



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 , μ , τ , указывающая на возможность существования нового состояния («тяжёлого» электрона) с массой ~ 8 МэВ. Для его поиска просмотрено ~ 55 тыс. стереофотографий с 2-м пропановой пузырьковой камеры. Камера экспонирована в пучке протонов 10 ГэВ на Синхрофазотроне ОИЯИ. Анализируются события конверсии γ 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 ~ 8 МэВ. При этом среднее значение массы новой частицы оставляет $(8,6 \pm 3,0)$ МэВ.

Поиск новых лептонов. Литература.

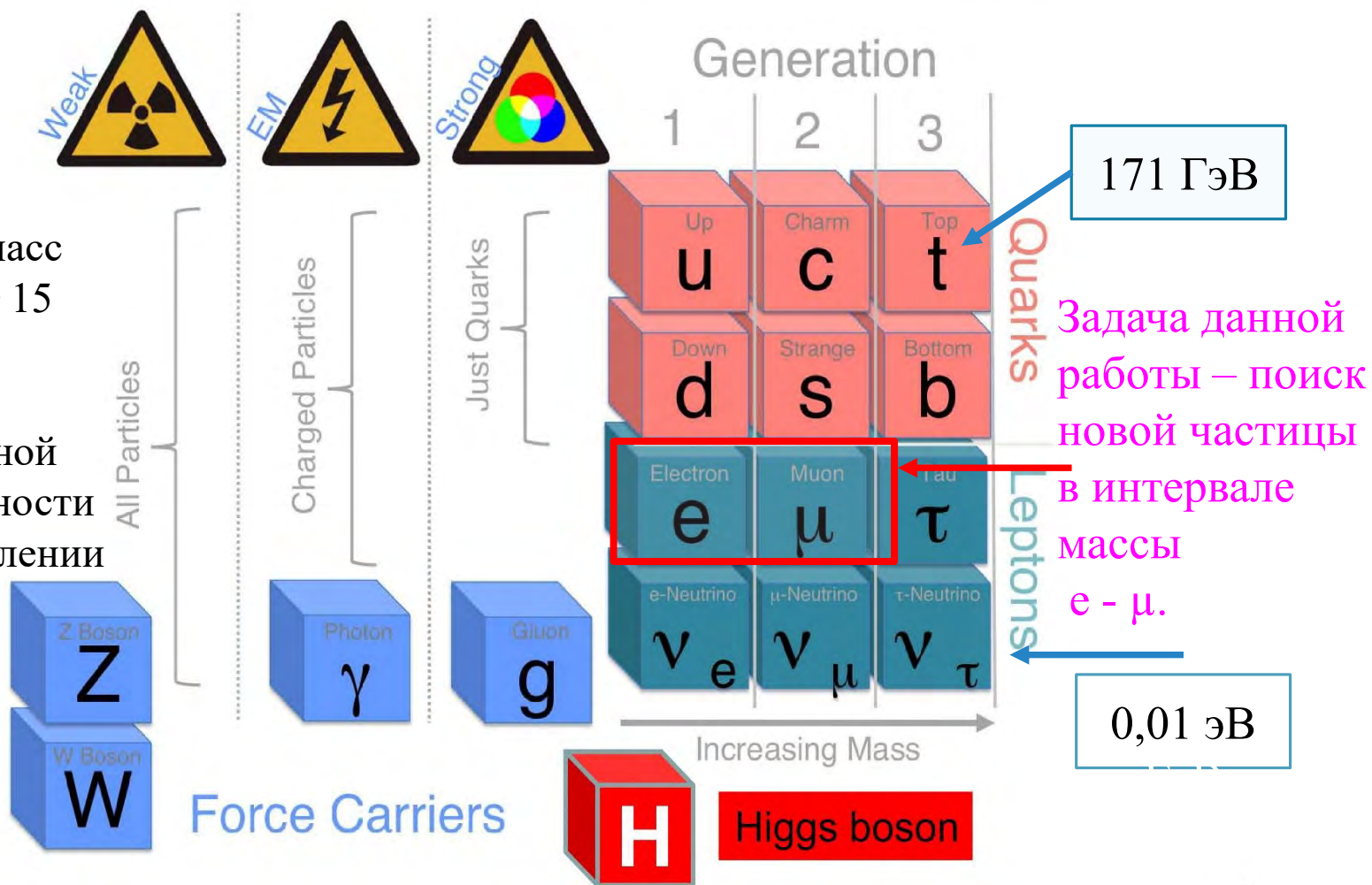
1. А.С. Белоусов и др. Поиск частиц с массами от 6 до 25 электронных масс. ЖЭТФ, т. 37, вып. 6(12), стр. 1613, 1959. ФИАН. Пучок γ 265 МэВ.
2. A.N. Gorbunov et al. On the existence of particles of mass $2m_e - 25m_e$. Sov. Phys. JETP, vol. 11, numb. 1, p. 51, July, 1960. Пучок γ 93 МэВ.
3. D. H. Coward et al. Search for charged particles with rest mass between e, μ . 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).

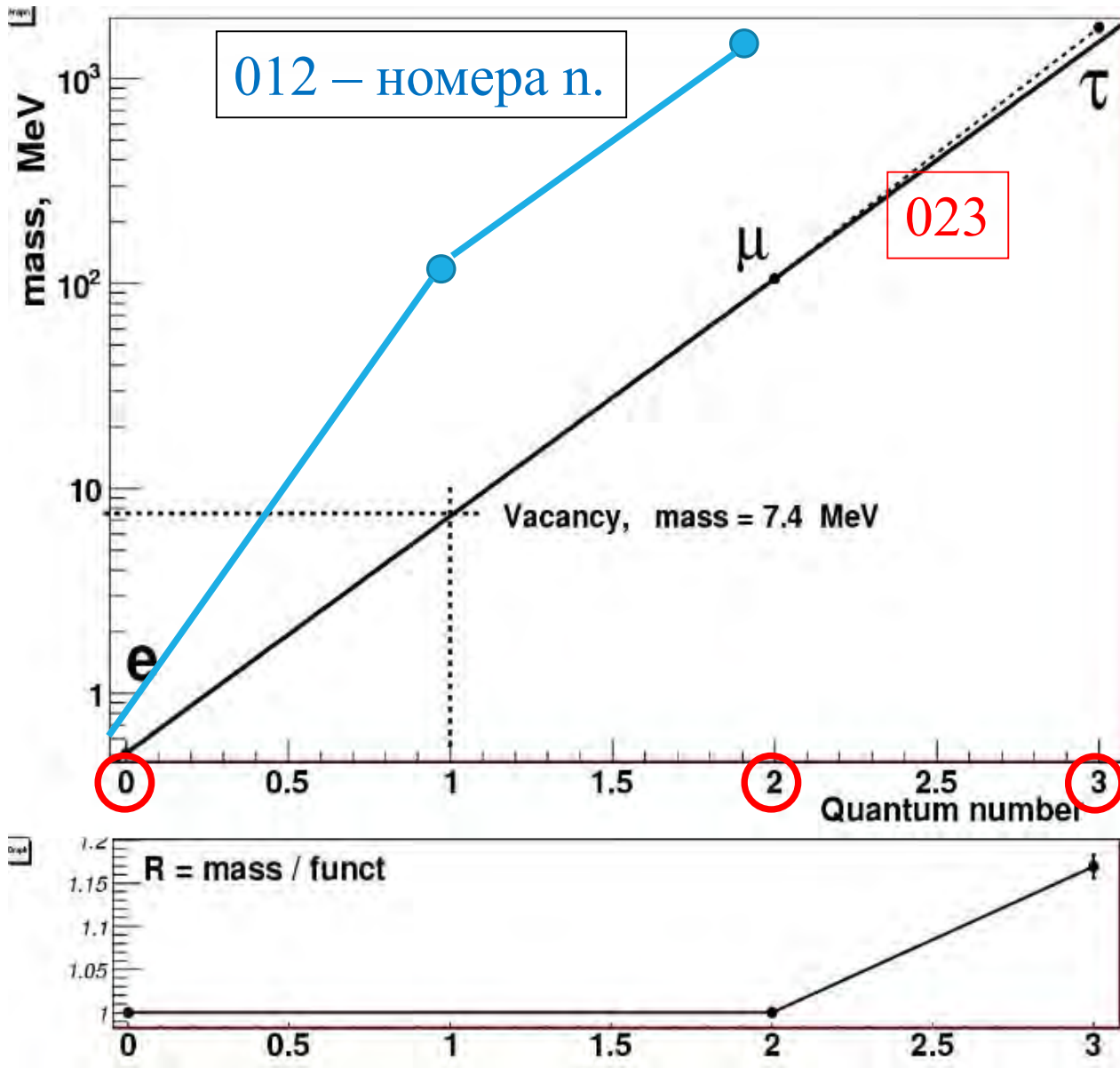


Элементарные частицы

Стандартная модель

Диапазон значений масс составляет 15 порядков. Нет определённой закономерности в распределении масс.





Спектр масс лептонов e, μ, τ.

