

**Баренбаум А.А.
ИПНГ РАН**

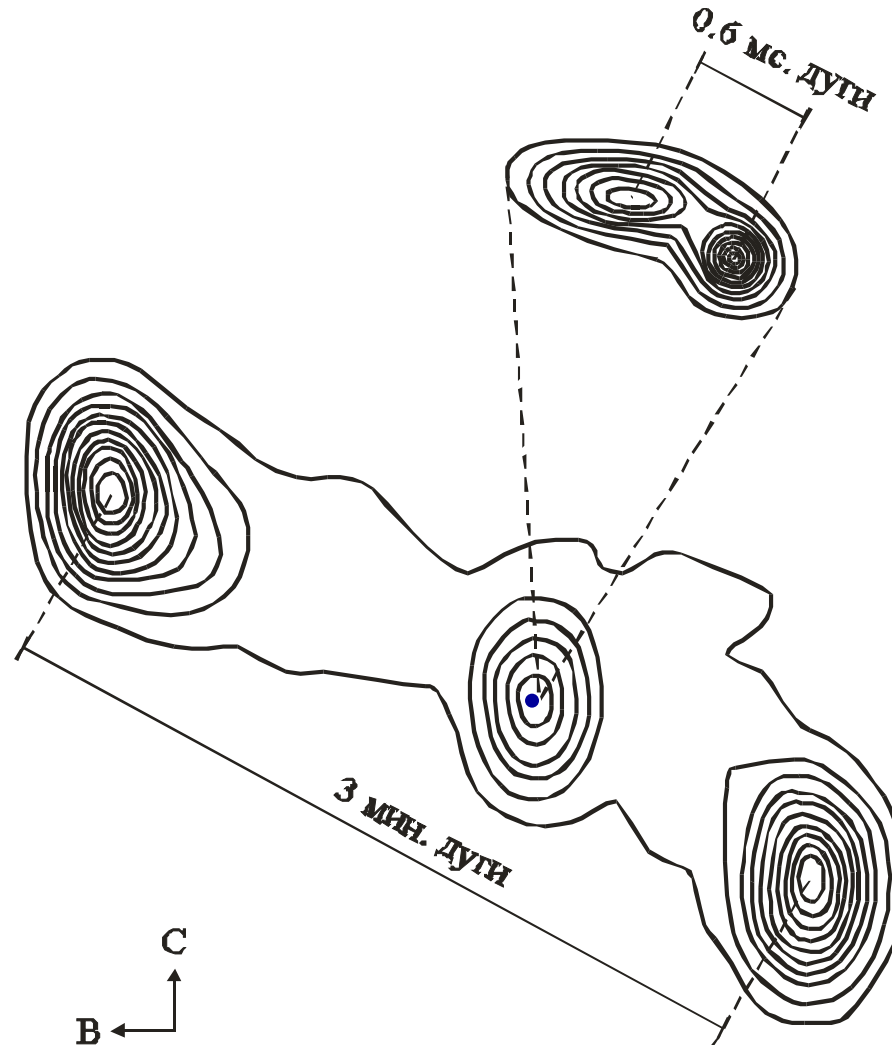
**О ПОВЕДЕНИИ НЕИДЕАЛЬНОЙ
КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ
В СПИРАЛЬНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ
ПОЛЕ ГАЛАКТИК**

