

**Поиск  
новой заряженной частицы в диапазоне  
массы 2 – 140 МэВ.**

**М.Х.Аникина, В.А.Никитин, В.С.Рихвицкий.**



## Аннотация.

Предлагается закономерность распределения масс лептонов  $e$ ,  $\mu$ ,  $\tau$ , указывающая на возможность существования нового состояния («тяжёлого» электрона) с массой  $\sim 8$  МэВ. Для его поиска просмотрено  $\sim 55$  тыс. стереофотографий с 2-м пропановой пузырьковой камеры. Камера экспонирована в пучке протонов 10 ГэВ на Синхрофазотроне ОИЯИ. Анализируются события конверсии  $\gamma$  кванта в пару заряженных частиц. Найдены 47 аномальных событий, в которых одна частица пары останавливается в объёме камеры, имеет в конце пробега повышенную плотность трека и при идентификации обнаруживает массу  $\sim 8$  МэВ. При этом среднее значение массы новой частицы оставляет  $(8,6 \pm 3,0)$  МэВ.

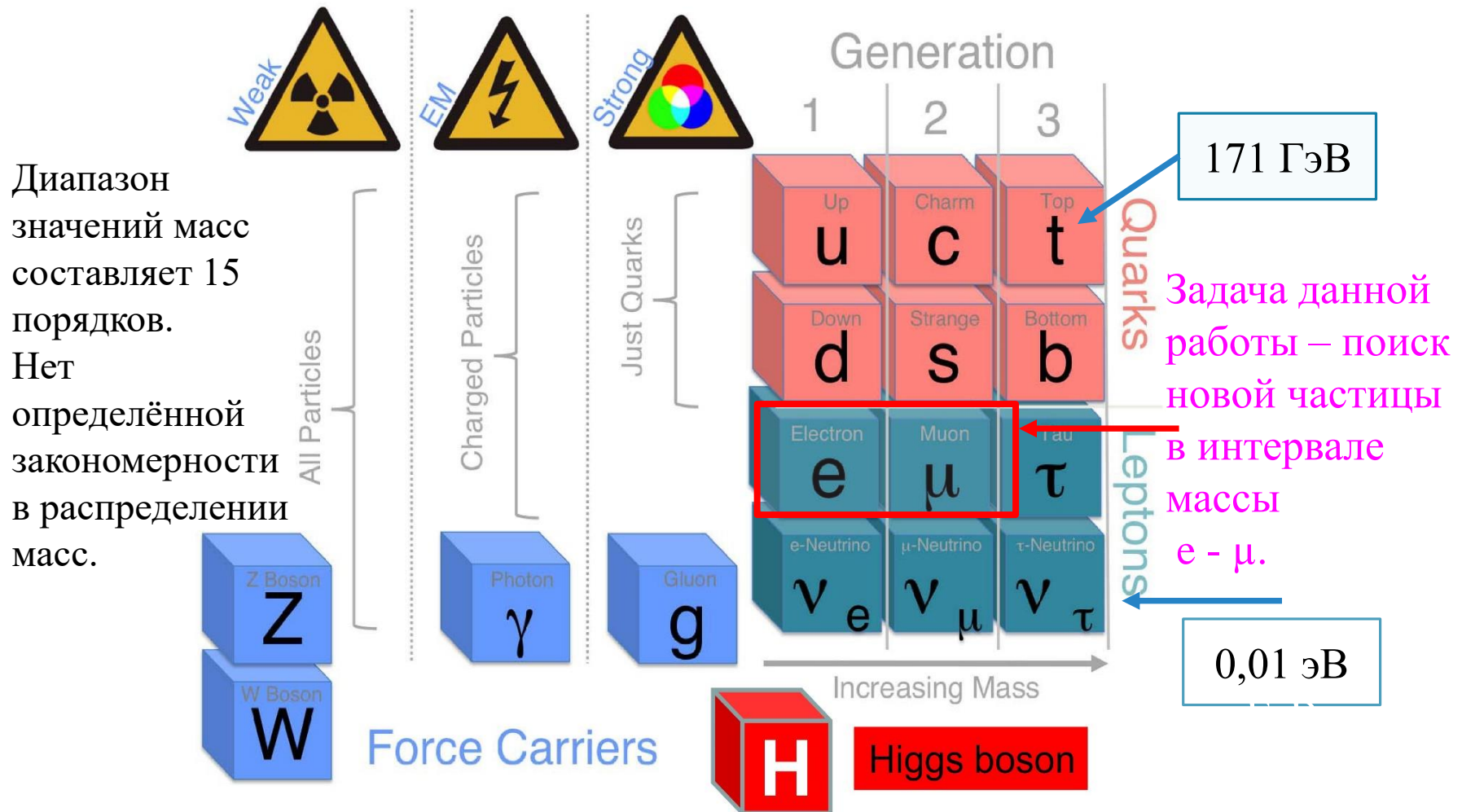
# Поиск новых лептонов. Литература.

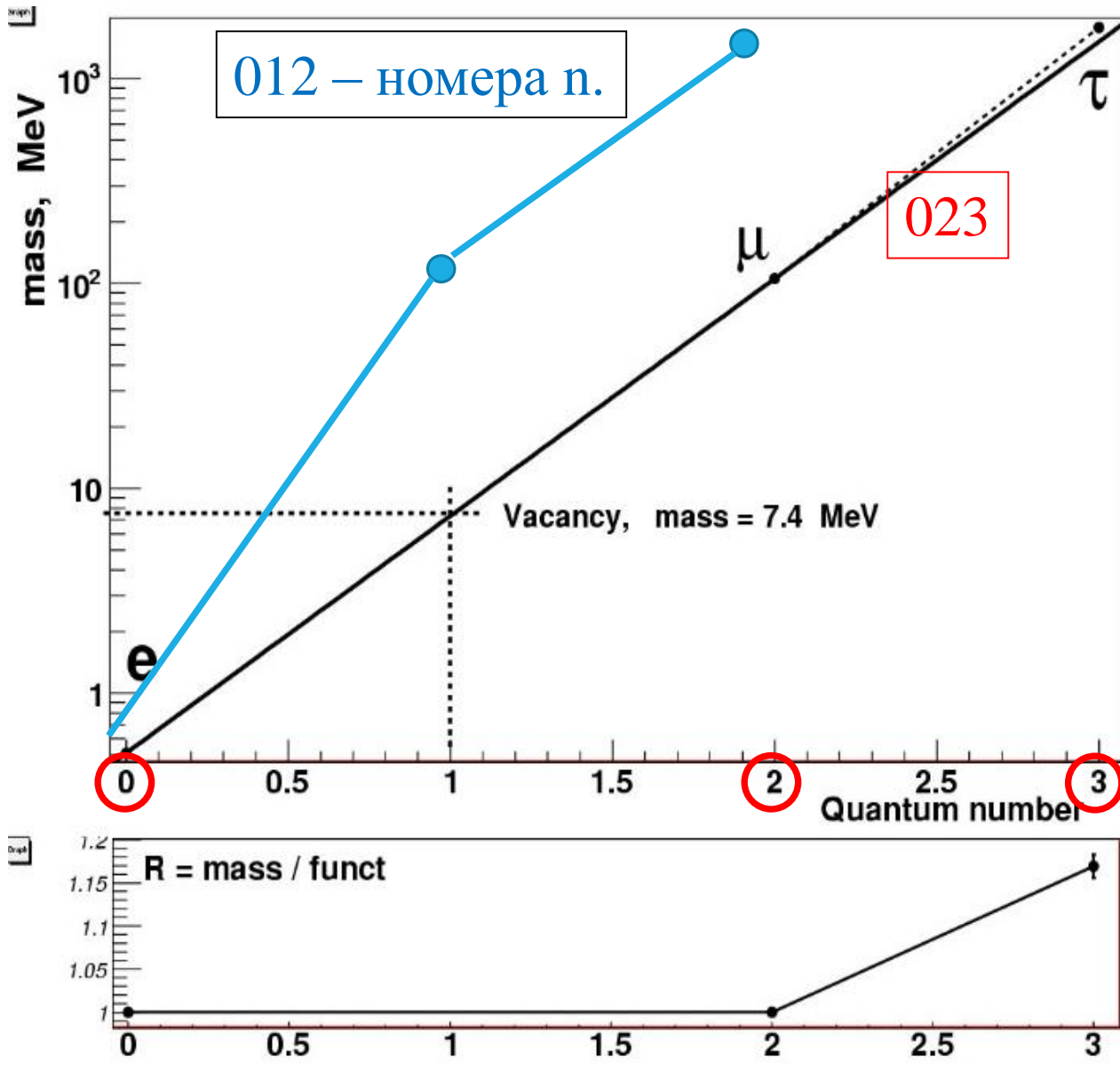
1. А.С. Белоусов и др. Поиск частиц с массами от 6 до 25 электронных масс. ЖЭТФ, т. 37, вып. 6(12), стр. 1613, 1959. ФИАН. Пучок  $\gamma$  265 МэВ.
2. A.N. Gorbunov et al. On the existence of particles of mass  $2m_e - 25m_e$ . Sov. Phys. JETP, vol. 11, numb. 1, p. 51, July, 1960. Пучок  $\gamma$  93 МэВ.
3. D. H. Coward et al. Search for charged particles with rest mass between  $e, \mu$ . Phys. Rev., vol. 131, numb. 4, 15 August 1963, p.1783. Пучок  $p$  300 МэВ
4. A. Barna et al. Search for New Particles Produced by High-Energy Photons. Phys. Rev., vol. 173, numb. 5, 25 September, 1968. Искомая асса  $> \text{mass } \mu$ ,
5. С.В. Головкин и др. Поиск тяжёлых квазистабильных лептонов, образующихся в нуклон-нуклонных взаимодействиях. Препринт ИФВЭ, СЭФ 72-58.
6. Ю.Б. Бушнин и др. Поиск тяжёлых квазистабильных лептонов. Препринт ИФВЭ, СЭФ 72-116.
7. Определение числа нейтрино по ширине распада  $Z^0$  бозона. К.Hagiwara et al. Particle data group. Phys. Rev. D66, 010001(R), (2002).



