



**Институт ядерной физики и технологий
Кафедра №40 «Физика элементарных частиц»**

Теоретическое указание на возможную асимметрию в гамма-излучении между полушариями темного гало галактики M31.

Выполнила: студентка гр. М18-115

Шлепкина Е.С.

Руководитель научно-исследовательской работы:

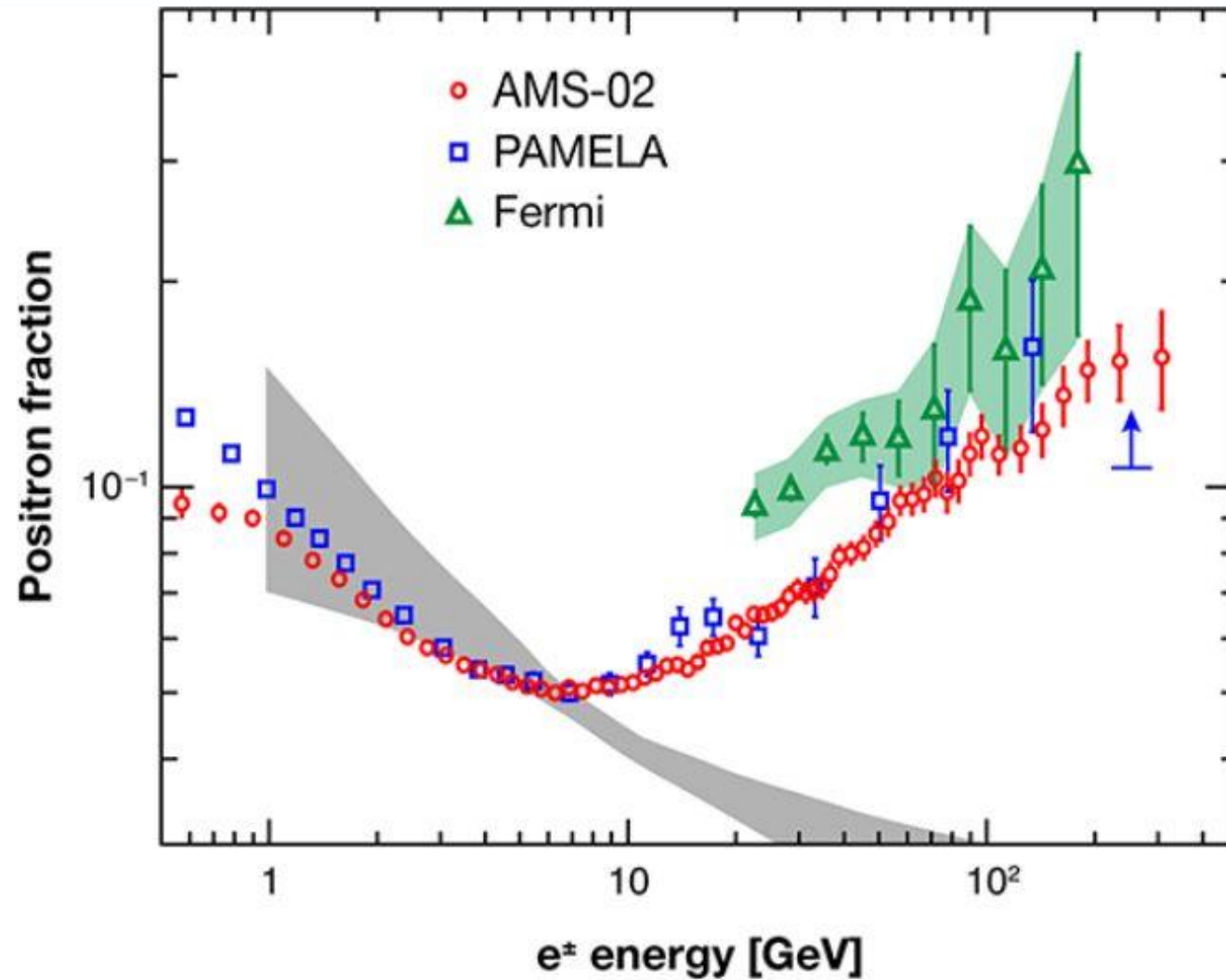
в.н.с. Белоцкий К.М

Москва, 2021

МОТИВАЦИЯ

- Скрытая масса – источник высокоэнергетичных позитронов (электронов), как объяснение позитронной аномалии в космических лучах («Эффект Памелы»).
- Распространяясь через межзвездную среду, такие позитроны/электроны будут создавать специфический сигнал из фотонов сгенерированных обратным комптоновским рассеянием (ICS).