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

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

Присваиваем
лептонам e, μ, τ
номера:

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

В этом варианте
получаем линейную
функцию

$$\ln m(n) =$$

$$c + b \times n.$$

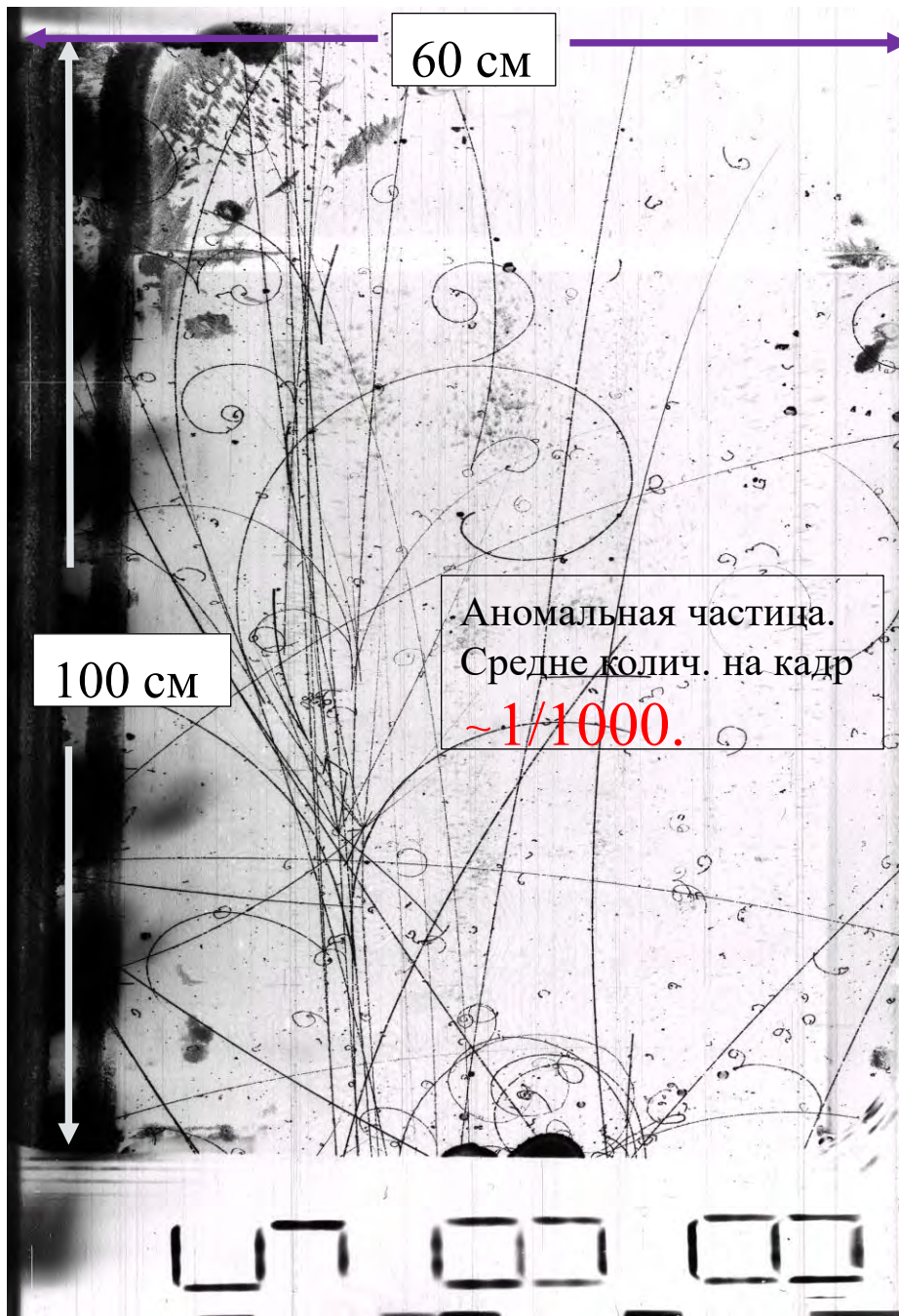
Имеется вакансия при $n = 1$. $m \approx 8$ МэВ.

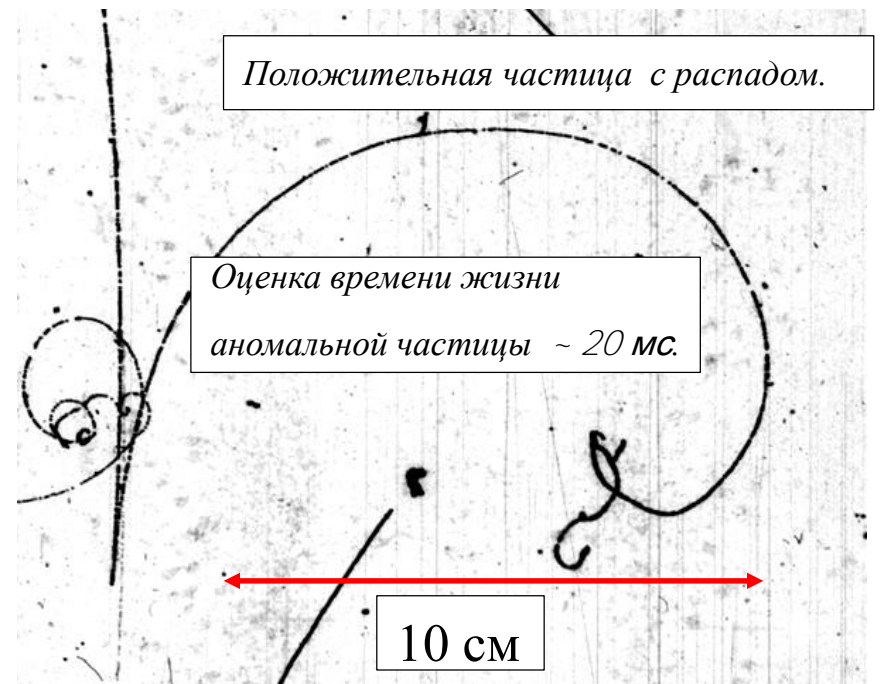
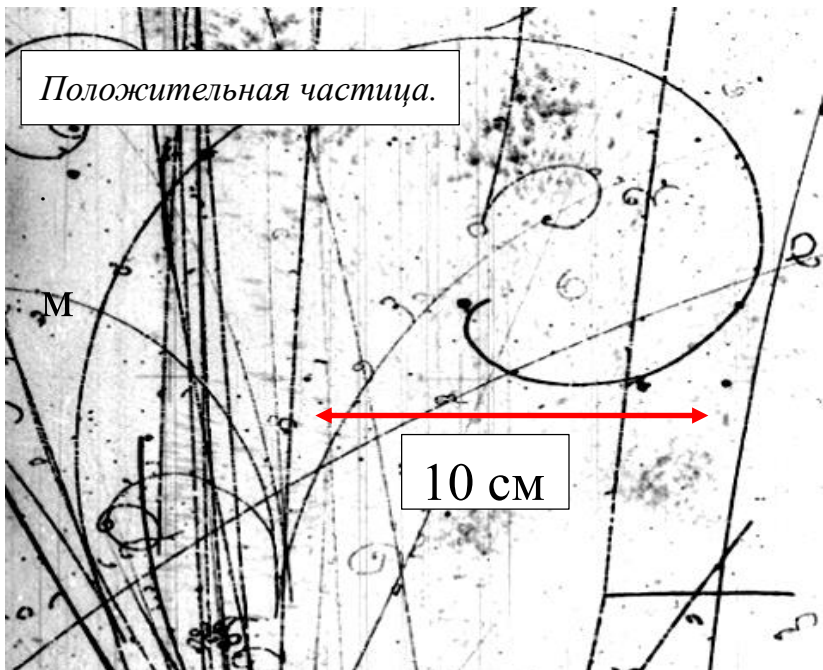
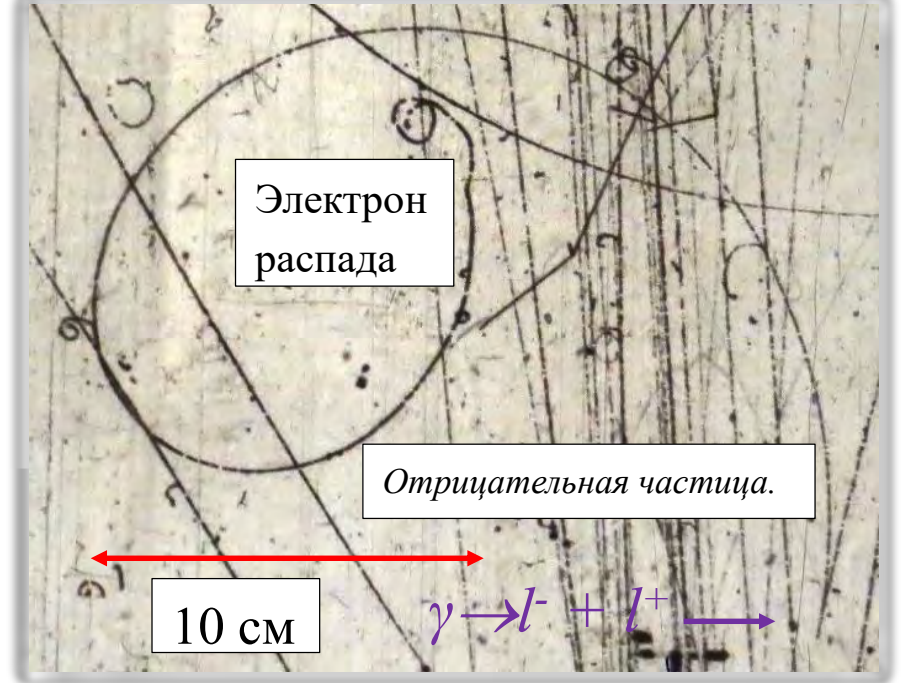
Возникла задача поиска заряженной частицы с массой ~ 8 МэВ.

