение: включить в формализм условие

$(nu^{\mu})_{;\mu} = \Phi(inv) \neq 0$ (V. A. Berezin 1987)

Фундаментальный результат для рождения частиц:

$\Phi = \beta C^2$ (Я. Б. Зельдович, А. А. Старобинский 1977)

$C^{\mu}{}_{\nu\lambda\sigma}$ — тензор Вейля

$$
\begin{aligned}
S_{\rm hydro} \;&=\; -\int \varepsilon(X, n)\sqrt{-g}\, dx + \int \lambda_0(u^{\mu} u_{\mu} - 1)\sqrt{-g}\, dx \\
&\quad + \int \lambda_2 X_{,\mu} u^{\mu}\sqrt{-g}\, dx + \int \lambda_1((nu^{\mu})_{;\mu} - \beta C^2)\sqrt{-g}\, dx
\end{aligned}
$$

λ_1 определено с точностью до аддитивной константы:

$\lambda_1 \to \lambda_1 + \gamma_0, \quad \gamma_0 = const$

$$\gamma_0 \int ((nu^{\mu})_{;\mu} - \beta C^2)\sqrt{-g}\, dx = \gamma_0 \int ((n\sqrt{-g}\, u^{\mu})_{,\mu} - \beta C^2\sqrt{-g})\, dx$$

$\to \quad -\gamma_0\beta \int C^2\sqrt{-g}\, dx \quad \to$ конформная гравитация Вейля

Конформная инвариантность — постулат

- "+" Дополнительная симметрия
  1. Рождение вселенной "из ничего"
     A.Vilenkin, Я.Б.Зельдович и Л.П.Грищук, S.W.Hawking...
  2. R. Penrose, G 't Hooft
- "−"
  1. Теория отвергнута — нет массивных частиц
     G. Weyl, A. Einstein 1921
  2. Но, в 1921 г. не был известен механизм Хиггса!

G 't Hooft 2014

$$g_{\mu\nu} = \Omega^2 \hat{g}_{\mu\nu}, \qquad \frac{\delta S_{\text{tot}}}{\delta \Omega} = 0 \quad \Rightarrow$$

- Конформный множитель Ω можно рассматривать как независимую переменную

$$S_{\mathrm{tot}} = S_{\mathrm{grav}} + S_{\mathrm{matter}}$$

По определению:

$$\delta S_{\mathrm{matter}} = \frac{1}{2}\int T_{\mu\nu}\sqrt{-g}\,\delta g^{\mu\nu}\,dx$$

$$\delta S_{\mathrm{matter}} = \frac{1}{2}\int \hat{T}_{\mu\nu}\sqrt{-\hat{g}}\,\delta \hat{g}^{\mu\nu}\,dx$$

Пусть

$$\delta g^{\mu\nu} = -\frac{2}{\Omega^3}\hat{g}^{\mu\nu}\delta\Omega = -\frac{2}{\Omega}g^{\mu\nu}\delta\Omega$$

Тогда, если

$$\frac{\delta S_{\mathrm{grav}}}{\delta\Omega} = 0 \quad \Rightarrow$$

$$0 = \delta S_{\mathrm{matter}} = -\int T_{\mu\nu}g^{\mu\nu}\frac{\delta\Omega}{\Omega}\sqrt{-g}\,dx \quad \Rightarrow \quad \mathrm{Tr}\,(T_{\mu\nu}) = 0$$

Пусть

$$\delta g^{\mu\nu} = \Omega^2\delta\hat{g}^{\mu\nu} \quad \Rightarrow \quad \hat{T}_{\mu\nu} = \Omega^2 T_{\mu\nu} \quad (\hat{T}^{\mu}_{\nu} = \Omega^4 T^{\mu}_{\nu},\ \hat{T}^{\mu\nu} = \Omega^6 T^{\mu\nu})$$

Какое поле рождает частицы?

