

① А, Т, Ф. От гравитации к космологии

● Древняя история: ~1605 первые опыты Галилея

1609-1619 законы Кеплера

- 1632: "Диалог..." (относит., инерция?)
- 1638: "Беседы..." (своб. падение, сложение скоростей)

1637-1644 Декарт (инерция, аналит. геом., космогония - Эфир... ДМ? ДБ?)

1685. Ньютон: гравит.  $\sim \frac{1}{r^2}$

1687 (Всемир. тягот.)

- 1798 Кавендиш - проверка
  - 1846 Нептун - проверка
  - 1896 Эдвин Хаббл
  - 1960 Дикке → Бразинский..)
- [Сегодня ждем новые экз.!] по проверке на малых расст.

● Начало XX в: после спец. Т. Относит. попытки релятив. гравит.

1912: Нордстрём (скалярн. грав.)

● 1915-1917 ОТО Эйнштейна!  
шварцшильд: открытие 'В.М' (черные дыры) (Эйнштейн) (Ситтер)

1917: Статист. Вселенная (с Л-метр.)

● '22-'24 Фридман - расшир. Вселенная  
↳ отказ Эйншт. от  $\Lambda$

1924 - открытие других Галактик

● 1927-29 Расширение  $v = H \cdot r$  } Хаббл  
(соврем. знат.  $H = (73 \pm 3) \text{ км/с. Мпк}$ )

● 1946 Горячая Вселенная Гамова  
..... новые инструменты для наблюд.

1951 1/2 Радиогалактика: Лебедь А

● 1965 - реликт. излучение (Пензиас и Вилсон)