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 $105 \times 60 \times 40$ см³. Камера находится в магнитном поле напряжённостью $B \approx 1,5$ Тл.

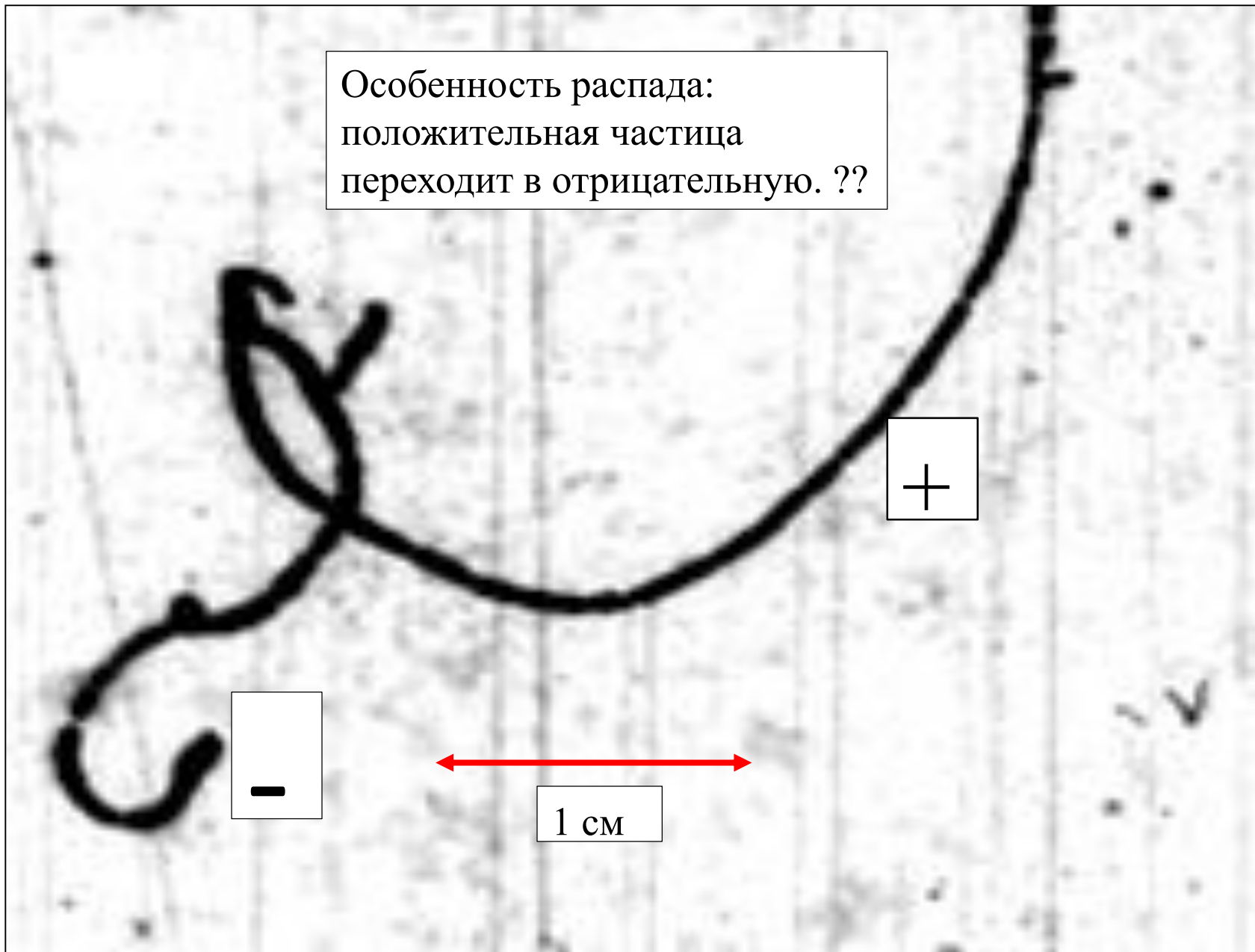
Плотность жидкого пропана $0,43$ г/см³. Радиационная длина пропана $\lambda_{rad} = 104$ см. При просмотре фотоматериала отбираются события рождения пар частиц гамма квантами $\gamma \rightarrow l + l$, в которых хотя бы одна частица останавливается в просматриваемом объёме и имеет повышенное почернение 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 ~ 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 θ - угол между вектором, касательным к треку, и плоскостью камеры (глубинный угол).

Масса частицы m вычисляется в каждой точке траектории путём решения уравнения

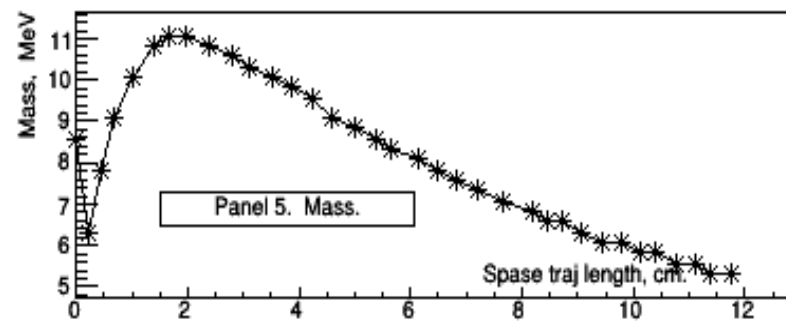
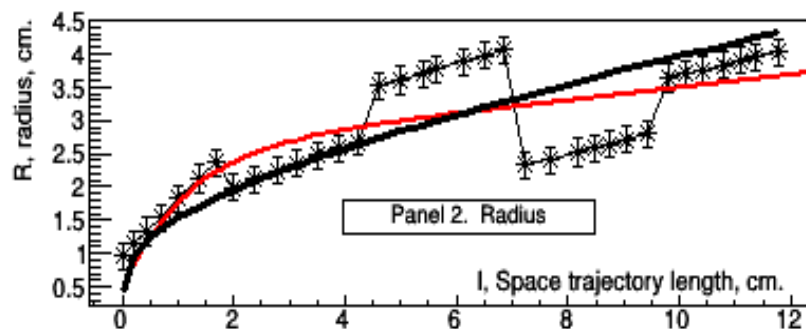
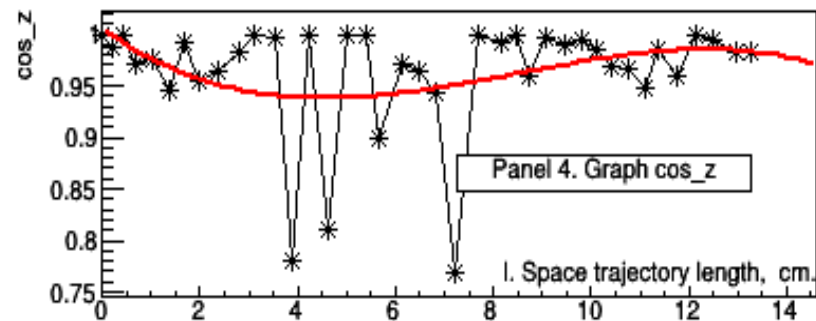
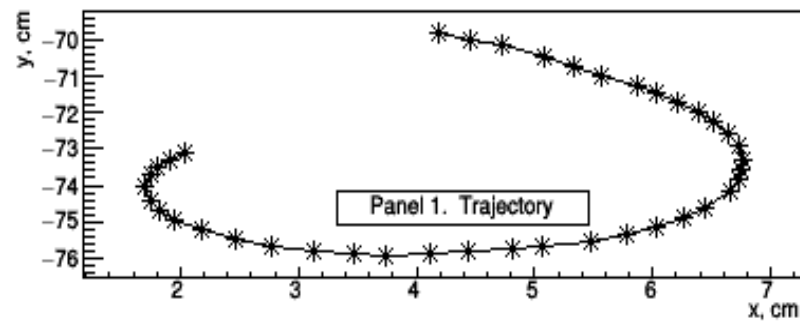
$$T = \sqrt{p^2 + m^2} - m. \quad (2)$$