- Процесс ICS на таких позитронах может указать на некоторую анизотропию в потоке гамма-излучения.

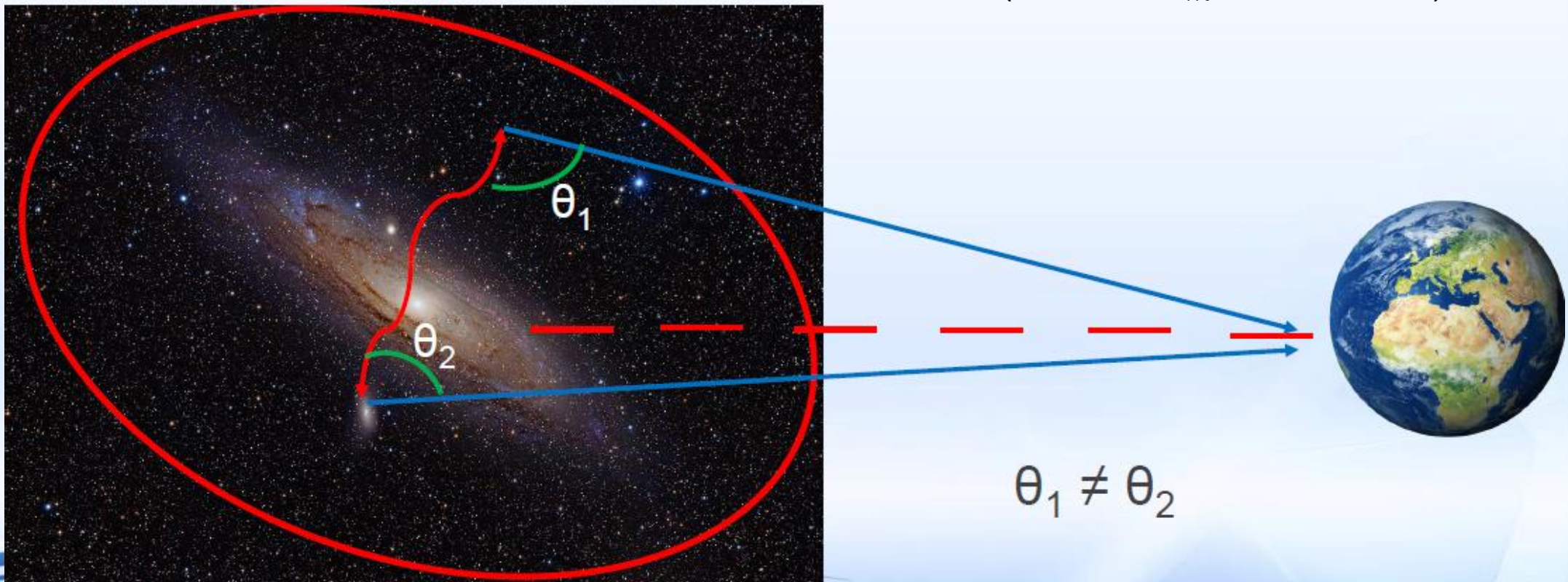
ПОЗИТРОННАЯ АНОМАЛИЯ



УГЛОВАЯ АССИМЕТРИЯ ОТ ICS ФОТОНОВ

Формула Клейна-Нишины

$$\frac{d\sigma}{d\epsilon'_1 d\Omega'_1} = \frac{3}{16\pi} \sigma_T \left(\frac{\epsilon'_1}{\epsilon'} \right)^2 \left(\frac{\epsilon'}{\epsilon'_1} + \frac{\epsilon'_1}{\epsilon'} - \sin^2 \theta'_1 \right) \delta \left(\epsilon'_1 - \frac{\epsilon'}{1 + \frac{\epsilon'}{m}(1 - \cos \theta'_1)} \right)$$



РАСЧЁТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОТОКА

$$\frac{d\Phi}{d\epsilon_1} = \frac{1}{\epsilon_1} \frac{\langle \sigma_{ann} v \rangle}{4\pi} r_{\odot} \frac{\rho_0^2}{M_{DM}^2} \bar{J} \Delta\Omega \int_{m_e}^{M_{DM}} dE \frac{\mathcal{P}(\epsilon_1, E)}{\dot{\mathcal{E}}(E)} Y(E)$$

Не учитывается угловая анизотропия!

\bar{J} - геометрический фактор

$$\bar{J} \Delta\Omega = \int_{\Delta\Omega} d\Omega \int_{\text{line-of-sight}} \frac{ds}{r_{\odot}} \left(\frac{\rho(r)}{\rho_{\odot}} \right)^2$$

$\rho(r)$ - профиль распределения скрытой массы (Использовался профиль Наварро – Фрэнка -Уайта)

$$\rho_{NFS}(r) = \rho_s \frac{r_s}{r} \left(1 + \frac{r}{r_s} \right)^{-2}$$

ϵ - энергия начального фотона

ϵ_1 – энергия рассеянного фотона

$\langle \sigma_{ann} v \rangle = 3 \cdot 10^{-26}$ см³/сек

ρ_0 - плотность скрытой массы в М31

$M_{DM} = 1 - 3$ ТэВ – масса частицы скрытой массы

$\Delta\Omega = 3^\circ \times 5^\circ$ - Телесный угол, охватывающий М31 и ее темное гало

$\mathcal{E}(E,r)$ -полная скорость потери энергии электроном на счет ICS

$\mathcal{P}(\epsilon_1, E, r)$ -дифференциальная мощность излучения электронов в фотоны

$Y(E)$ - число электронов, генерируемых с энергией больше E за один акт распада.

РАСЧЁТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОТОКА

$$\frac{d\Phi}{d\epsilon_1} = \frac{1}{\epsilon_1} \frac{\langle \sigma_{ann} v \rangle}{4\pi} r_0 \frac{\rho_0^2}{M_{DM}^2} \int_{\Delta\Omega} d\Omega \int_{\text{l.o.s.}} \frac{ds}{r_0} \left(\frac{\rho(r)}{\rho_0} \right)^2 \times$$

$$\times \int_{\Omega_\gamma} d\Omega_\gamma Q_\gamma(\Omega_\gamma) \int_{m_e}^{M_{DM}} dE \frac{\mathcal{P}(\epsilon_1, E)}{\dot{\mathcal{E}}(E)} Y(E)$$

$$Q_\gamma(r, \alpha) = \frac{1}{\pi Y(r)} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \sin^2 \alpha \right)^{-1/2},$$