**Научно-координационная сессия
«Исследования неидеальной плазмы»
Москва – 1.12.2010**

ПЛАН

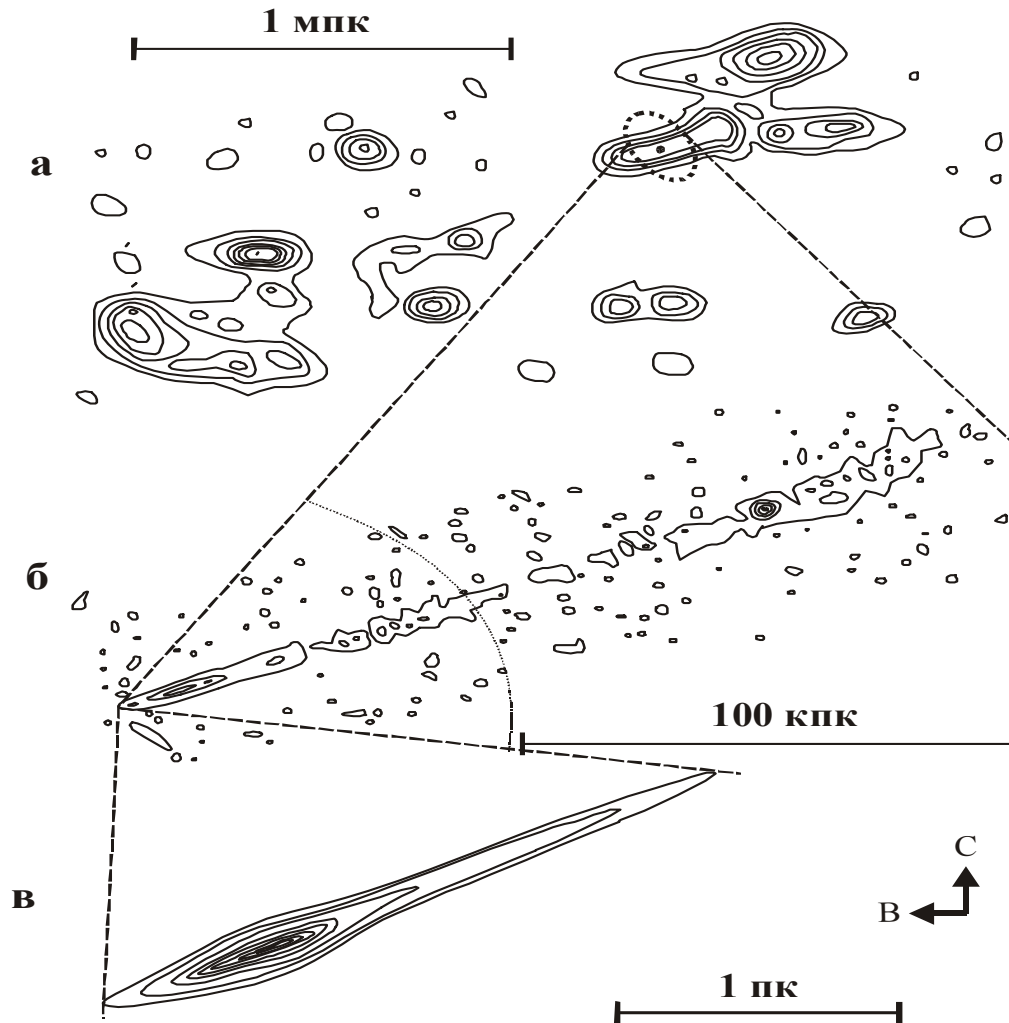
- 1. Физическая природа джетов радиогалактик**
- 2. Присутствие в джетах электромагнитного поля специфической спиральной конфигурации**
- 3. Поведение неидеальной космической плазмы в спиральном электромагнитном поле галактик**
- 4. Механизм ускорения космической плазмы на примере космических лучей**
- 5. Выводы**

Радиогалактики с двухсторонними джетами



Радиогалактика 3С 111

Радиогалактики с односторонними джетами



Радиогалактика NGC 6251

Некоторые формулы

Сила Лоренца: $\mathbf{F} = e \cdot \mathbf{E}_{\parallel} + e/c [\mathbf{v} \times \mathbf{H}_{\perp}]$

e – заряд частицы;

\mathbf{v} – скорость частицы;

c – скорость света;

\mathbf{E}_{\parallel} – напряженность продольного электрического поля;

\mathbf{H}_{\perp} – напряженность поперечного магнитного поля.

Циклотронный радиус релятивистской частицы: $r = \varepsilon / (e \cdot H_{\perp})$

ε – энергия частицы.

Частота максимума интенсивности синхротронного излучения:

$$\nu_m = 1.4 \cdot 10^6 \cdot H_{\perp} \cdot (\varepsilon / mc^2)^2$$

m – масса частицы.