# Элементарные частицы

Стандартная модель





## Спектр масс лептонов $e, \mu, \tau$ .

Сплошная линия -  
график функции  
 $m(n)$ .

$$m(n) = C \cdot \exp(n \cdot b)$$

Присваиваем  
лептонам  $e, \mu, \tau$   
номера:

$e - 0, \mu - 2, \tau - 3.$

В этом варианте  
получаем линейную  
функцию

$$\ln m(n) =$$

$$c + b \times n.$$

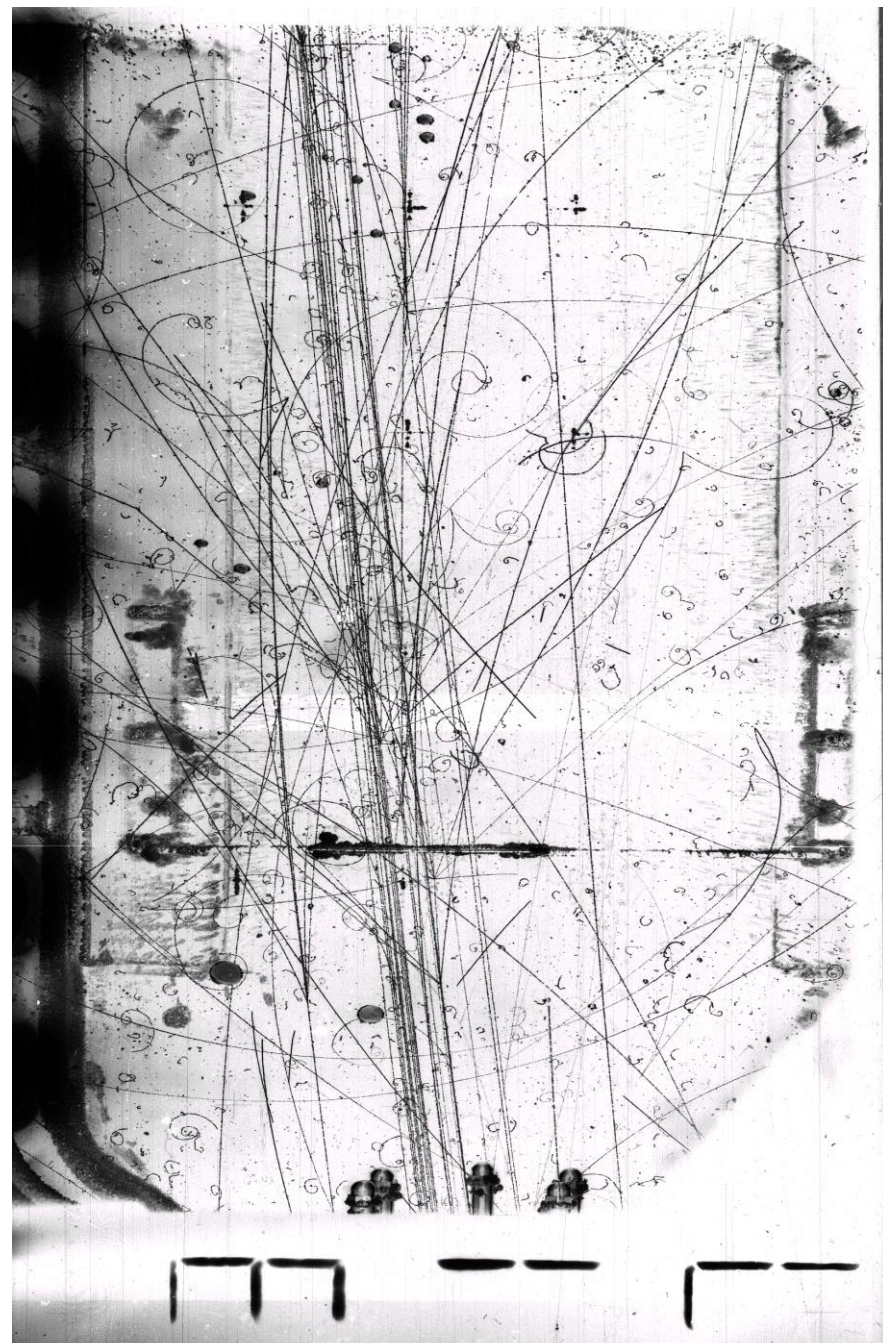
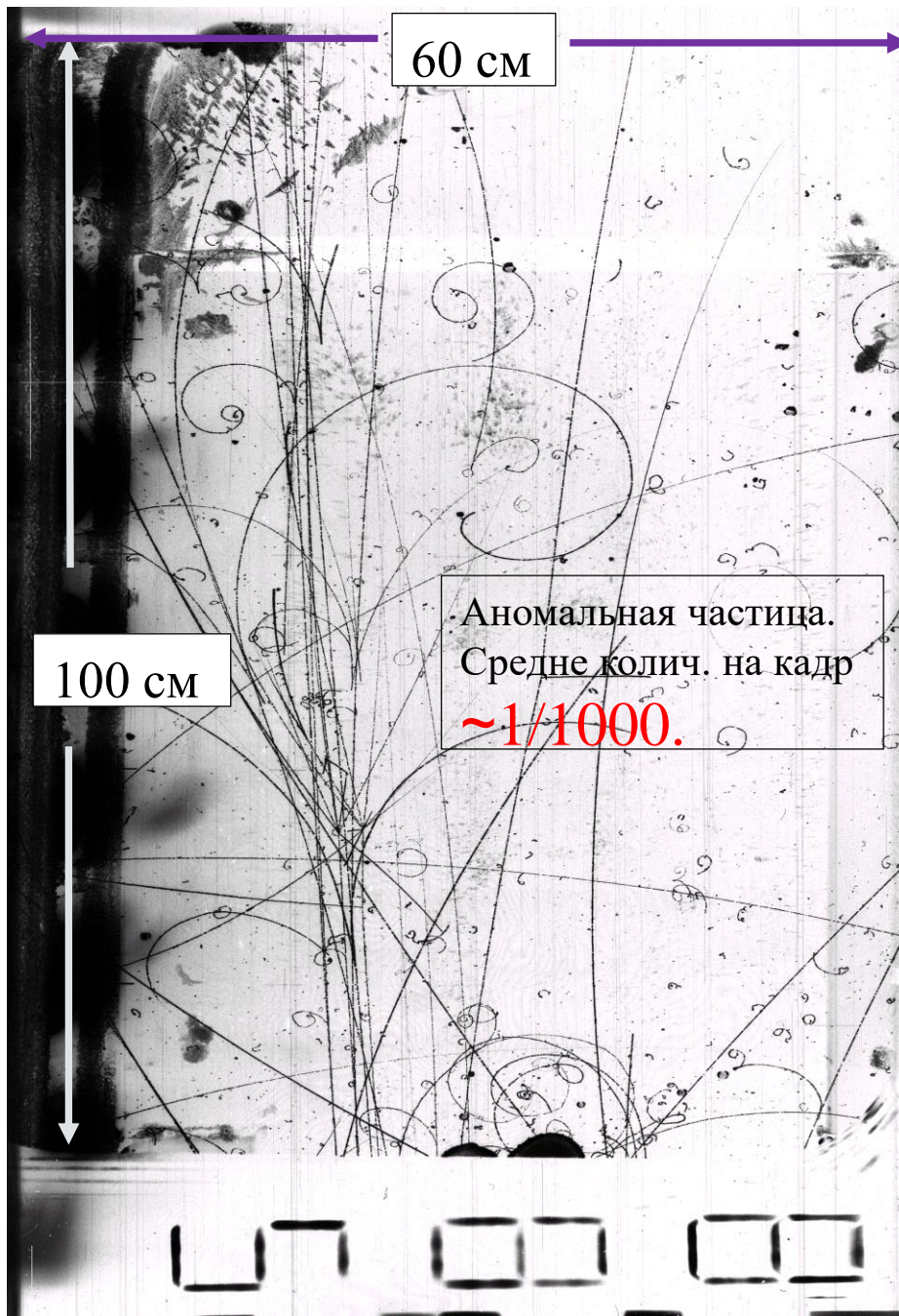
Имеется вакансия при  $n = 1$ .  $m \approx 8$  МэВ.