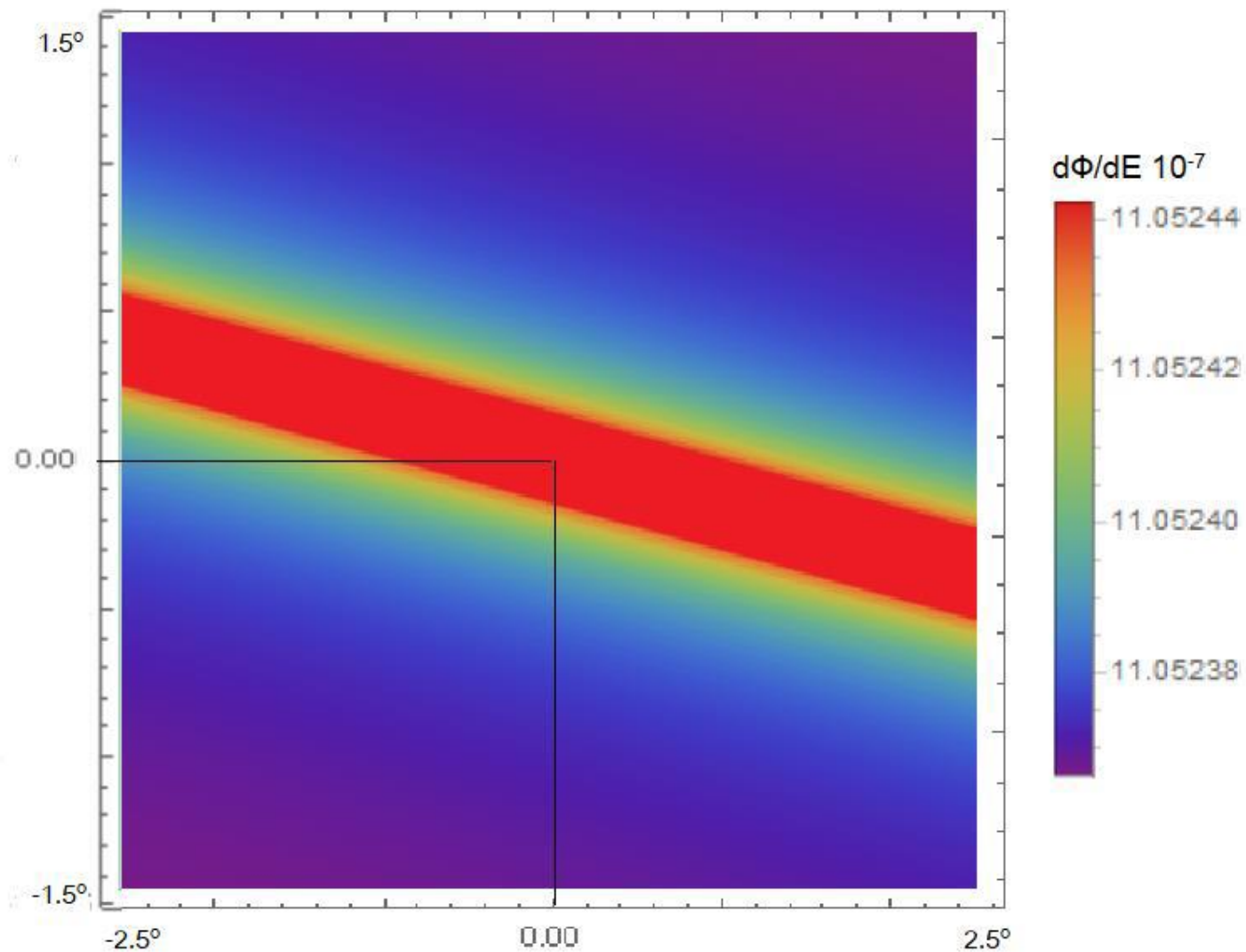
$$Y(r) = 1 - \frac{r^2 - R^2}{2rR} \ln \left(\frac{r + R}{r - R} \right)$$

$$\left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right)^{1/2} \leq \cos \alpha \leq 1$$