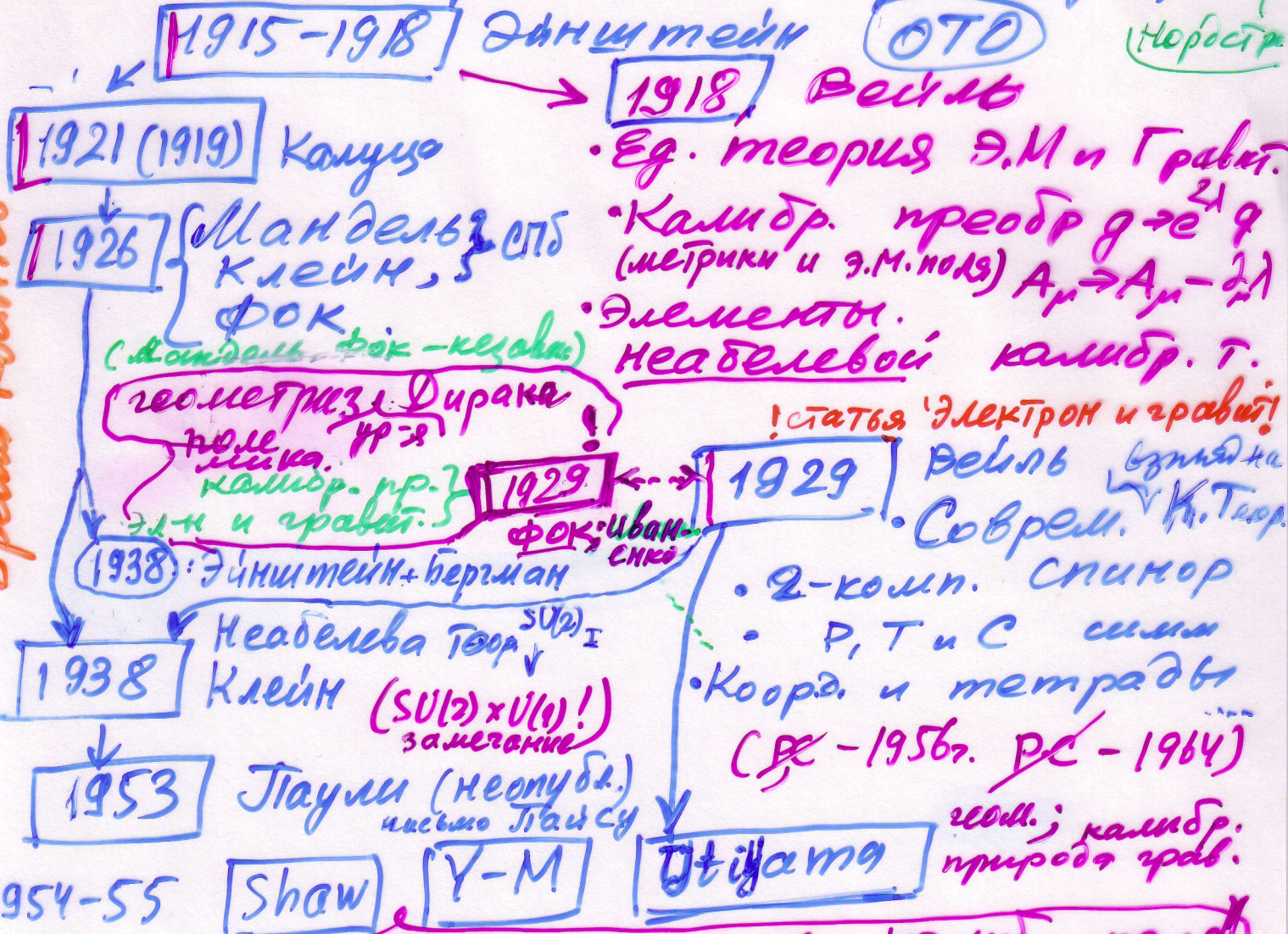
2

# Калибровые теории (генезис)

- Древняя история: ~1820 Эрстед, Ампер, ... (1785 Кулон)
- 1830-1852 Фарадей (э.-м. явл., поле)
- 1855-1864 Максвелл ('скрыто' калибровые)   
 ↳ Treatise of El. and Magn. теория, э.-м. в.
- 1885-1895 Герц, Хевисайд (сильн. ур-в)
- 1900 первое изучение квантов (Планк) появи
- 1905 фотоэфф. и т.д. Эйнштейн.

• Еще одно 'скрыто'-калибр. Теория

Время Квантов



- проблема массы калибр. поля!
- 1957-1967 Швингер, Глауби, ... W и др. (промежут. 2030 МВ)
- 1964 Хиггс и спонт. нар. (см. Тр. 1961 Н.Н.Б. Salam...)
- 1964-1966 кварки и др. функ. вещи в КТП.



3

● КТП после ~1965 } 'перелом' в космологии и в Ф. Чагм; Фок

● Начало КТП ~ 30е годы (Дирак, Гайзенберг, Паули 46-56 лет. разраб. КЭД (Швингер, Фейнман, (объясн. Лэндсберг) Томонага, Дайсон, Боголюбов, ...)

● Затем - попытки применить КТП к гравитации и поиски альтернатив (сомнения во вкнутр неперт. КЭД) (без т.в.) подходов.

● Квантование калибр. теорий: 1963 Фейнман '67 Фаддеев, Попов; де Витт

● Параллельно: из альтер. подходов - DPM 1968; Венециано + ... → струны, D=26 гравитон!

Постепенное осознание, что это - возврат к калибр. идеям!

● Возрождение КТП: 1970 GIM и возм. ренко

1967 Вайнберг; Салам, Чоу, Глэшоу SU(2) x U(1) (NB: 1967 Сахаров - бар. асимм.)

1971 D-во перенорм. EW (т Хоопт, Вайт. Славнов, Тэблер

1971: начало суперсимм. (Гольдстоун, Акунов '72)

1972-74 Весс-Зумино; Шерк, Шварц, Рамон Суперсимм. в струнах супергравитация ...

'73-'74 SU(3)<sub>c</sub> x SU(2)<sub>w</sub> x U(1)<sub>e</sub> и КХД

См. лекции на этой неделе

идея асимпт. свободы и конфайнмента (freedom vs. confinement) FRE CONF. EDOM

Интенсивное развитие приложений eN → O<sub>1</sub> e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> → O<sub>2</sub> и т.д. к экпер.



④ } От космич. лучей к ускорителю  
и переход к астрофиз. наблюдени-  
ям.

- 1912-'14 открытие косм. лучей
- '23 - '24 Р. Милликен (полюс, Терлин)
- ~'29 Скобельцин - измер. энергии ливни.
- ~32 камера Вилсона, набл.  $e^+$
- 37 набл. мюона (принято за  $\pi$ )
- 47 открытие  $\pi^+$  в фотод.

'46 - '47 переход на ускорители

см. п-и  
и.н. Мещков

- синхротрон. ~380 MeV ( $\alpha$ )
- мин. ускор. (p) в Беркли и т.д.
- BNL
- 1950  $\pi^0$  и  $\Delta$ -резонансы
- 'V'-части

с 1952 ↓ 'Поток' частиц на ускор!  
открытие <sup>новых</sup>  $\nu$  частиц (чирезонаков)

1961'..... Спектроскопия адронов

- 1957  $P, C$  несохранение (попытки иск. калибр.) **SU(3)**
- 1964  $CP$  - несохранение → (Барман идеи! асимм!)
- 1973 Открытие нейтр. токов. (триумф. Теория!) (предказ. W-S)
- 1974 Открытие  $J/\psi$  (Charм) (GIM)
- 1983 Открытие  $W^\pm$  и  $Z_0$  (GIM!)