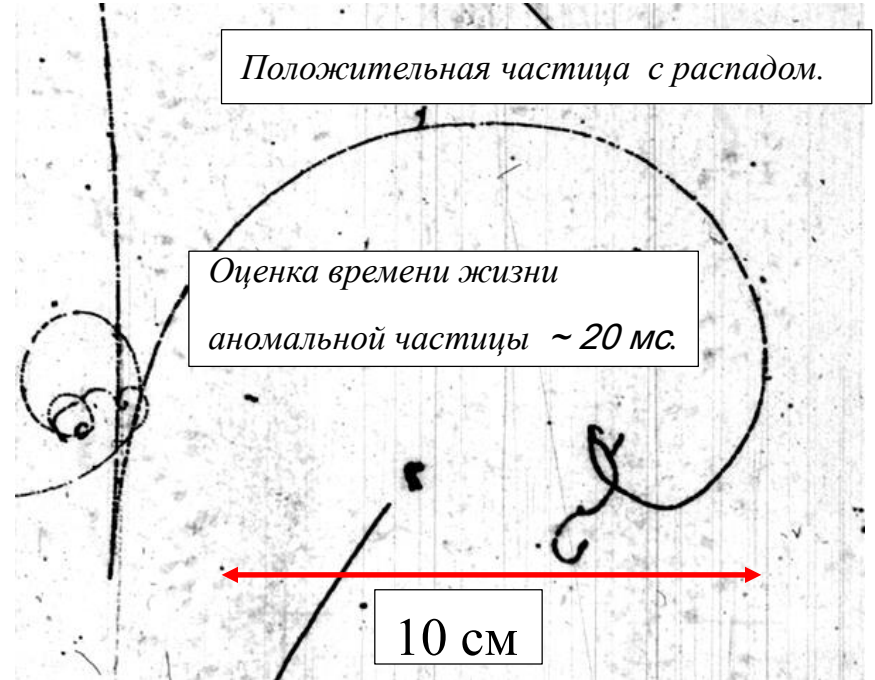
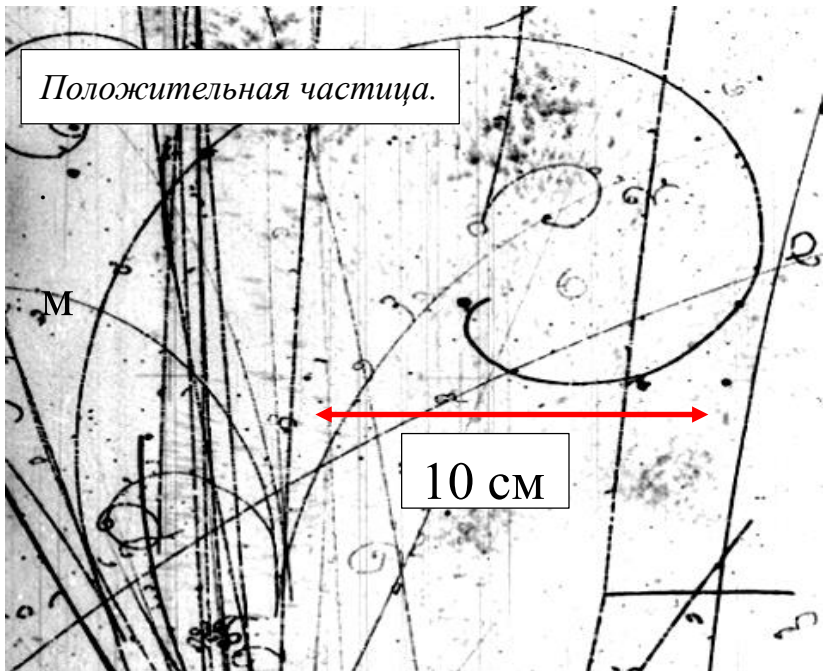
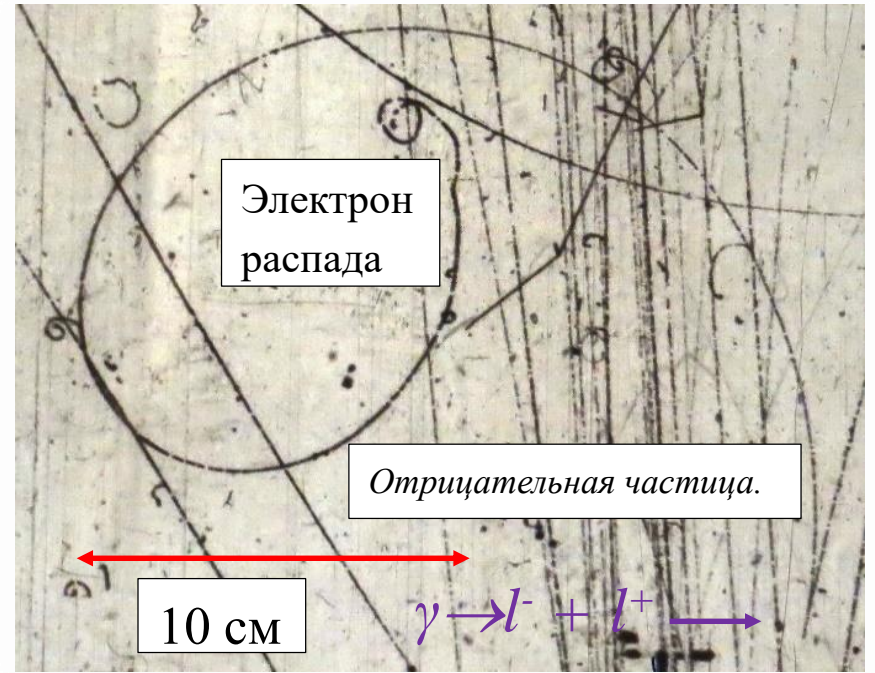
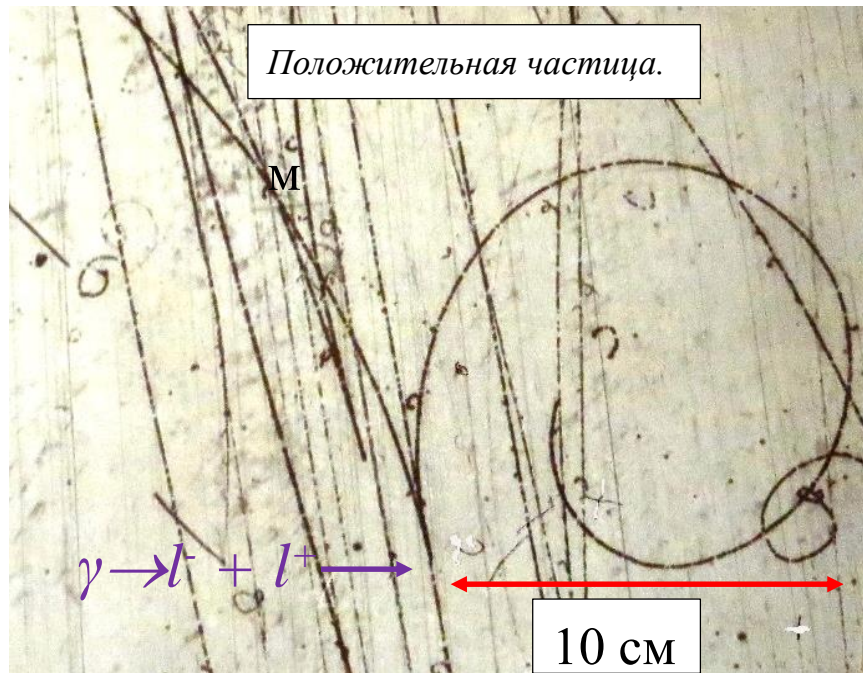
Возникла задача поиска заряженной частицы с массой  $\sim 8$  МэВ.

Поиск новой частицы выполнен на фотоматериале 2-м пропановой пузырьковой камеры. В 60-е годы прошлого столетия камера была облучена на Синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ протонами с энергией 10 ГэВ. Размер области пузырьковой камеры, доступный наблюдению в стереолупу и на просмотрном столе, составляет  $105 \times 60 \times 40$  см<sup>3</sup>. Камера находится в магнитном поле напряжённостью  $B \approx 1,5$  Тл.

Плотность жидкого пропана  $0,43$  г/см<sup>3</sup>. Радиационная длина пропана  $\lambda_{rad} = 104$  см. При просмотре фотоматериала отбираются события рождения пар частиц гамма квантами  $\gamma \rightarrow l + l$ , в которых хотя бы одна частица останавливается в просматриваемом объёме и имеет повышенное почернение вблизи последней видимой точки. Ниже показаны четыре такие типичные события. Трек вблизи точки остановки обнаруживает повышенную плотность, что свидетельствует об увеличении ионизации частицы в конце пробега.

# Типичные фото пропановой камеры.







Особенность распада:  
положительная частица  
переходит в отрицательную. ??

+

-



1 см



## Трек оцифровывается

и на нём измеряются координаты  $\sim 40$  точек в трёхмерном пространстве. Траектория делится на несколько интервалов. На каждом интервале вычисляется радиус кривизны  $R_{exp}(l)$  в каждой точке в плоскости нормальной к вектору магнитного поля . Здесь  $l$  – остаточный пробег. Радиус испытывает значительные флуктуации из-за рассеяния частицы на пропане. Поэтому для вычисления импульса используется полуэмпирическая функция  $R(l)$  , аппроксимирующая эксп. данные  $R_{exp}(l)$ . Модуль импульса частицы вычисляется по формуле  $p = k \cdot B \cdot R(l) / \cos(\theta)$ , где  $\theta$  - угол между вектором, касательным к треку, и плоскостью камеры (глубинный угол).

Масса частицы  $m$  вычисляется в каждой точке траектории путём решения уравнения

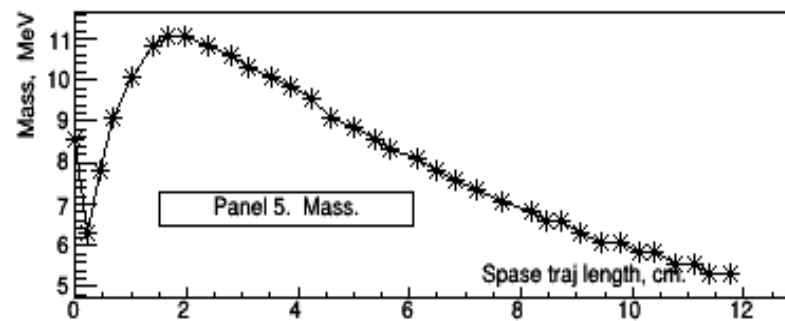
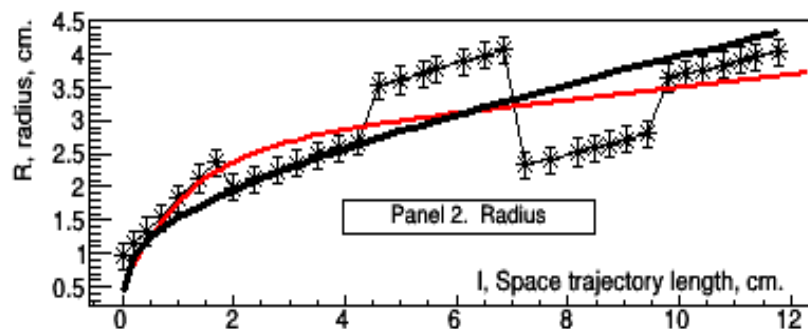
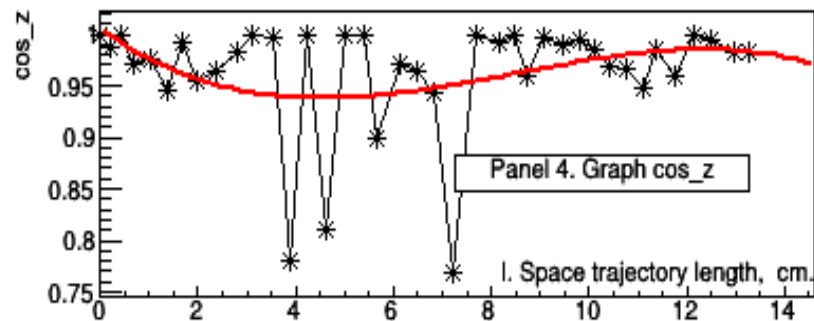
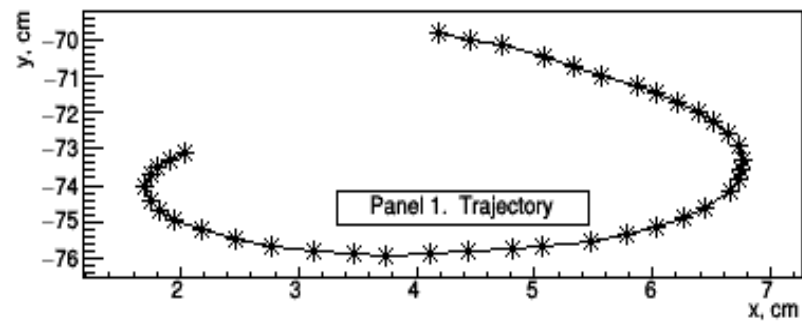
$$T = \sqrt{p^2 + m^2} - m. \quad (2)$$