Угол направленности синхротронного излучения: $\vartheta \sim mc^2 / \varepsilon$

Интенсивность излучения: $\partial\varepsilon / \partial t = 10^{-3} \cdot H_{\perp}^2 \cdot (\varepsilon / mc^2)^2$

ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ДЖЕТЫ ?

ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ДЖЕТЫ ?

ГИПОТЕЗЫ:

- 1. Выброшенные сгустки релятивистской плазмы (модель плазмоида).**
- 2. Модель с непрерывной подкачкой в плазмоид энергии в форме волновых или релятивистских потоков.**
- 3. Модель, включающая массивный объект.**

ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ДЖЕТЫ ?

ГИПОТЕЗЫ:

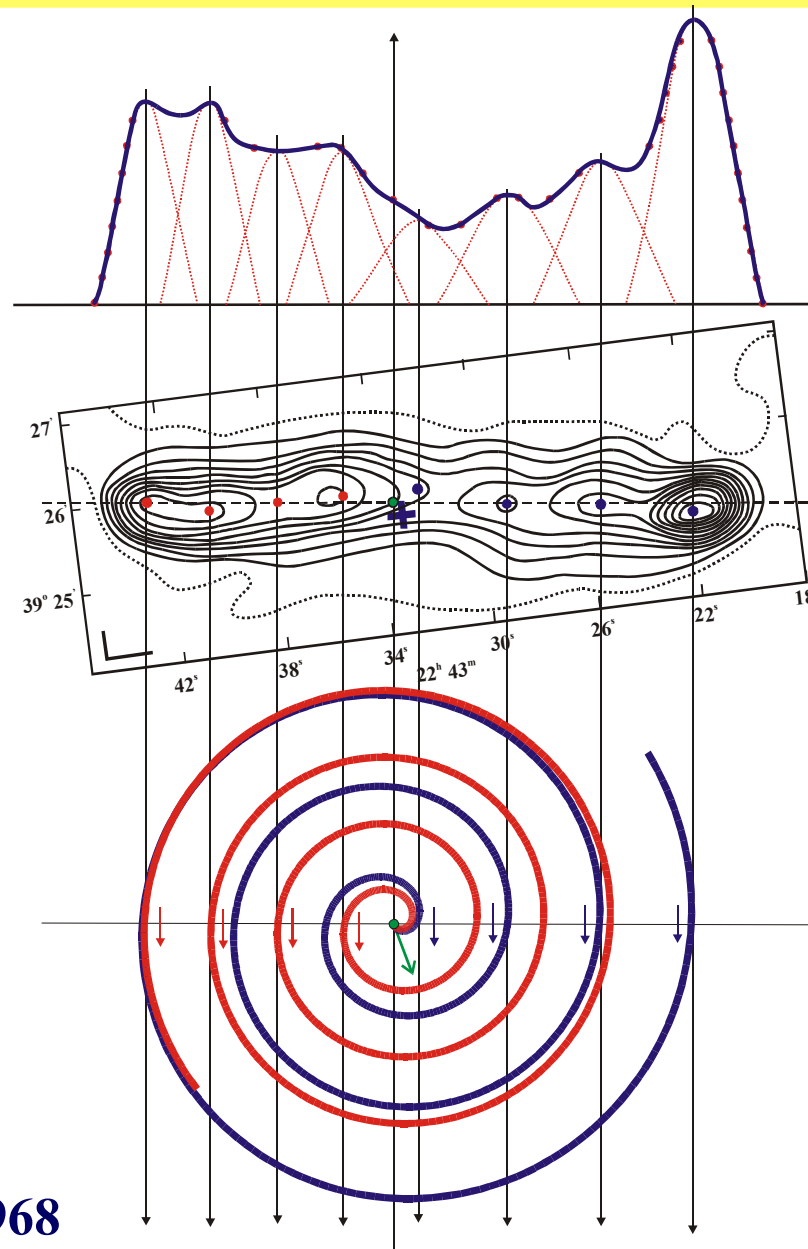
- ~~1. Выброшенные сгустки релятивистской плазмы (модель плазмоида).~~
- ~~2. Модель с непрерывной подкачкой в плазмоид энергии в форме волновых или релятивистских потоков.~~
- ~~3. Модель, включающая массивный объект.~~