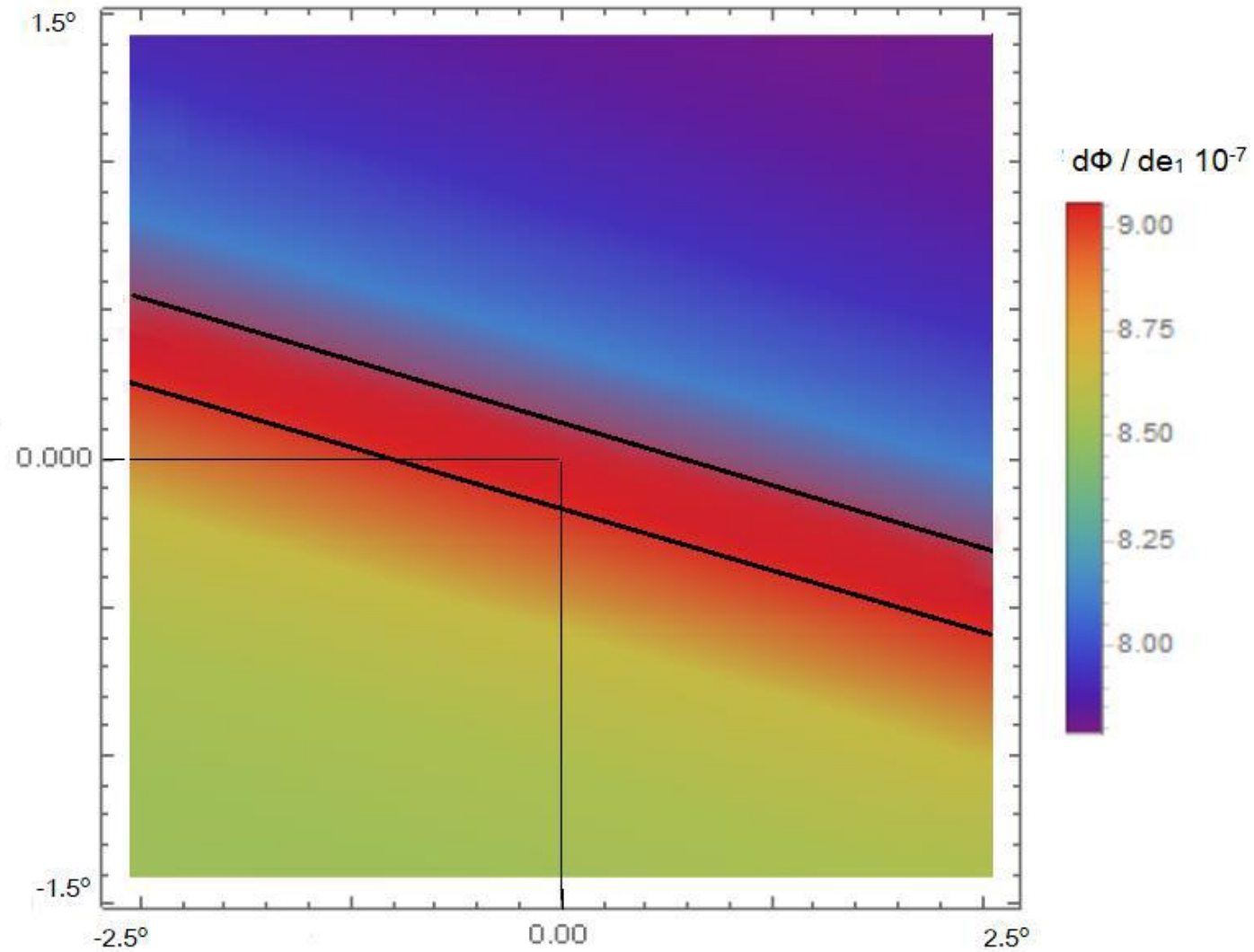
$Q_\gamma(r, \alpha)$ - угловое распределение ICS фотонов, в приближении излучающей поверхности

Угол α – угол налетания фотона на электрон, R – радиус галактического темного гало туманности Андромеды и r – расстояние до нее.