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

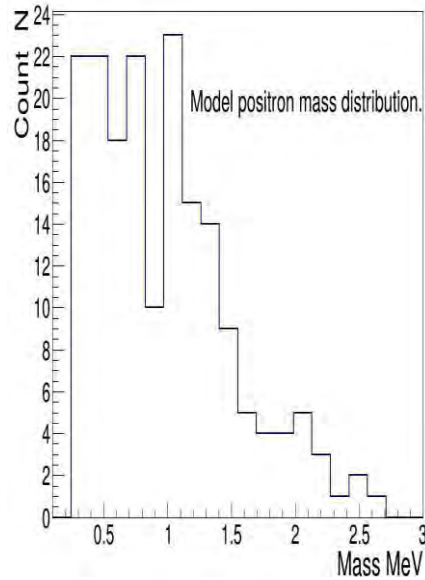
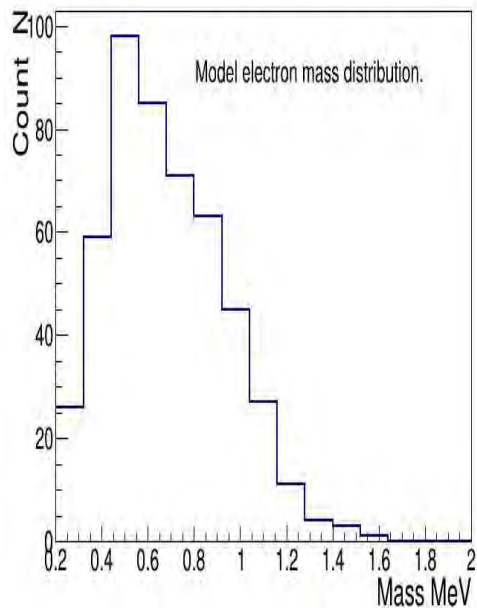
 Track pnt numb. $j_3=5, j_4=12$, Mass. $m_{4_{12}}=6.8$ MeV
 Ranges. $l_3=1.4, l_4=3.9$ cm. Extra range $l_{5_{12}}=0.8$ cm

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.)

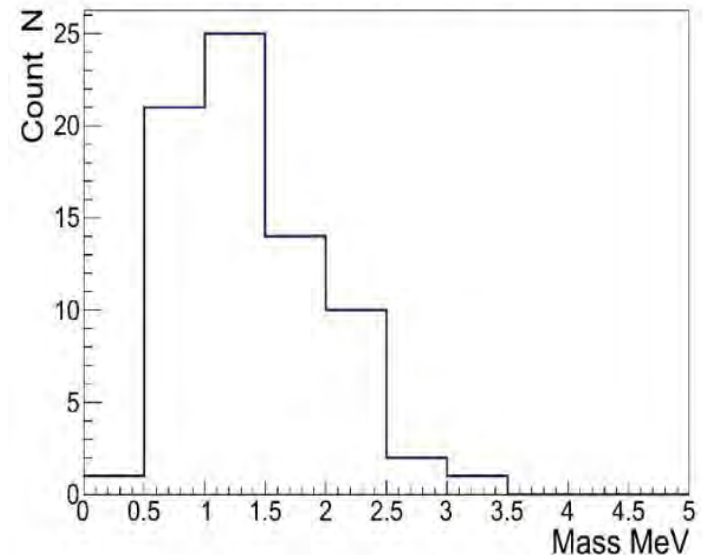
Панель 1 – Оцифрованная траектория. Панель 2 – радиус кривизны, вычисленный в каждой точке траектории; красная линия – полуэмпирическая функция $R(l)$ (фит эксп. данных); чёрная линия – вычисленный радиус кривизны для частицы с массой 8 МэВ. Панель 3 – тест на целостность траектории, см. текст. Панель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