Комиссия XX - наблюд. в космосе (окончат. подг. EW-)



5

# Современность: что имеем?

123 - теория

• Есть канон. т.  $SU(3)_c \times SU(2)_w \times U(1)_e$

! асимпт. свобода + спонт. нар. сим.  
Возм. описыв. вз. частиц до  
энергии  $E \sim M_P \sim 10^{19} \text{ GeV}$  (ГэВ)

• 1-2-3 теория - не посл. слово

(отв. не на все вопросы; есть

то, что не укладывает в теорию  $\nu, DM, DE, \dots$ )

Массы?  
Эн. вак?  
.....

• Есть GUT ( $SU(5)$  и др.)  $\leftarrow (\sim 10^{15} \text{ GeV})$   
есть суперсимм. объедин.

• суперструны (предсказ. гравит.  
объедин. с ост. вз.; суперсимм.  
дополнит. измерения пр-ва)

$M_P \sim 10^{19}$

Но!  $\sim 10^{500}$  возможных способов  
компактиф. из  $d=10 \rightarrow d=4$

Вкл. ГРАВ.

\* Есть и альтернативные теории объедин.

• Возможности эксперим. на ускорит.  
скоро будут ИСЧЕРПАНЫ

LHC  $\sim 10^4 \text{ GeV}$  (сист. Ц.Масс)

при соврем. технолог. Ускорит.  
на Земле  $E_{cm} < 10^7 \text{ GeV}$  (это макс.  
Эн. косм. лучей)

Ускорители в космосе?

? Космич. лучи: энергия до  $10^7 \text{ ГэВ}$ ,  
но очень малые (нигтошные) потоки!



5

# Современность: что имеем?

123 - теория

• Есть канон. т.  $SU(3)_c \times SU(2)_w \times U(1)_e$

! асимпт. свобода + спонт. нар. сим.  
Возм. описыв. вз. частиц до  
энергии  $E \sim M_P \sim 10^{19}$  GeV (ГэВ)

• 1-2-3 теория - не посл. слово

(отв. не на все вопросы; есть

то, что не укладывает в теорию  $\nu, DM, DE, \dots$ )

Массы?  
Эн. вак?  
.....

• Есть GUT ( $SU(5)$  и др.)  $\leftarrow (\sim 10^{15}$  GeV)  
есть суперсимм. объедин.

• суперструны (предсказ. гравит.

объедин. с ост. вз.; суперсимм.,  
дополнит. измерения пр-ва)

Но!  $\sim 10^{500}$  возможных способов  
компактиф. из  $d=10 \rightarrow d=4$

\* Есть и альтернативные теории объедин.

$M_P \sim 10^{19}$

Вкл. ГРАВ.

• Возможности эксперим. на ускорит.  
скоро будут ИСЧЕРПАНЫ

LHC  $\sim 10^4$  GeV (сист. Ц.Масс)

при соврем. технолог. Ускорит.  
на Земле  $E_{cm} < 10^7$  GeV (это макс.  
Эн. косм. лучей)

Ускорители в космосе?

? Космич. лучи: энергия до  $10^7$  ГэВ,  
но очень малые (нигтошные) потоки!



6

(косм. лучи, спутники...)  
телескопы

• Новые данные - из космоса!

Некот. теории предсказывали:

Ищали: монополи, аксионы, гравитино, ... пока не нашли! ничего из предска

Найдены: ~26% темной материи (не предсказаны) ~70% темной энергии

• Астрон. наблюдения + космологич. модели

Вселенная - СЕРЬЕЗНАЯ (м.б. единственная) лаборатория для прямой проверки GUT и суперструн.

• Техника наблюдений быстро развив мощные телескопы на спутниках радиоастрономия, .....

Старобини Гут. Лигде

• Многие проблемы теории горячей Вселенной решены в усоверш. теориях инфляции

• Важнейшие нерешенные проблемы космологии связаны с теорией материи и гравит. особенно, проблема вакуума и размерности пр-ва.

LHC - надежды что-то узнать!  
ЧТО? (Хиггс, Супер, .....?)