КАРТА ПОТОКОВ ДЛЯ ИЗОТРОПНОГО СЛУЧАЯ



КАРТА ПОТОКОВ ДЛЯ АНИЗОТРОПНОГО СЛУЧАЯ



ПРЯМОЙ РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОЙ АСИММЕТРИИ

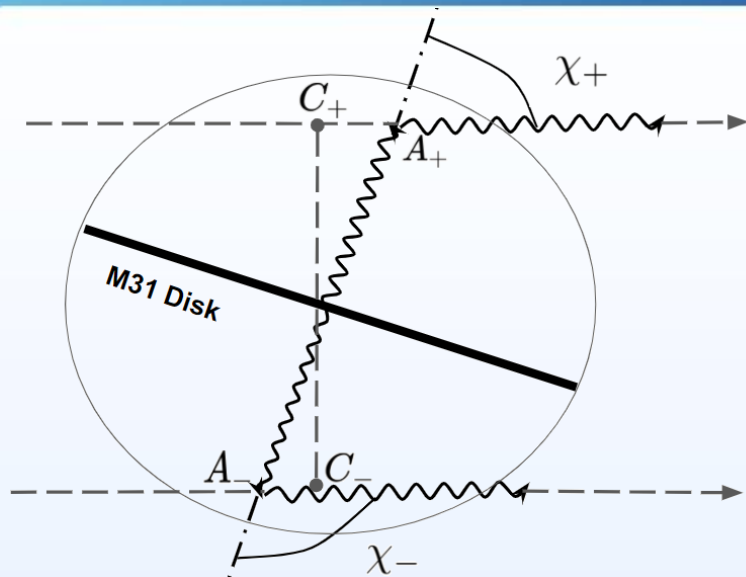
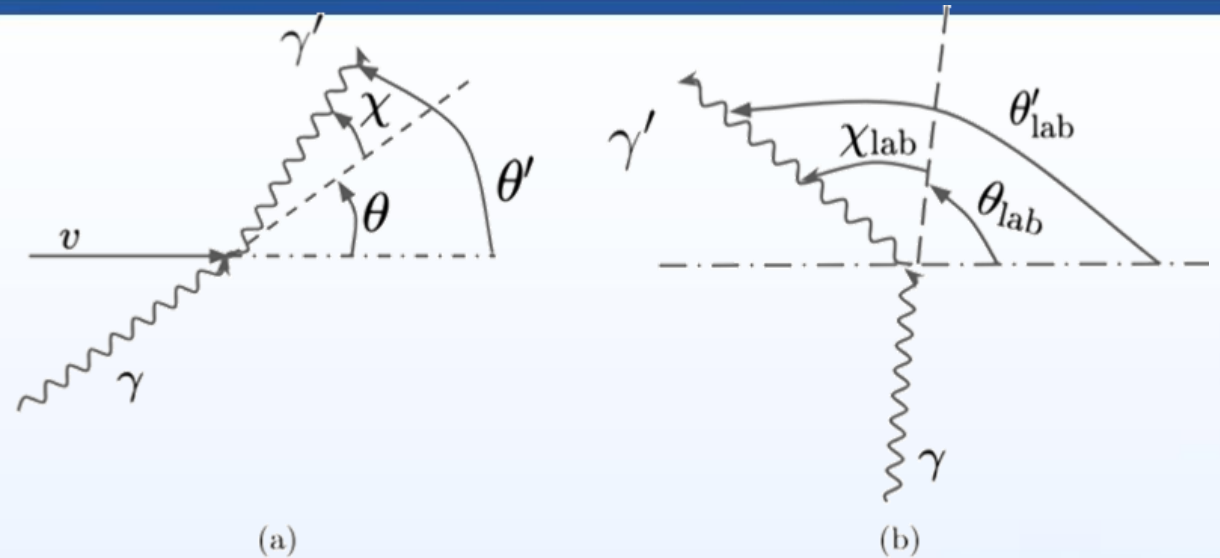