- Простейший вариант — скалярное поле
  Принцип наименьшего действия в действии
  (частный случай — "бритва Оккама")

$$S_{\mathrm{scalar}} = \int \left(\frac{1}{2}\chi^{\mu}\chi_{\mu} - \frac{1}{2}m^2\chi^2 \right) \sqrt{-g}\, dx$$

- Конформное преобразование (стандартное):

$$\delta g^{\mu\nu} = \Omega^2 \delta \hat{g}^{\mu\nu}, \quad \chi = \frac{1}{\Omega}\hat{\chi} \quad \Rightarrow$$

$$S_{\mathrm{scalar}} = \int \left(\frac{1}{2}\hat{\chi}^{\mu}\hat{\chi}_{\mu} - \frac{1}{\Omega}\hat{\chi}_{\mu}\Omega^{\mu} + \frac{1}{2}\frac{\hat{\chi}^2}{\Omega^2}\Omega_{\mu}\Omega^{\mu} - \frac{1}{2}m^2\Omega^2\chi^2 \right) \sqrt{-g}\, dx$$

$$\chi_{\mu} = \chi_{,\mu} \quad \chi^{\mu} = g^{\mu\nu}\chi_{\nu} \quad \hat{\chi}^{\mu} = \hat{g}^{\mu\nu}\hat{\chi}_{\nu} \quad \Omega^{\mu} = g^{\mu\nu}\Omega_{\nu}$$

- Как сделать S_{scalar} конформно *ковариантным*?

Рецепт известен: добавить в лагранжиан $\frac{R}{12}\chi^2$
R — скалярная кривизна, построенная по метрике $g_{\mu\nu}$ $\Rightarrow$

Массивное скалярное поле χ

$$\begin{aligned} S_{\text{scalar}} &= \int \left(\frac{1}{2}\chi^{\mu}\chi_{\mu} + \frac{R}{12}\chi^2 - \frac{1}{2}m^2\chi^2 \right)\sqrt{-g}\,dx \\ &= \int \left(\frac{1}{2}\hat{\chi}^{\mu}\hat{\chi}_{\mu} + \frac{\hat{R}}{12}\chi^2 - \frac{1}{2}m^2\Omega^2\hat{\chi}^2 \right)\sqrt{-\hat{g}}\,dx \\ &\quad -\frac{1}{2}\int \left(\hat{\chi}^2 \frac{\Omega^{\lambda}}{\Omega} \right)_{|\lambda} \sqrt{-\hat{g}}\,dx \end{aligned}$$

Последний интеграл — поверхностный

- $m^2 = 0$ — все в порядке?
- Но! Правильный знак $\Longleftrightarrow$ неправильный знак
- Наш выбор:
  1. "Правильный" знак для $\hat{R}$: $-\frac{\hat{R}}{12}\hat{\chi}^2$
  2. "Неправильный" знак для кинетического члена: $-\frac{1}{2}\hat{\chi}^{\mu}\hat{\chi}_{\mu}$

"Объяснительная записка"

- Наше скалярное поле χ не является "настоящим" (фундаментальным), часть его — это уже рожденные частицы (феноменология!)
- А его остаток — это "вакуумная" часть, куда входит и конформная аномалия, ответственная за зарождение частиц
- "Неправильный" знак кинетического члена $\Longrightarrow$ отсутствие нижней энергетической границы (вспомним C-поле Хойла-Нарликара)
- Скалярное поле χ не является динамической переменной $\Longrightarrow$ по нему нет варьирования

Откуда поле χ знает о конформном преобразовании?

- Всегда можно выбрать $\hat{\chi} = \frac{1}{\ell}\varphi, \quad \varphi = \Omega$
  $(\chi = \frac{1}{\Omega}\hat{\chi},\ [\ell] = \frac{1}{[m]},\ \hbar = c = 1) \quad \Longrightarrow$

$$S_{\mathrm{scalar}} = -\frac{1}{\ell^2}\int\left(\frac{1}{2}\varphi^{\mu}\varphi_{\mu} + \frac{\hat{R}}{12}\varphi^2 - \frac{1}{2\ell^2}m^2\varphi^4\right)\sqrt{-\hat{g}}\,dx$$

- Появилось φ^4! $\quad (d = dim\,\mathcal{M} = 4)$!
- Конформная *ковариантность*
  $\varphi(new) = \tilde{\Omega}\varphi(old), \quad \sqrt{-g(old)} = \tilde{\Omega}^4\sqrt{-g(new)}$
- Космологический член или квинтэссенция: $\quad 3m^2\varphi^2 = \Lambda$
- Независимое варьирование по φ и $\hat{g}^{\mu\nu}$
- Тензор энергии-импульса

$$\hat{T}^{\mathrm{scalar}}_{\mu\nu} = -\frac{1}{\ell^2}\varphi_{\mu}\varphi_{\mu} + \frac{1}{2\ell^2}\varphi^{\sigma}\varphi_{\sigma}\hat{g}_{\mu\nu} - \frac{1}{2\ell^2}m^2\varphi^4\hat{g}_{\mu\nu}$$
$$-\frac{1}{6\ell^2}\left(\varphi^2(\hat{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\hat{g}_{\mu\nu}\hat{R}) - 2\left((\varphi\varphi_{\nu})_{|\mu} - (\varphi\varphi^{\sigma})_{|\sigma}\,\hat{g}_{\mu\nu}\right)\right)$$

$$\mathrm{Tr}\; T^{\mathrm{scalar}}_{\mu\nu} = -\frac{1}{\ell^2}\varphi\varphi^{\sigma}_{|\sigma} + \frac{1}{6\ell^2}\hat{R}\varphi^2 - \frac{2}{\ell^2}m^2\varphi^4$$