Здесь  $T$  кинетическая энергия, определяемая по пробегу  $l$ .

$$l(T, m) = c1 \frac{T^2}{T^{c2} + m} \quad (3)$$

$$c1 \approx (1,15 + 0.006 * m) = 1 / (dT/dl)_{min}$$
$$c2 = 1,08$$

Алгоритм определения массы частиц проверяется на моделированных и экспериментально измеренных событиях электронов и мюонов .



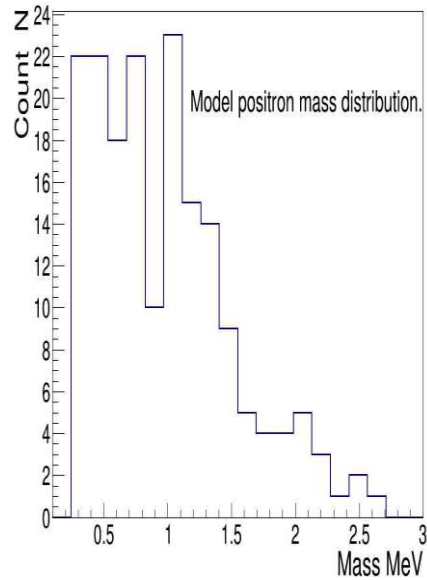
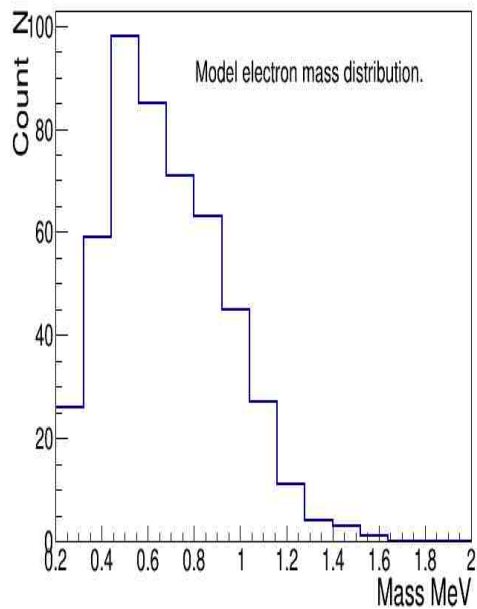
Panel 3. Extra range.  
 Track pnt numb.  $j_1=3, j_2=8$ , Mass.  $m_{3_8}=9.8$  MeV  
 Ranges.  $l_1=0.7, l_2=2.4$  cm. Extra range  $l_{3_8}=-0.3$  cm  
  
 Track pnt numb.  $j_3=5, j_4=12$ , Mass.  $m_{4_{12}}=6.8$  MeV  
 Ranges.  $l_3=1.4, l_4=3.9$  cm. Extra range  $l_{5_{12}}=0.8$  cm

Panel 6. Results. Event 911\_034\_t01.txt.  
 Point numb.  $n=40$ , Analys int.  $k=7$ . Part sign. 1.  
 First Z-coordinates.  $Z_0=21.8, Z_1=21.8, Z_2=21.9$ . cm.  
 Mean mass = 8.0, MeV. Mass error.  $d_{mass}=1.6$ , MeV

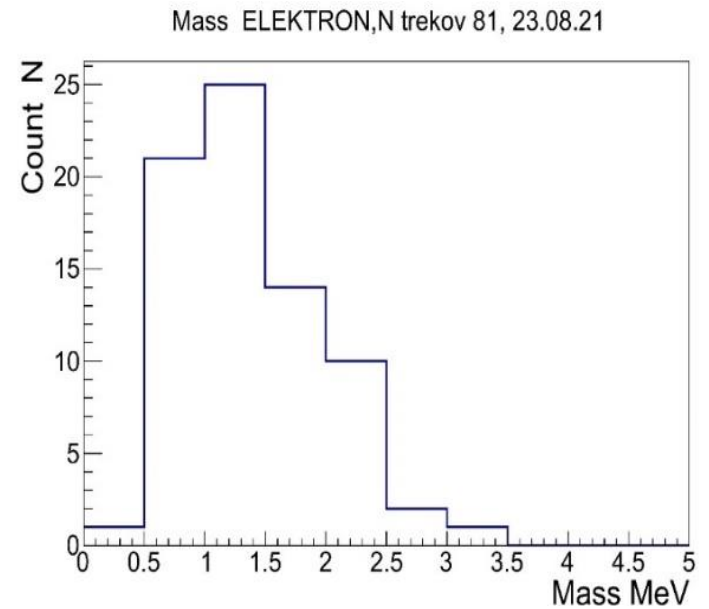
Рис. 6. Характеристики типичного трека (рис. 3.)

Панель 1 – Оцифрованная траектория. Панель 2 – радиус кривизны, вычисленный в каждой точке траектории; красная линия – полуэмпирическая функция  $R(l)$  (фит эксп. данных); чёрная линия – вычисленный радиус кривизны для частицы с массой 8 МэВ. Панель 3 – тест на целостность траектории, см. текст. Панель 4 – косинус глубинного угла траектории. Панель 5 – масса частицы, вычисленная в каждой точке траектории.

Панель 6 – результаты анализа: число измеренных точек на траектории, число точек на одном интервале траектории, знак заряда частицы, z координаты первых точек, масса частицы и неопределённость массы.