Mass ELEKTRON,N trekov 81, 23.08.21

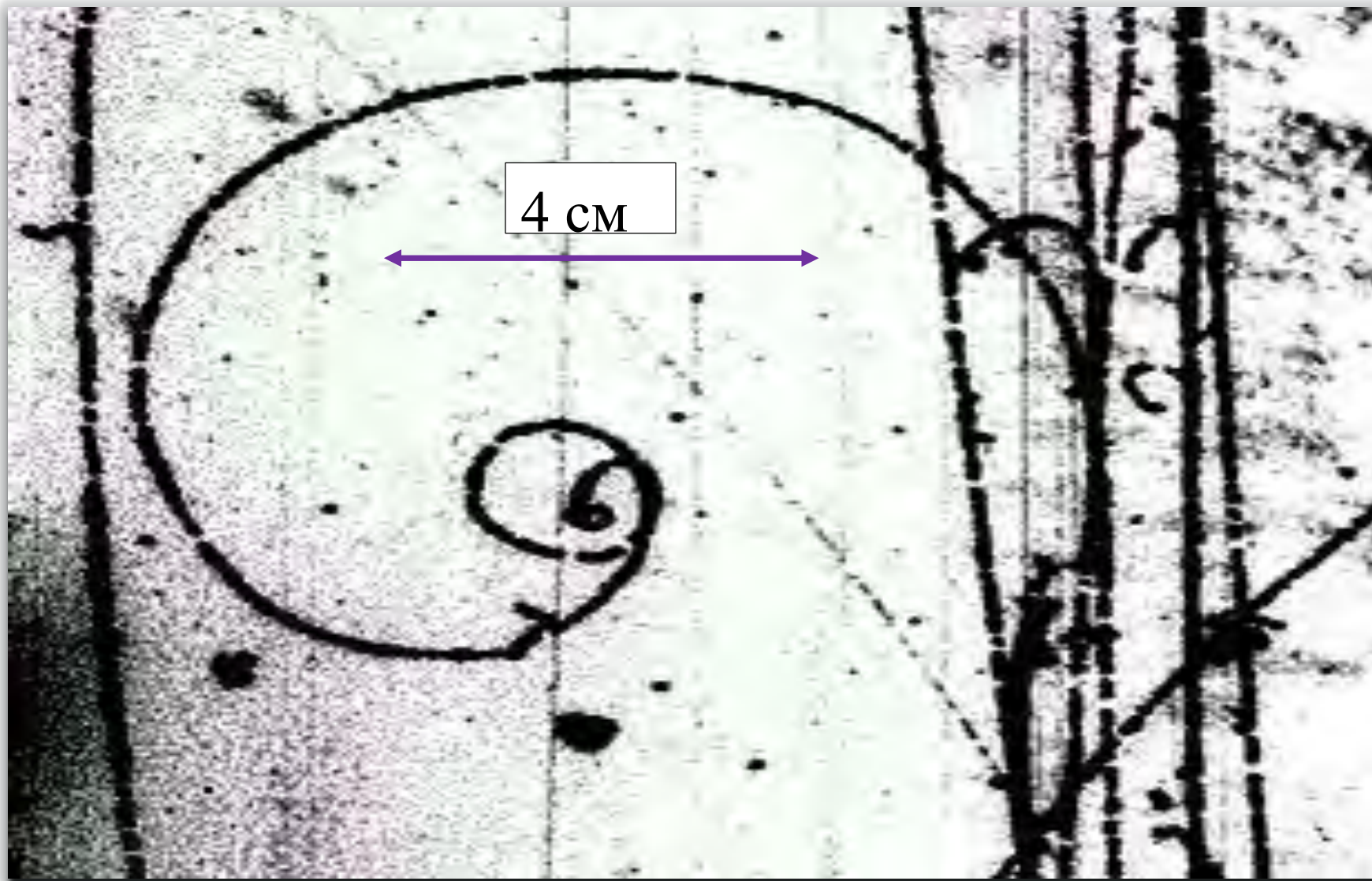


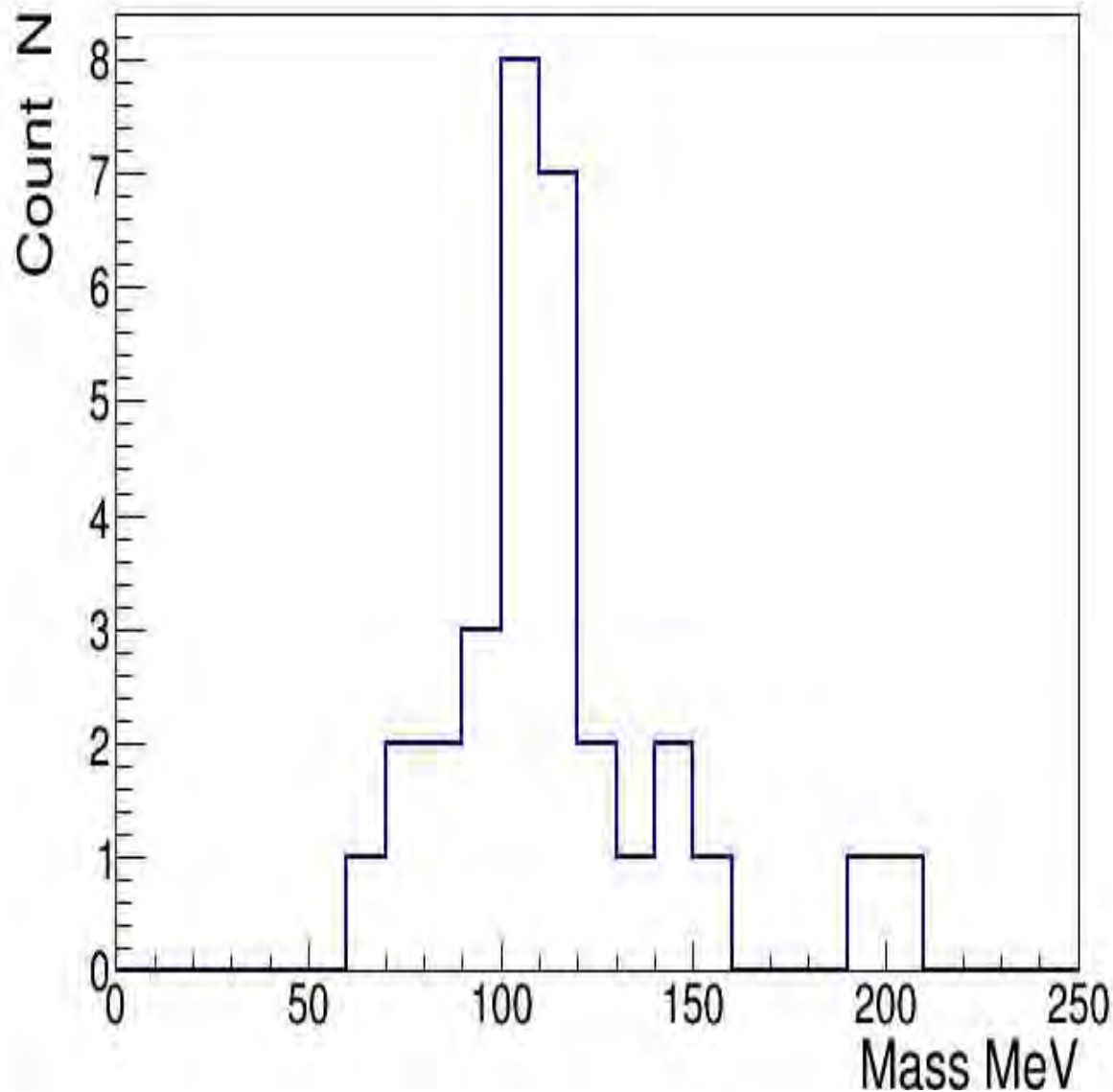
Спектр масс измеренных электронов и позитронов.

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.

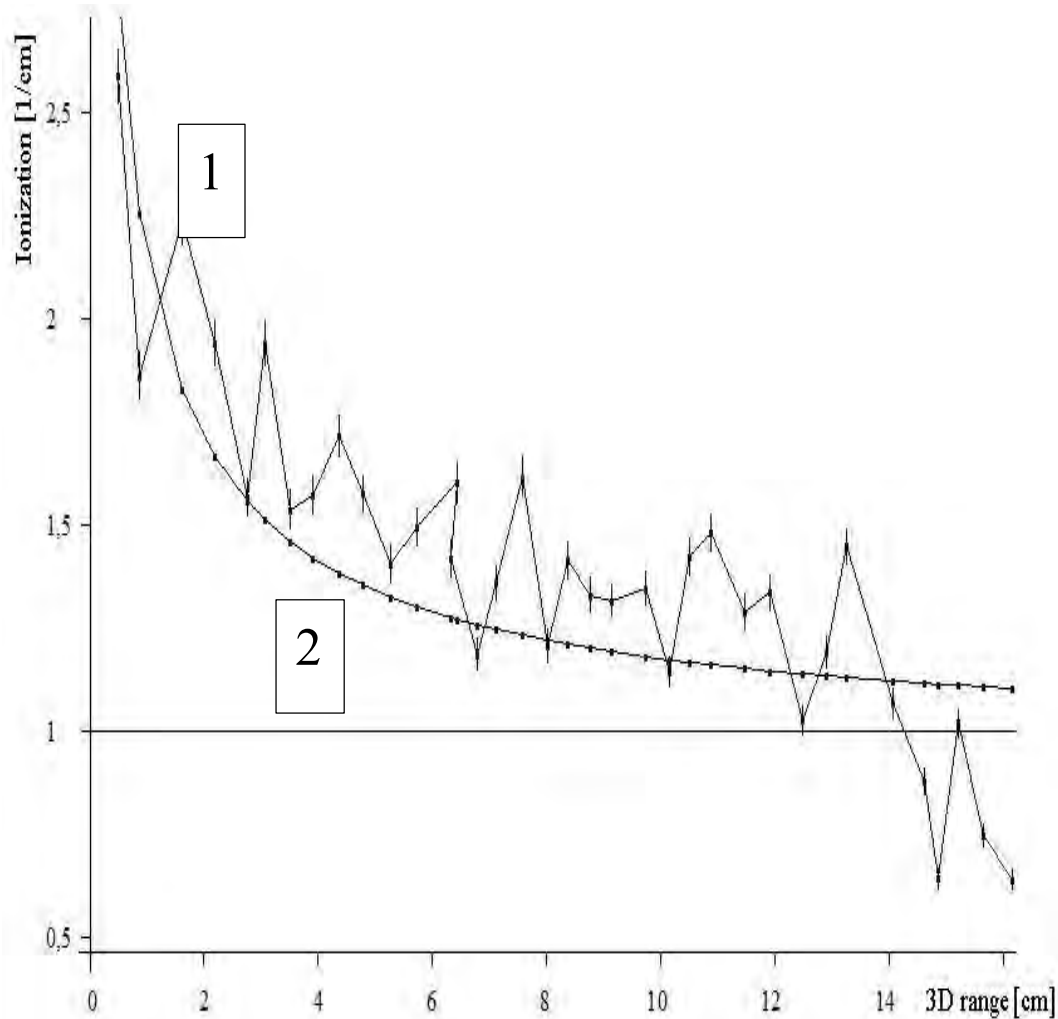
Типичная траектория электрона. Требуется специальный алгоритм определения массы, корректно обрабатывающий малый конечный участок траектории с большой и переменной кривизной.





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.

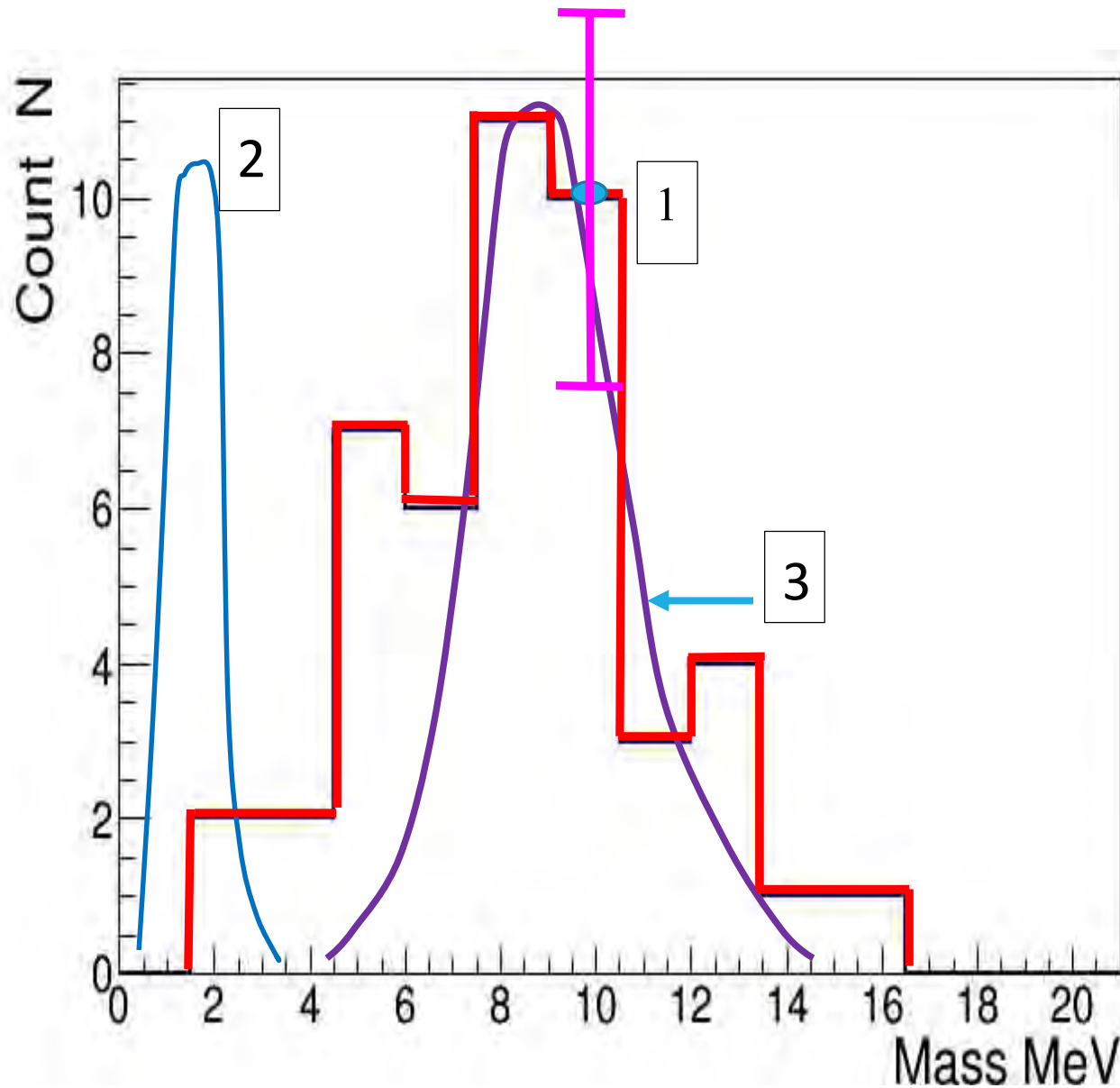
Разработан метод количественного определения величины ионизации. Он заключается в следующем. Оцифрованные стереопроекции дают доступ к отдельным пикселям изображений. Поэтому можно оперировать с прозрачностью отдельного пикселя. Появляется возможность определить почернение трека в каждой измеряемой точке.