"Грамотные" динамические переменные для гидродинамического действия

$$(nu^\mu)_{;\mu} = \beta C^2 \quad \Rightarrow \quad C^2\sqrt{-g} = \hat{C}^2\sqrt{-\hat{g}}, \quad \sqrt{-g} = \varphi^4\sqrt{-\hat{g}}$$

$$ds^2 = \varphi^2 d\hat{s}^2 \quad \Rightarrow \quad u^\mu = \frac{1}{\varphi}\hat{u}^\mu, \quad \hat{u}^\mu\hat{u}_\mu = 1, \quad u_\mu = \varphi\hat{u}_\mu$$

$$(nu^\mu)_{;\mu}\sqrt{-g} = (nu^\mu\sqrt{-g})_{,\mu} = (\varphi^3 nu^\mu\sqrt{-\hat{g}})_{,\mu} \quad \Rightarrow$$

$$\hat{n} = n\varphi^3\sqrt{-\hat{g}} \quad \Rightarrow \quad N = \int \hat{n}\, d^3x - inv$$

$$\begin{aligned} S_{\text{hydro}} \;&=\; -\int \varepsilon(X,n)\sqrt{-g}\,dx + \int \lambda_0(u^\mu u_\mu - 1)\sqrt{-g}\,dx \\ &+ \int \lambda_2 X_{,\mu}u^\mu\sqrt{-g}\,dx + \int \lambda_1 (nu^\mu)_{;\mu}\sqrt{-g}\,dx \quad \Longrightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{hydro}} \;&=\; -\int \varepsilon\left(X, \frac{\hat{n}}{\varphi^3\sqrt{-\hat{g}}}\right)\varphi^4\sqrt{-\hat{g}}\,dx + \int \lambda_0(\hat{u}^\mu\hat{u}_\mu - 1)\varphi^4\sqrt{-\hat{g}}\,dx \\ &+ \int \lambda_2 X_{,\mu}\hat{u}^\mu\varphi^3\sqrt{-\hat{g}}\,dx + \int \lambda_1\left((\hat{n}\hat{u}^\mu)_{,\mu} - \beta\hat{C}^2\sqrt{-\hat{g}}\right)dx \end{aligned}$$

$$\varepsilon + p = n\,\frac{\partial \varepsilon}{\partial n} \qquad \Longrightarrow$$

$$\hat{T}^{\mathrm{hydro}}_{\mu\nu} = (\varepsilon + p)\varphi^4 \hat{u}_\mu \hat{u}_\nu - p\varphi^4 \hat{g}_{\mu\nu} - 4\beta\varphi^2 \left((\lambda_1 \hat{C}_{\mu\sigma\nu\lambda})^{|\lambda|\sigma} + \frac{1}{2}\lambda_1 \hat{C}_{\mu\lambda\nu\sigma}\hat{R}^{\lambda\sigma} \right)$$

$$\mathrm{Tr}\; T^{\mathrm{hydro}}_{\mu\nu} = (\varepsilon - 3p)\varphi^4$$

$$\mathrm{Tr}\; T^{\mathrm{total}}_{\mu\nu} = -\frac{1}{\ell^2}\varphi\varphi^{\sigma}_{\;|\sigma} + \frac{1}{6\ell^2}\hat{R}\varphi^2 - \frac{2}{\ell^2}m^2\varphi^4 + (\varepsilon - 3p)\varphi^4$$

- Результат варьирования по φ: $\frac{\delta S_{\mathrm{total}}}{\delta\varphi} = 0 \quad \Longrightarrow$

$$\frac{1}{\ell^2}\left(\varphi^{\sigma}{}_{|\sigma} - \frac{1}{6}\hat{R}\varphi + 2m^2\varphi^3\right) + (\varepsilon - 3p)\varphi^3 = 0$$

Как и должно быть!

(продолжение следует)

Всем спасибо!