*Спектр массы электронов и позитронов, моделированных программой Geant-4.*

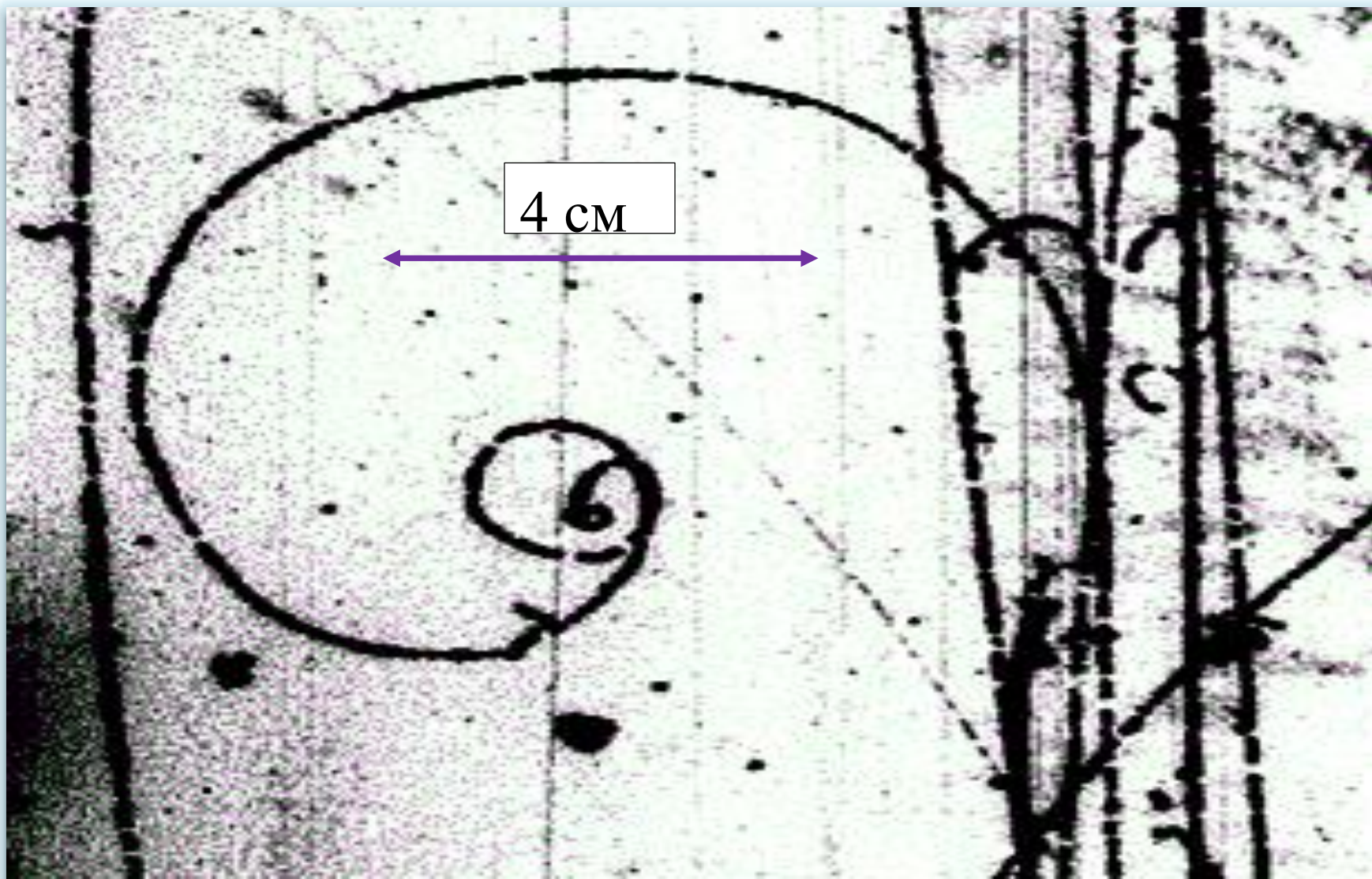


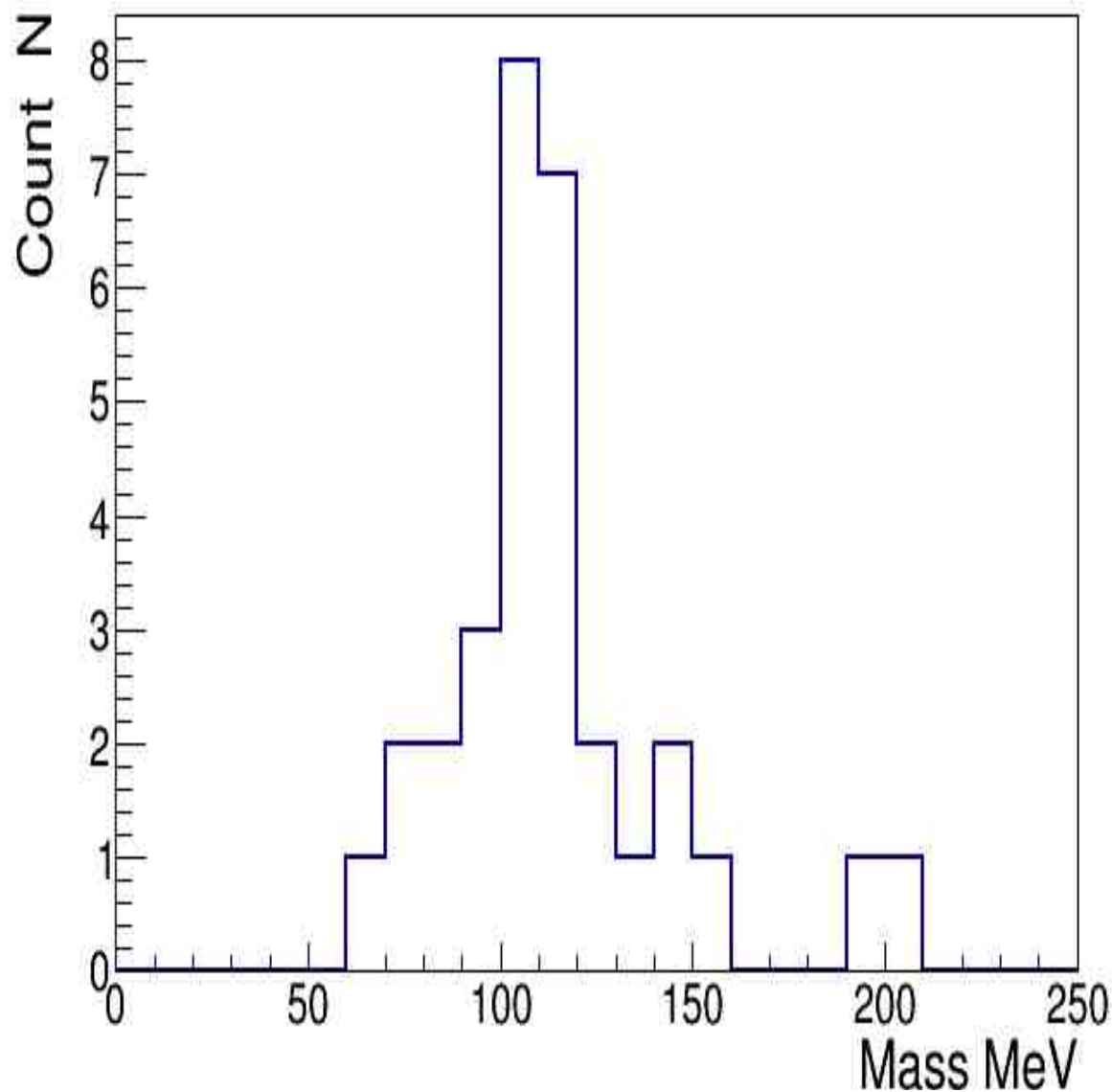
*Спектр масс измеренных электронов и позитронов.*

**Проверка алгоритма** определения массы частицы.

В спектре массы электронов и позитронов наблюдается избыток событий в области 1 – 2 МэВ (хвост вправо). Очевидно, это связано с большим многократным рассеянием лёгких частиц на пропане, а алгоритм определения массы не корректно обрабатывает малый конечный участок траектории с большой и вариабельной кривизной.

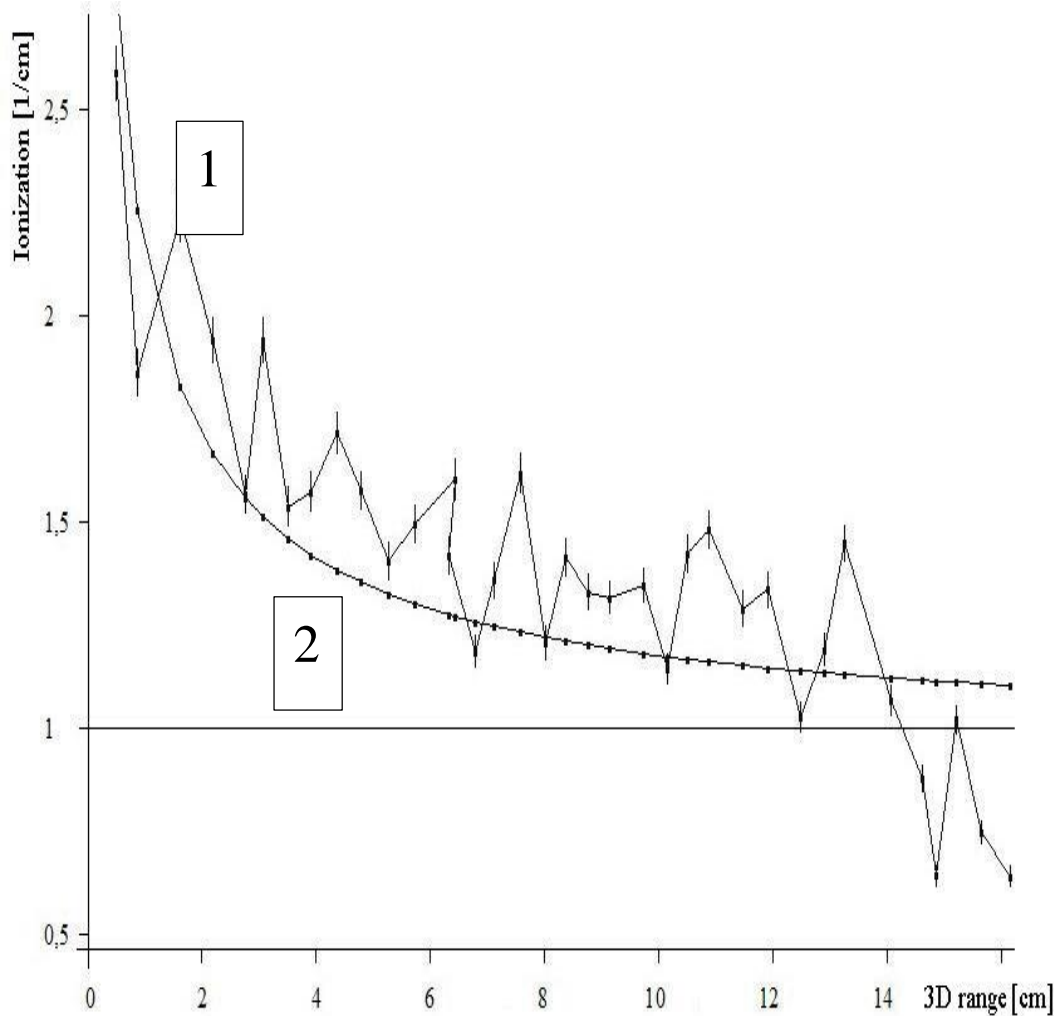
**Типичная траектория электрона.** Требуется специальный алгоритм определения массы, корректно обрабатывающий малый конечный участок траектории с большой и переменной кривизной.





Проверка  
алгоритма  
определения  
массы частицы  
на траекториях  
мюонов.

*Спектр массы измеренных мюонов.*



1. Ионизация частицы с измеренной массой 7.5 МэВ и малым глубинным углом. 2. Сплошная кривая - расчёт относительных ионизационных потерь энергии для частицы с массой 8 МэВ. Вертикальная координата начала и конца траектории составляет  $Z=8 - 17$  см.

**Разработан метод** количественного определения величины ионизации. Он заключается в следующем. Оцифрованные стереопроекции дают доступ к отдельным пикселям изображений. Поэтому можно оперировать с прозрачностью отдельного пикселя. Появляется возможность определить почернение трека в каждой измеряемой точке.