Схема процесса рассеяния в верхнем и нижнем полушариях M31 в выбранных точках



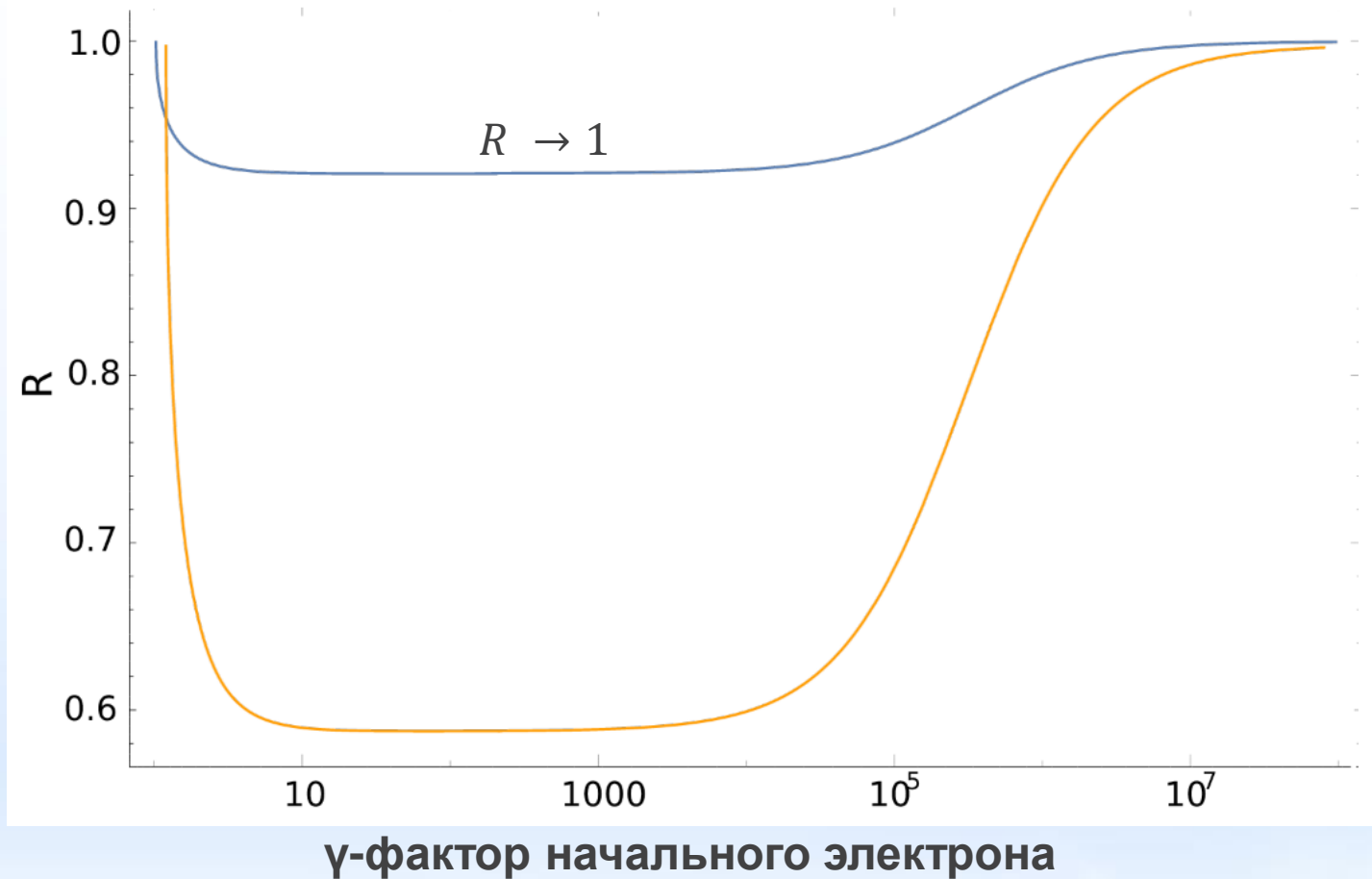
Процесс ICS в двух система отсчета: «реальная» система отсчета (a) и лабораторная система отсчета (b)

$$\epsilon'_{max} = \frac{\epsilon (1 - \cos \chi)}{1 - v + \frac{\epsilon}{\gamma m} (1 - \cos \chi)}$$