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:

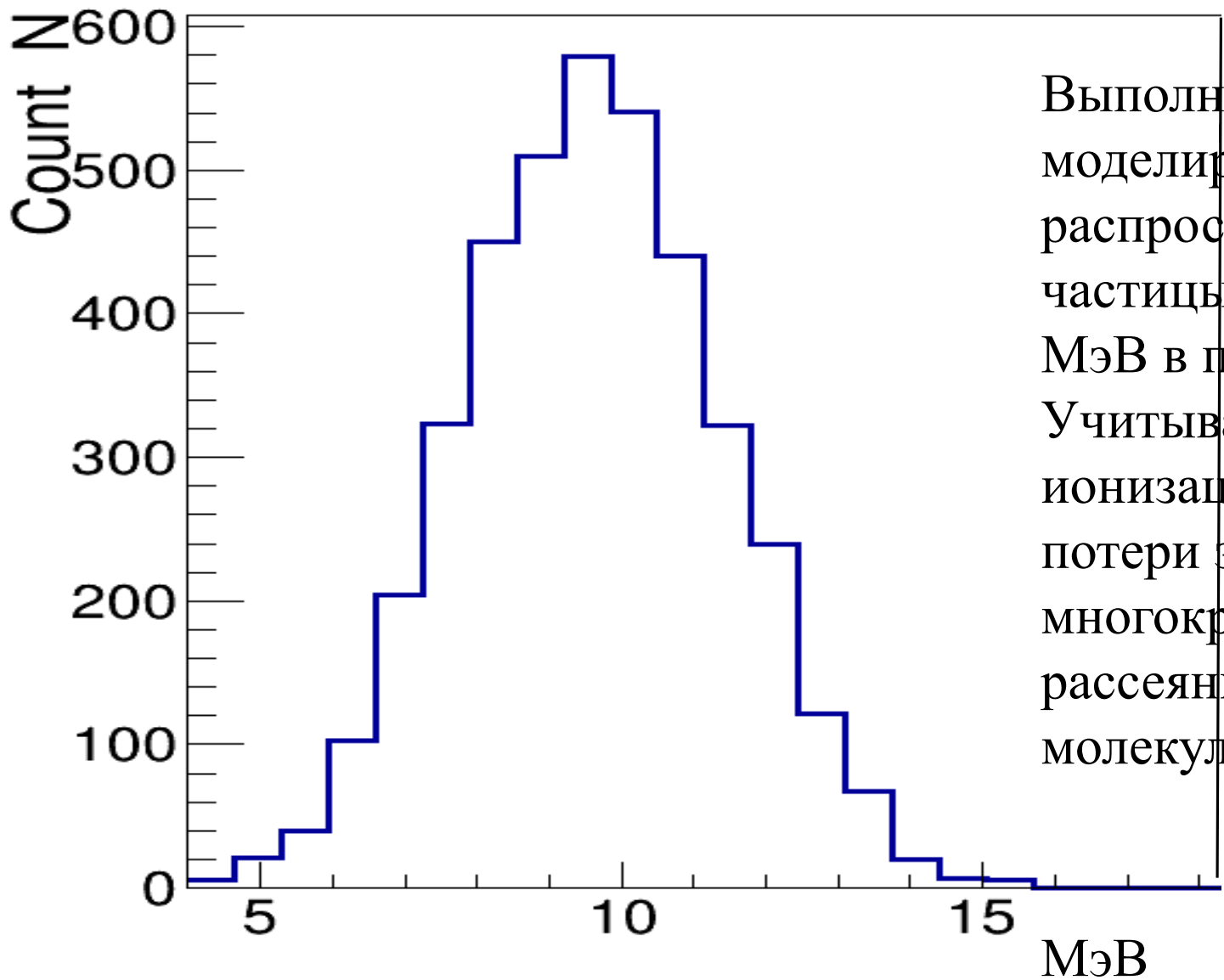
Зарегистрировано

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.

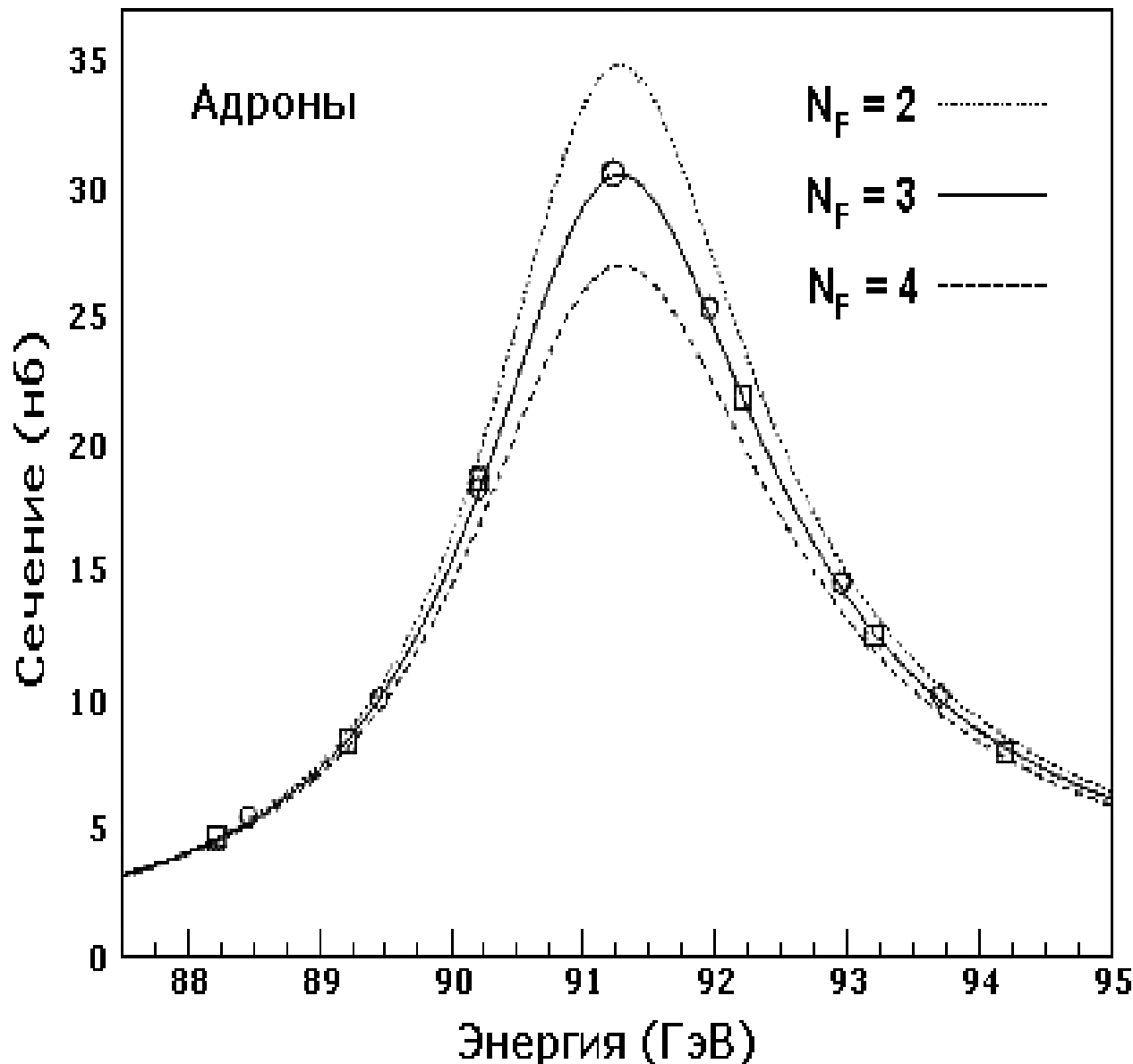
Оценка сечения рождения аномального лептона.