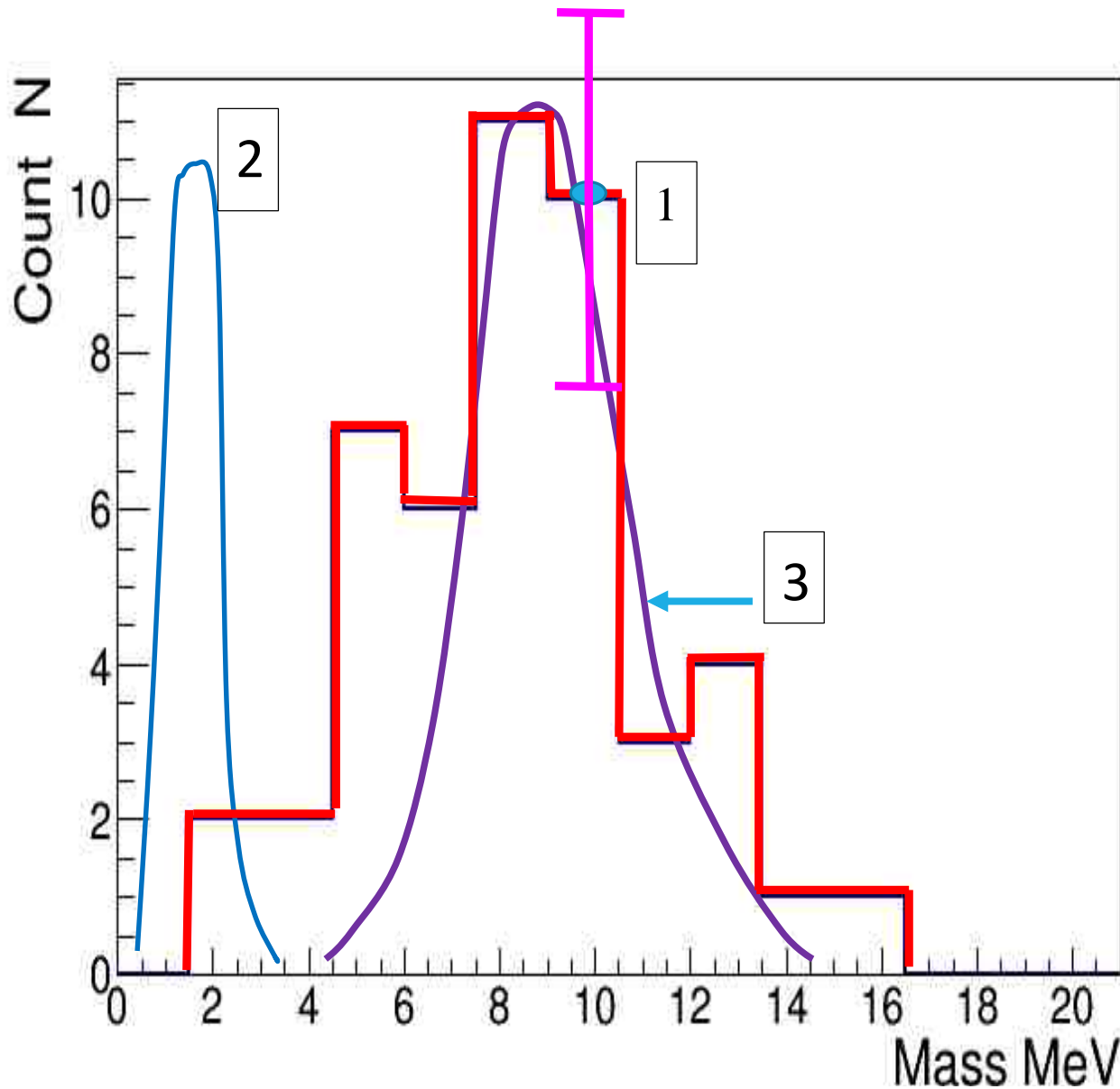


## Критерии отбора аномальных частиц.

Обнаружено 47 событий, в которых остановившаяся частица удовлетворяет следующим правилам отбора (признаки аномальной частицы):

- а) на конце трека (3 – 4 см от последней видимой точки) частица проявляет повышенную ионизацию, т. е. не различаются отдельные пузырьки и нет видимых разрывов трека;
- б) глубинный угол не превышает 40 град. на всей траектории;
- в) на конце трека нет повышенного многократного рассеяния, характерного для останавливающихся электронов;
- г) радиус кривизны на конечном участке траектории заметно больше, чем у останавливающегося электрона.

Эти правила отбора (кроме пункта б)) являются качественными и зависят от опыта сотрудника.



1. Спектр массы частиц, отобранных по критериям «аномальные частицы.»
2. Копия спектра электронов и позитронов.
3. Копия спектра моделированных аномальных частиц с массой 9 МэВ.

Спектр (1) содержит 47 событий.

Результат:

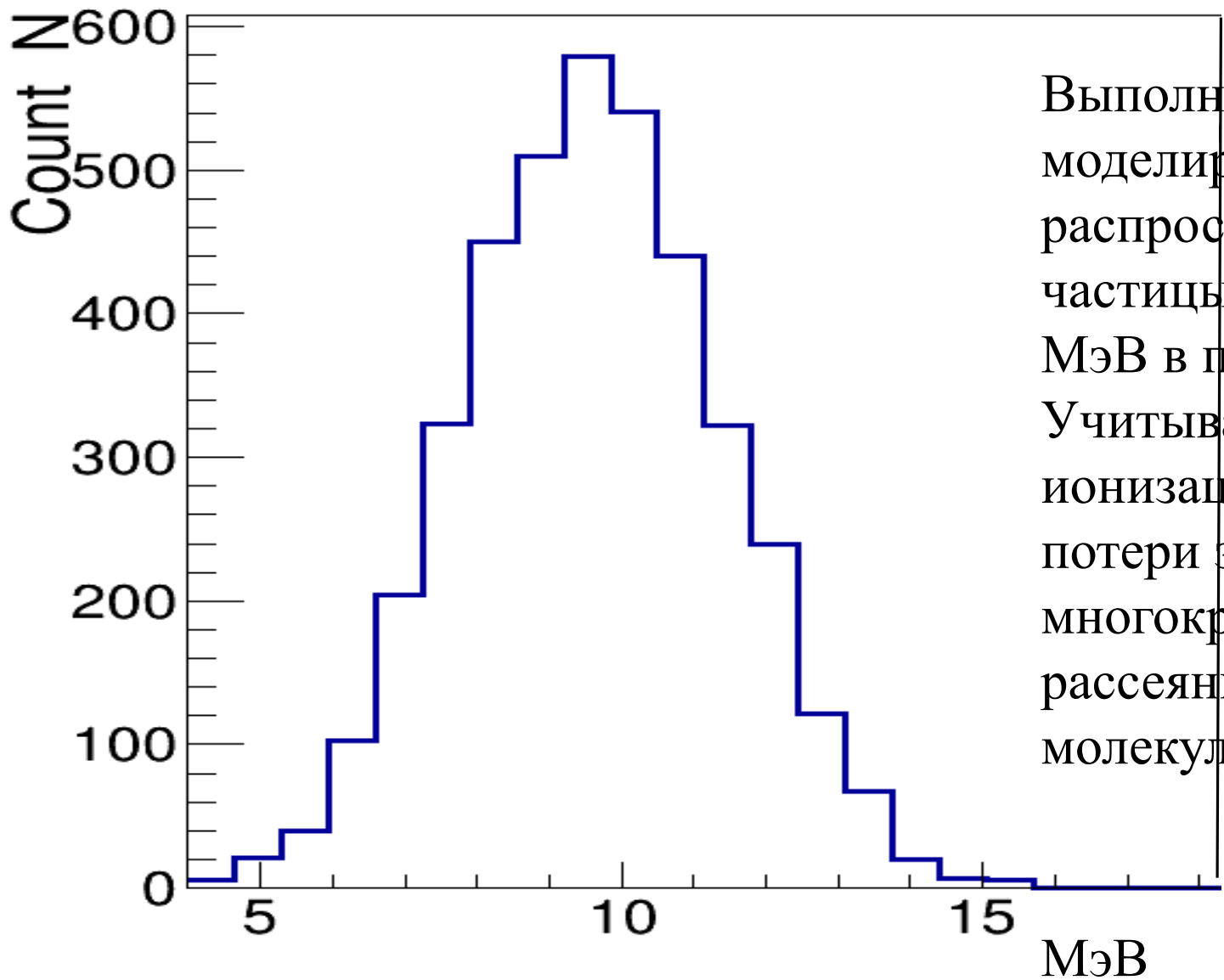
Зарегистрировано

**47**

аномальных частиц с массой

**$(8,6 \pm 3,0)$  МэВ.**

*Спектр массы частиц, отобранных по критериям «аномальные частицы». 2. Копия спектра электронов и позитронов. 3. Копия спектра модел. аномалонов.*



Выполнено моделирование распространения частицы с массой 9 МэВ в пропане. Учитываются ионизационные потери энергии и многократное рассеяние на молекулах пропана.

Спектр массы моделированных аномалонов.