$$R = \frac{\epsilon'_{max+}}{\epsilon'_{max-}}$$

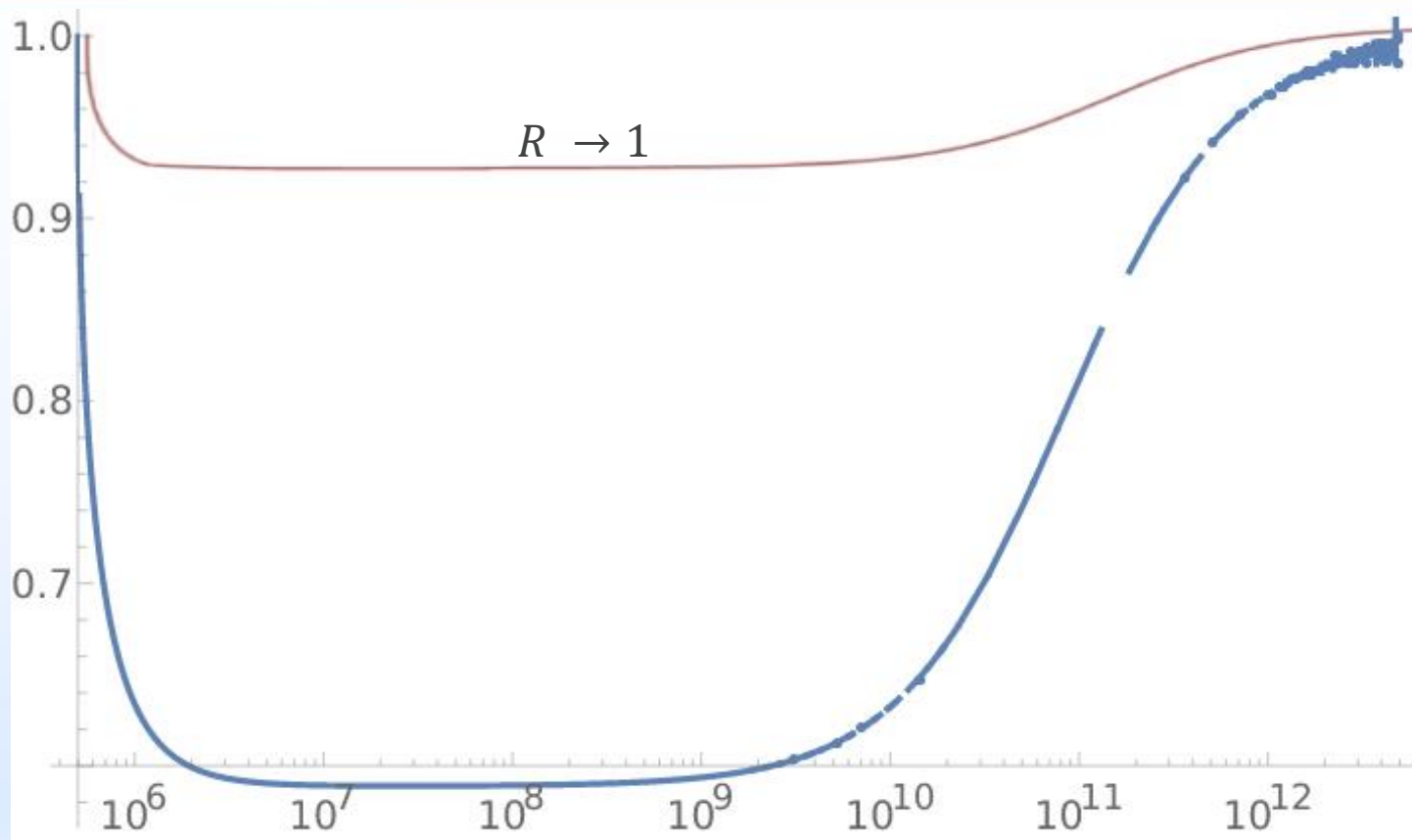
ϵ – энергия начального фотона
 ϵ' – энергия рассеянного фотона
 m – масса электрона
 γ – гамма-фактор начального электрона
 v – скорость начального электрона

СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА



Зависимость R от γ -фактора начального электрона: расчет геометрическим методом (оранжевая линия) и аналитическим методом (синяя линия)

СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА



Энергия начального электрона

Зависимость R от энергии начального электрона: расчет геометрическим методом (синяя линия) и аналитическим методом (красная линия)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Был рассмотрен возможный эффект анизотропии в галактике M31, который может косвенно указать на присутствие скрытой массы в гало галактики.
- Разработаны два метода расчета возможной анизотропии. Геометрический и аналитический.
- С помощью аналитического метода были построены карты потоков от ICS-излучения, на которых анизотропия проявилась в долях процентов.
- Проведена проверка результатов, полученных с помощью геометрического метода.