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 σ_{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.

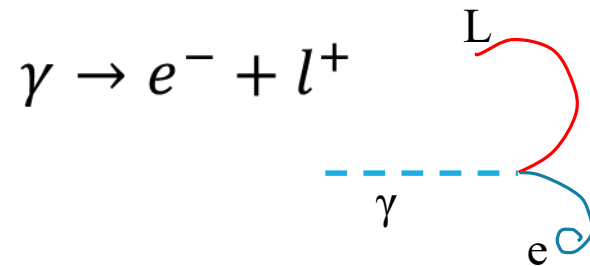
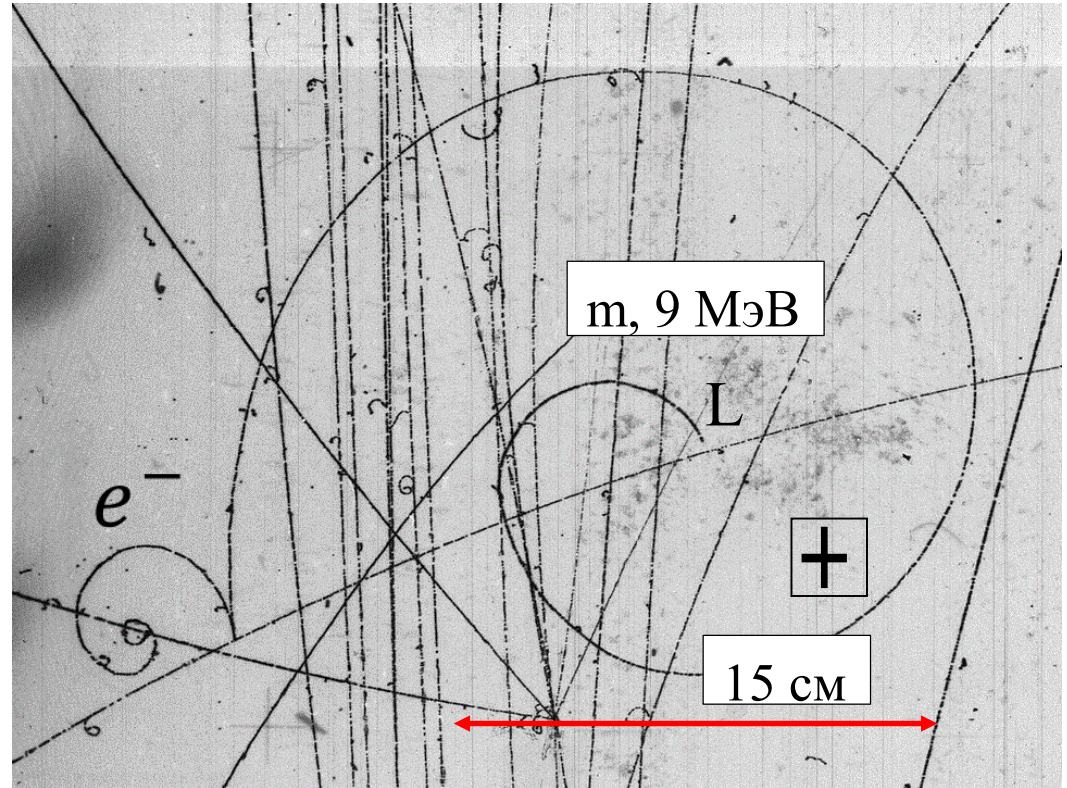
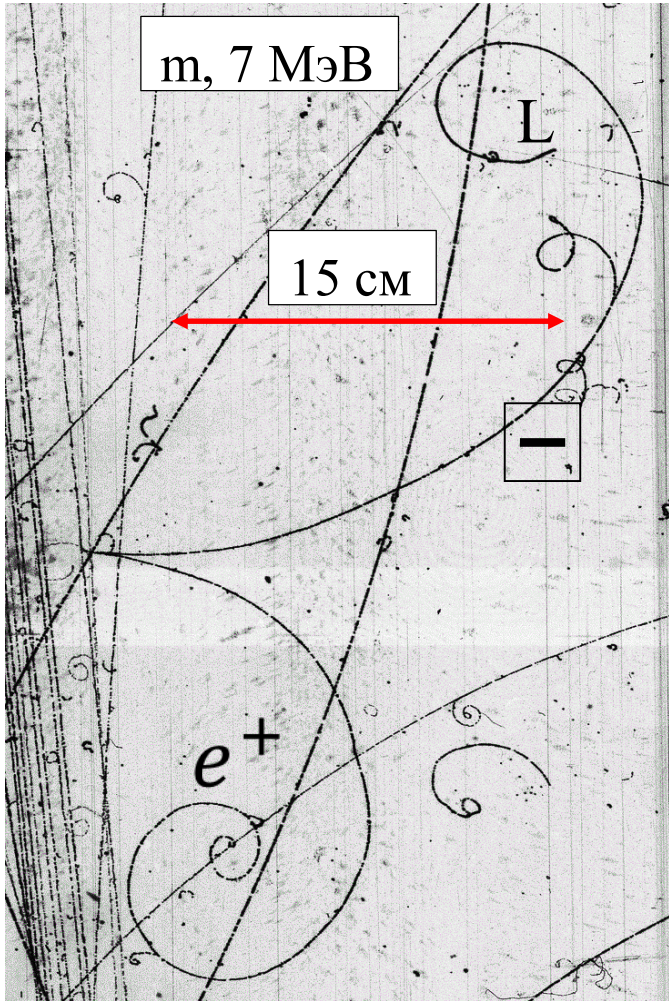
Резонансная кривая Z-бозона /7/. $M(Z) = 91.188 \pm 0.007$ ГэВ



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^+ .



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

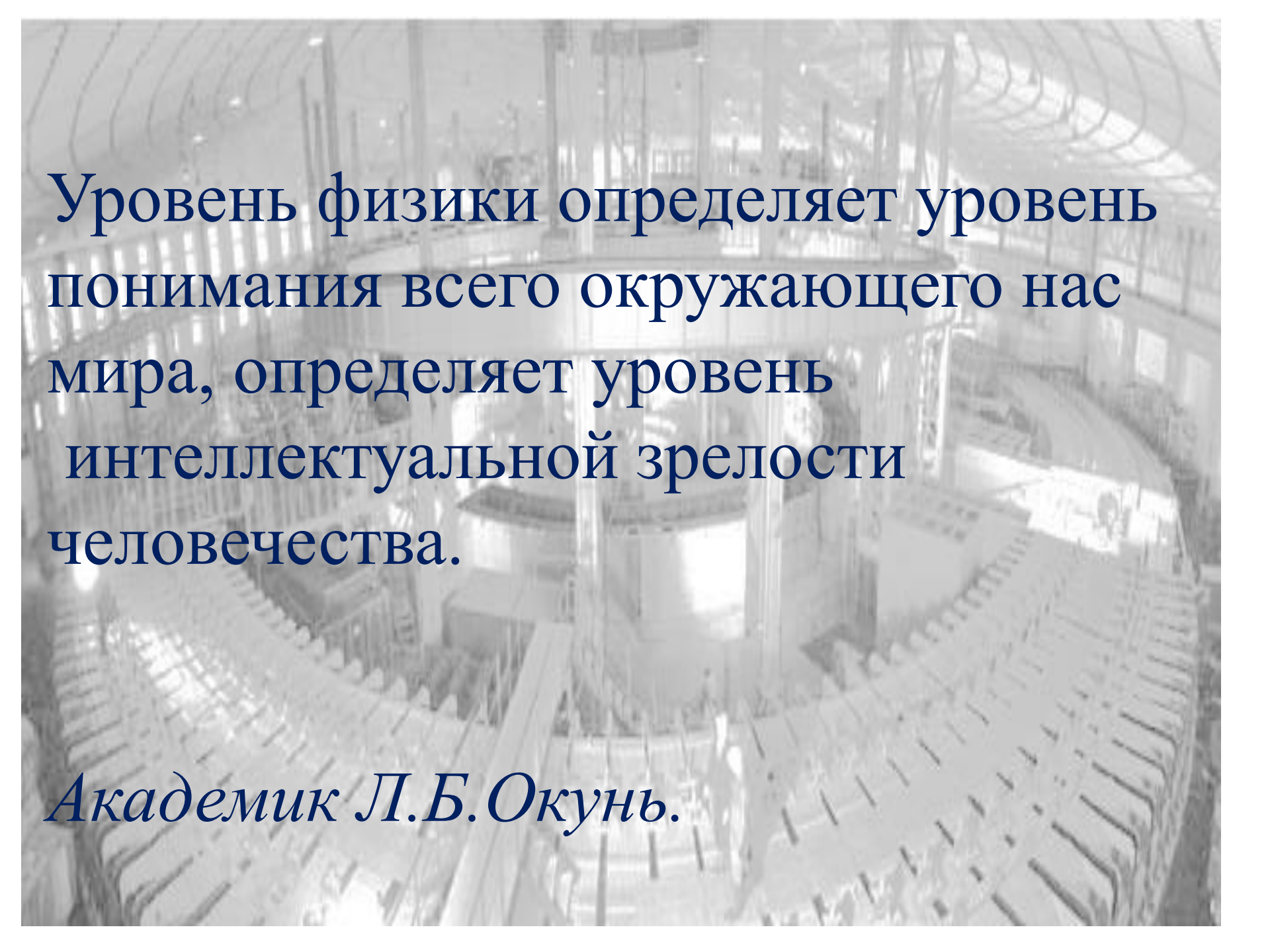
«Лептон L» должен иметь квантовые числа электрона (с противоположным знаком). В остальном, природа частицы L **неизвестна**.