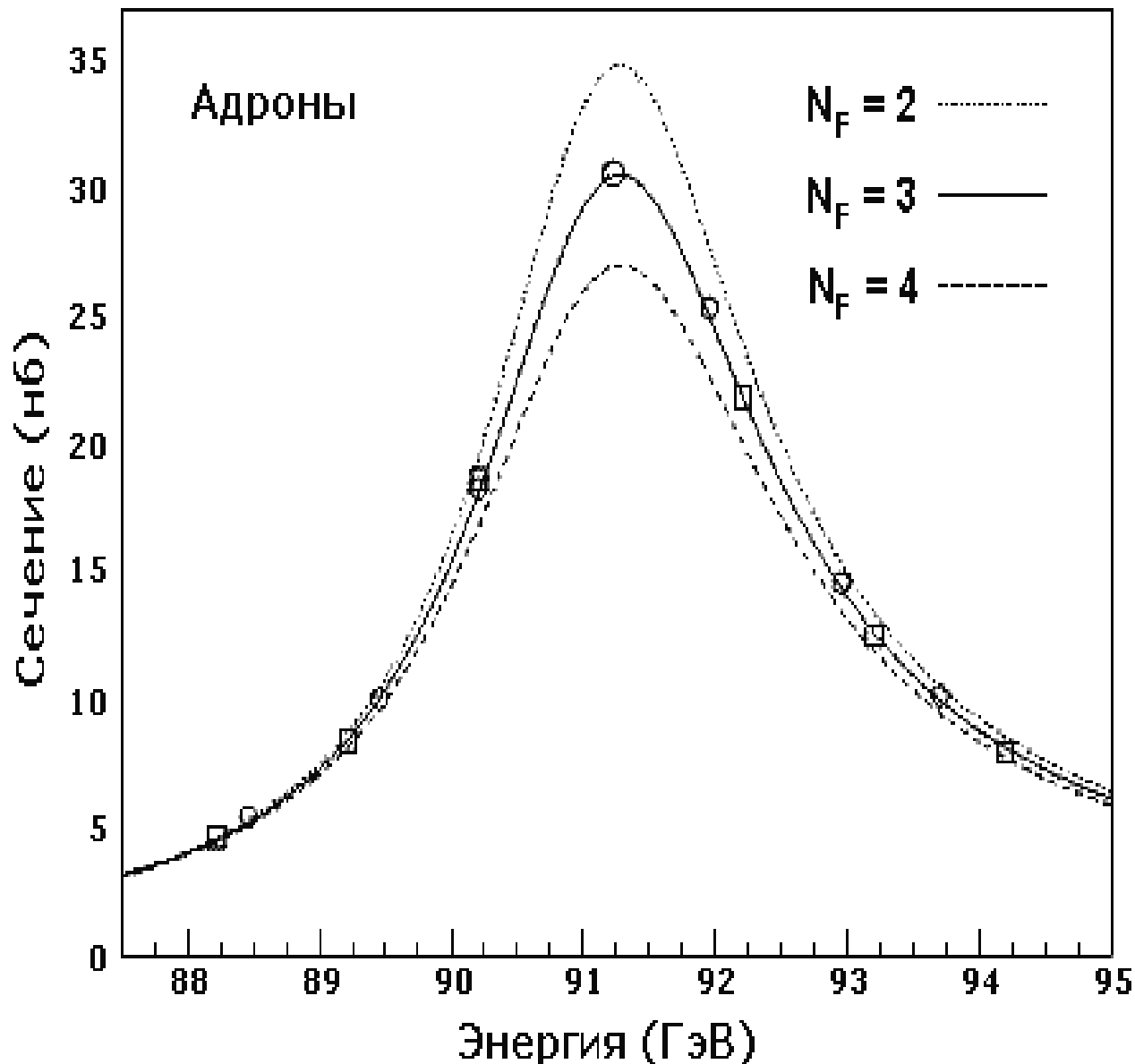
## Оценка сечения рождения аномального лептона.

Число нуклонов на длине камеры  $N_N = 2,6 \cdot 10^{24} \text{ см}^{-2}$ . Число первичных протонов, попавших в камеру  $I = 5,5 \cdot 10^5$ . Число идентифицированных аномалонов  $N_{alept} = 47$  в интервале импульса  $20 - 120 \text{ МэВ/с}$ . Эффективность регистрации аномальной частицы оцениваем, принимая три параметра: глубинный угол траектории частицы  $\theta \leq 40^\circ$ , средняя длина траектории фотона в камере  $L_\gamma = 60 \text{ см}$ , радиационная длина пропана  $L_{rad} = 104 \text{ см}$ . Получаем оценку эффективности регистрации аномалона  $f = (2 \cdot \theta / \pi) \cdot (1 - \exp(-L_\gamma / L_{rad})) = 0,4 \cdot 0,42 = 0,17$ . Нижнюю границу сечения  $\sigma_{alept}$  вычисляем, используя формулу  $N_{alept} = I \cdot N_N \cdot f \cdot \sigma_{alept}$ . Результат:

$$\sigma_{alept} = (0,19 \pm 0,03) \text{ мб.}$$

Эта величина лежит ниже ранее опубликованных значений верхней границы сечения рождения аномального лептона.

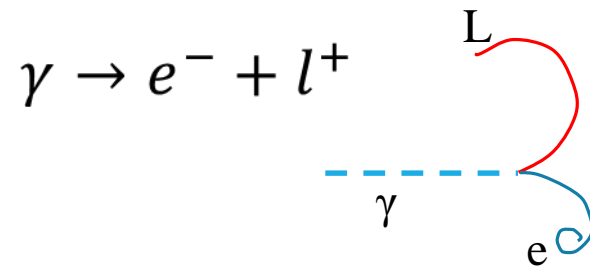
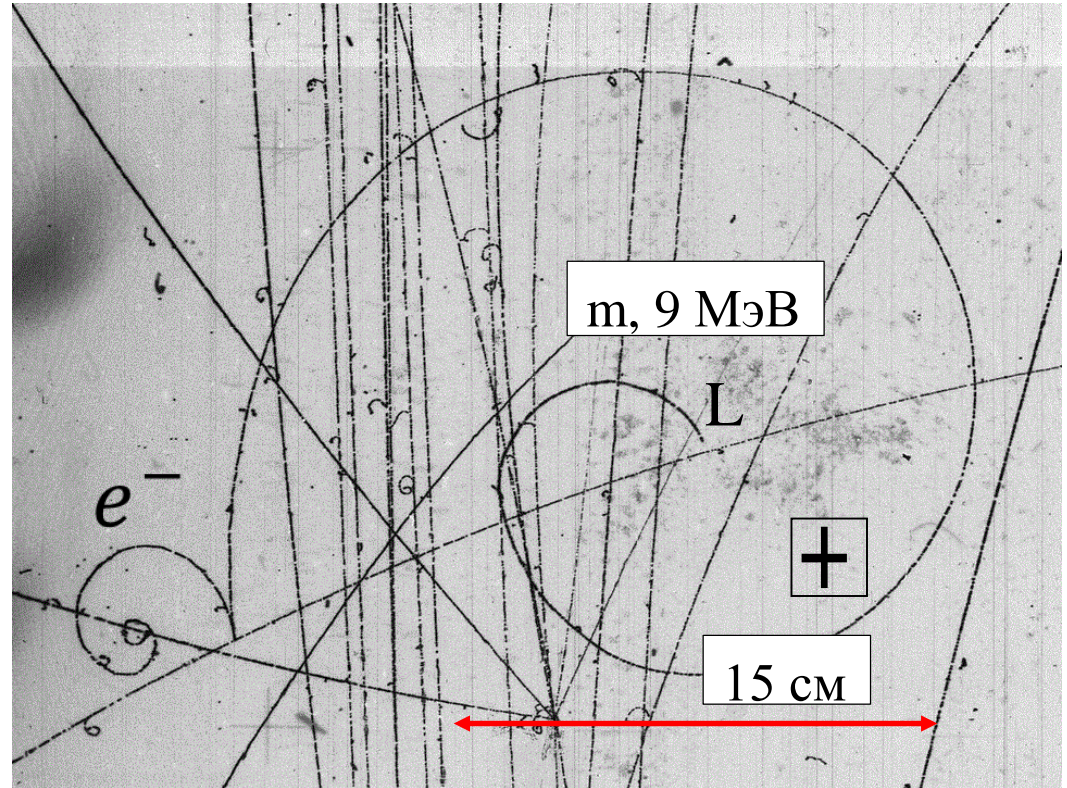
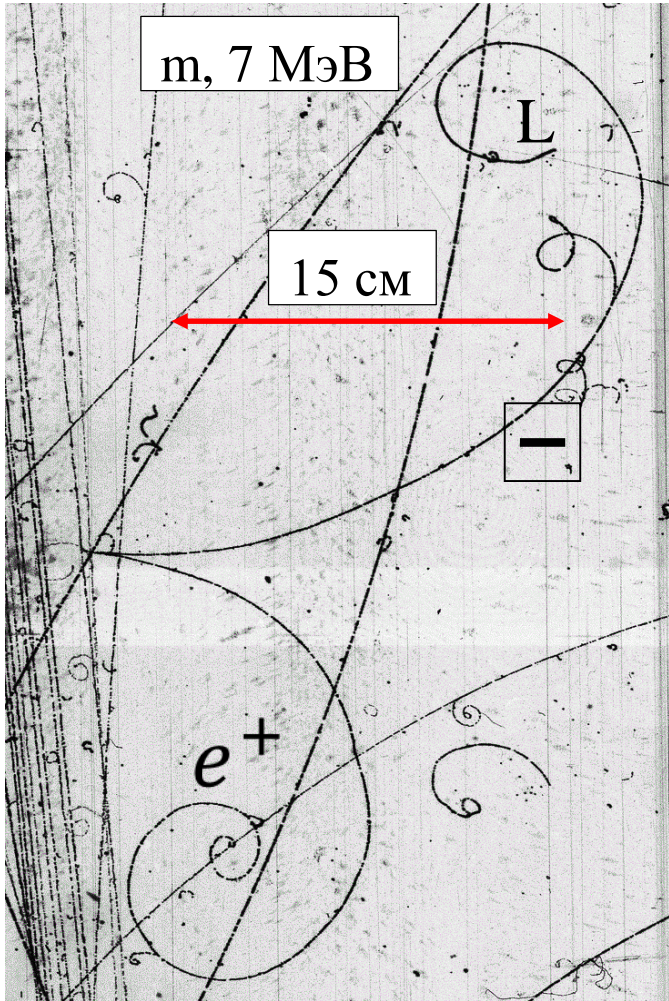
# Резонансная кривая Z-бозона /7/. $M(Z) = 91.188 \pm 0.007$ ГэВ



## Количество нейтрино

установлено с большой достоверностью:  $n = 2.982 \pm 0.013$ . Следовательно аномальный лептон, обсуждаемый в данной работе, это частица, не связанная с новым (четвёртым) нейтрино.

**События**, в которых обе частицы пары остановились в камере. Одна из частиц это  $e^-$  или  $e^+$ .



$$\gamma \rightarrow e^+ + l^-$$

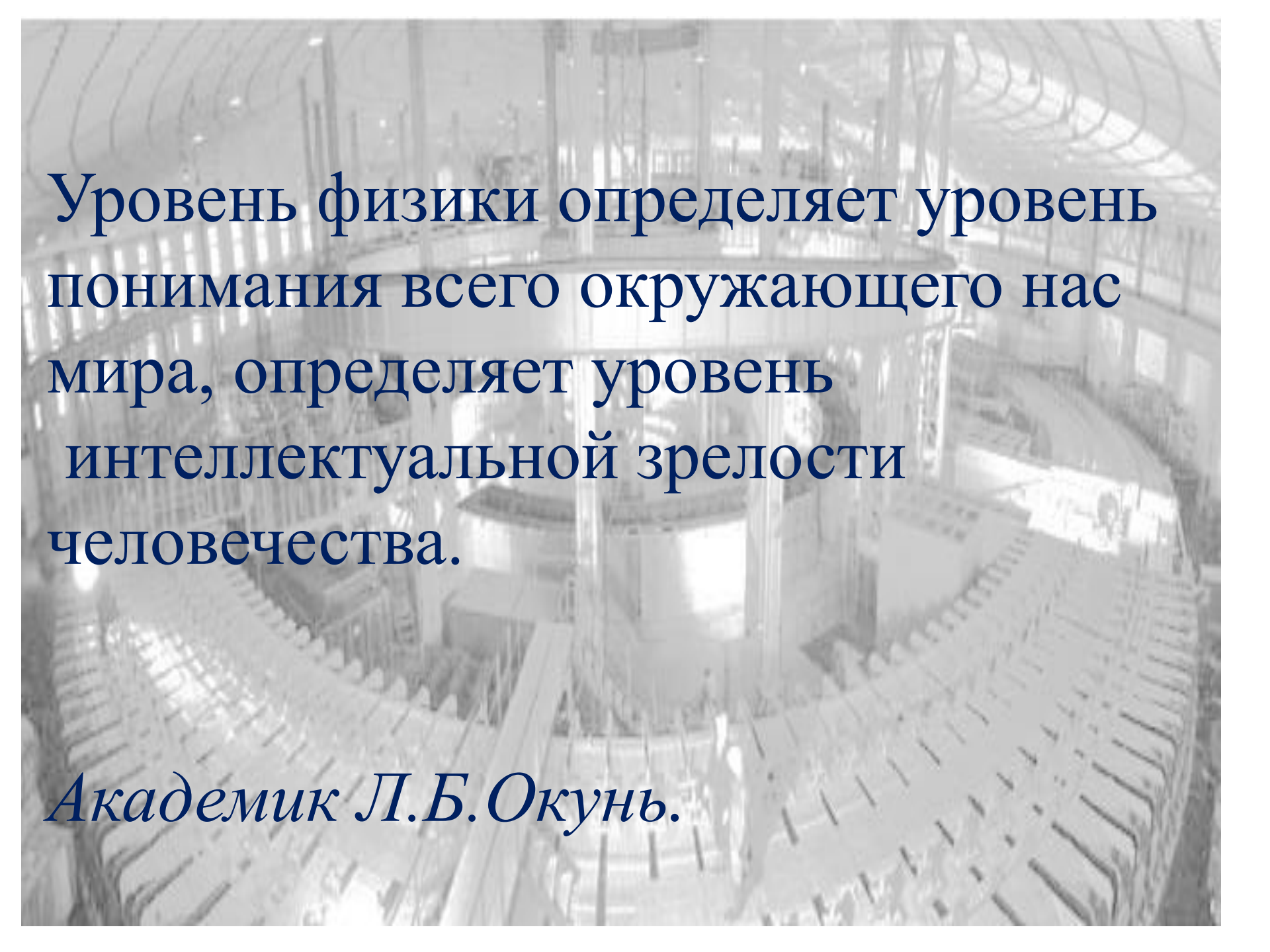
«Лептон L» должен иметь квантовые числа электрона (с противоположным знаком). В остальном, природа частицы L **неизвестна**.

## Заключение.

Анализируются события конверсии  $\gamma$  кванта в пару заряженных частиц. Найдено 47 аномальных события с массой одной из частиц  $\sim 8$  МэВ. Искомые частицы лежат в интервале импульса 20 – 120 МэВ/с. Получена оценка время жизни новых частиц 10 – 30 мс. Определена нижняя граница эффективного сечения образования аномальной частицы в протон-нуклонных взаимодействиях. Она составляет  $(0,19 \pm 0,03)$  мб.

Данное исследование указывает на существование ранее неизвестной частицы с массой  $(8,6 \pm 3,0)$  МэВ. .

Авторы благодарны А.А. Балдину и А.Ю. Трояну за предоставленную возможность работать с фото материалом пропановой камеры, А.В. Белобородову за организацию и ведение базы данных оцифрованных плёнок. Мы благодарны Беляеву А.В. за содействие и помощь в работе, за создание программы измерения почернения треков. Мы признательны П.В. Номоконову и Ю.П. Петухову за выполнение моделирования процессов распространения частиц в пропане программой GEANT-4. Лаборанты Асмик Григорян, Елена Дмитриева и Татьяна Борисова просмотрели большой объём фотоматериала, отбирая искомые события. Они также выполнили сканирование отобранных в просмотре кадров, за что мы им весьма признательны.

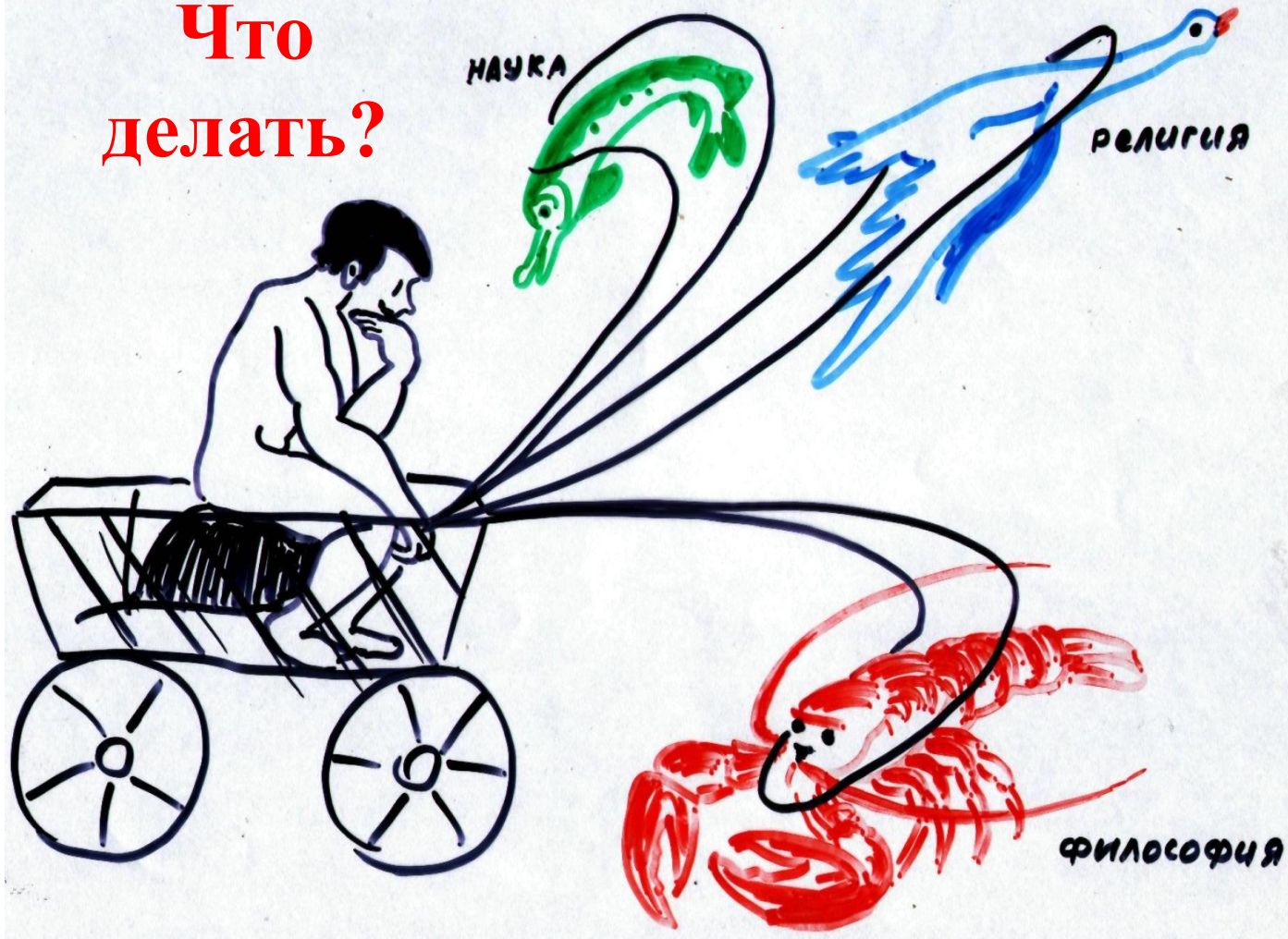


Уровень физики определяет уровень  
понимания всего окружающего нас  
мира, определяет уровень  
интеллектуальной зрелости  
человечества.

*Академик Л.Б.Окунь.*



**Что  
делать?**



# The relation of spiritual and material.

Material  
interests.

Ideal  
(spiritual)  
aspirations  
of a person.

Available  
knowledge and  
technology  
expand the  
worldview and  
search  
capabilities

The path of civilization.



## Этапы пути:

1949 г. – начало проектирования; 1952 г. – начало строительства;

1957 г., 16 апреля, 23 часа 40 минут – есть проектная энергия 10 ГэВ !!;

1972 г. – получен выведенный пучок протонов; 1969 г. – ускорение дейтронов; 1981 г. – ускорение ядер от H до Si; 1983 г. – ускорение поляризованных дейтронов;

2002 г. – Конец работ на СФ.



Конец.  
Спасибо.

Синхрофазотрон. Общий вид