Заключение.

Анализируются события конверсии γ кванта в пару заряженных частиц. Найдено 47 аномальных события с массой одной из частиц ~ 8 МэВ. Искомые частицы лежат в интервале импульса 20 – 120 МэВ/с. Получена оценка времени 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. .

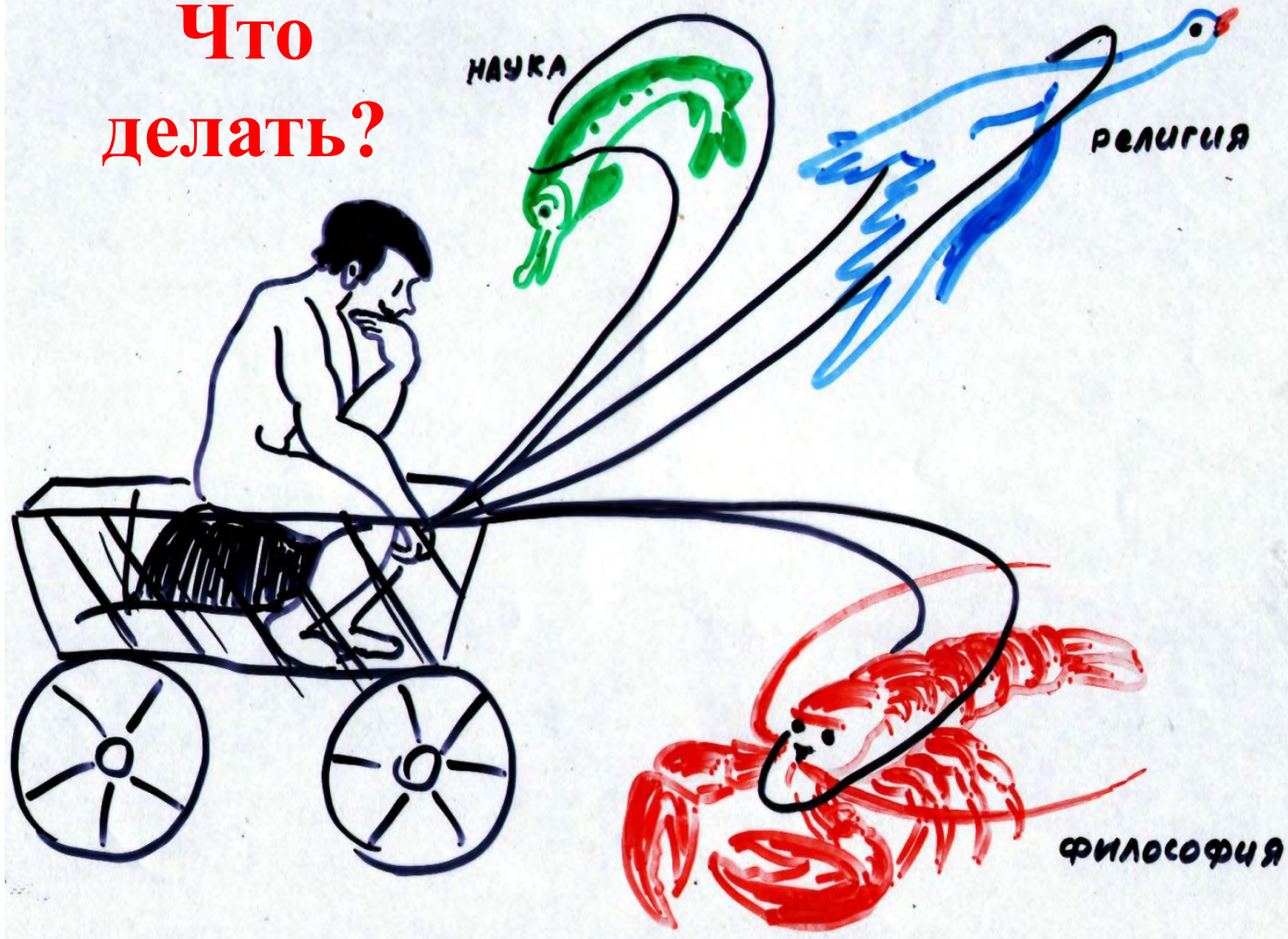
Авторы благодарны А.А. Балдину и А.Ю. Трояну за предоставленную возможность работать с фото материалом пропановой камеры, А.В. Белобородову за организацию и ведение базы данных оцифрованных плёнок. Мы благодарны Беляеву А.В. за содействие и помощь в работе, за создание программы измерения почернения 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?**



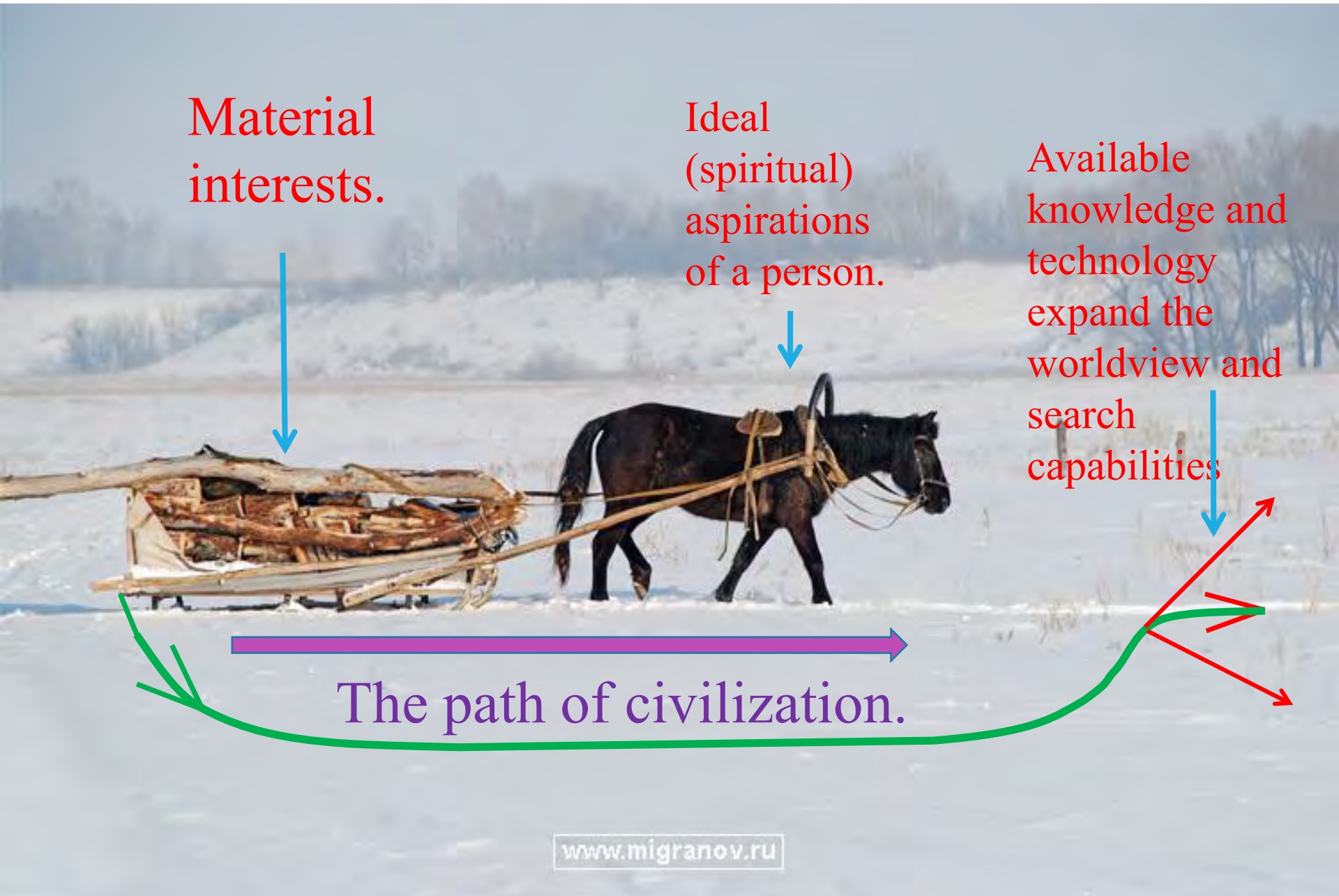
The relation of spiritual and material.

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.



Синхрофазотрон. Общий вид