ДЖЕТЫ –

**это вращающиеся синхротронно
излучающие электромагнитные
спирали**

Радиогалактика 3С 452

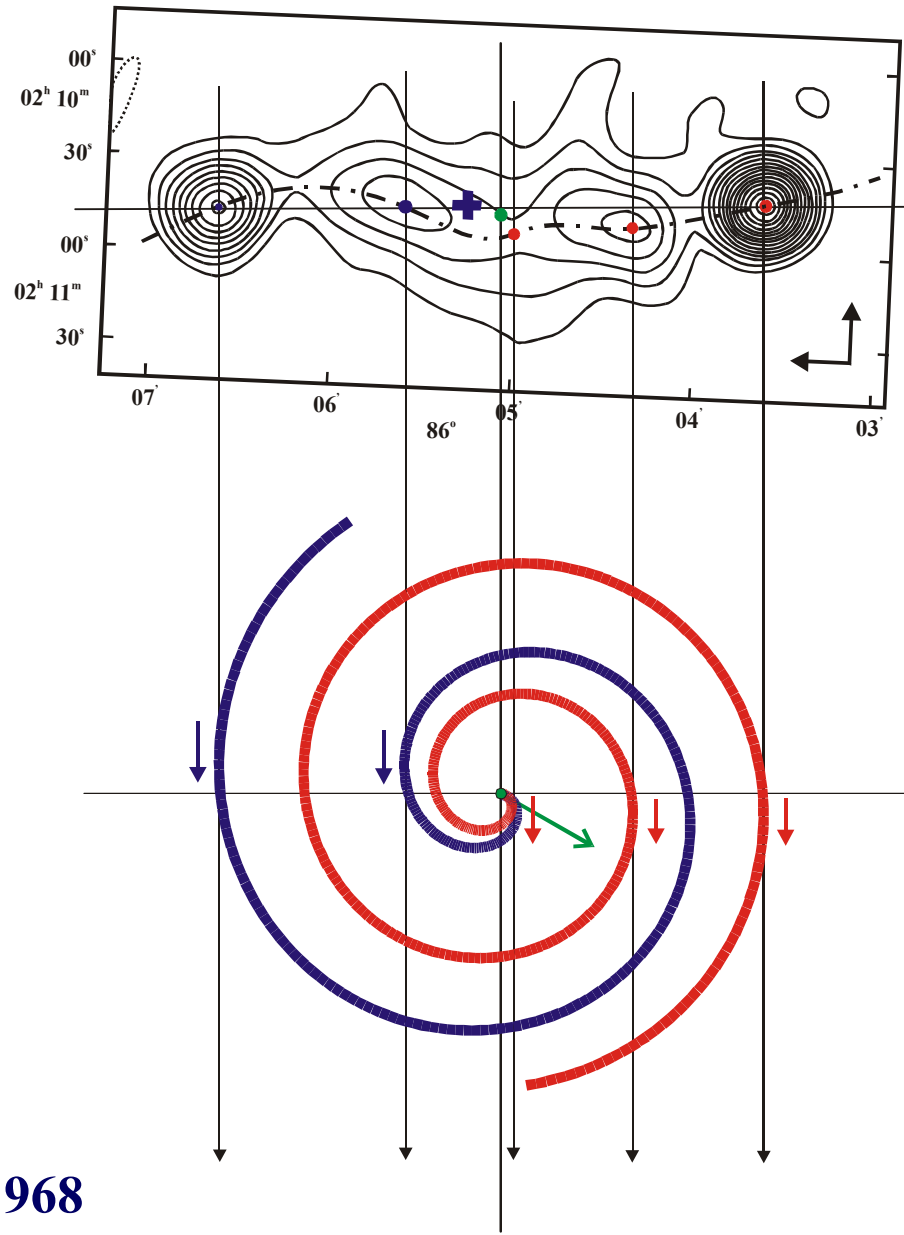
408 МГц



Macdonald et al., 1968

Радиогалактика ЗС 61.1

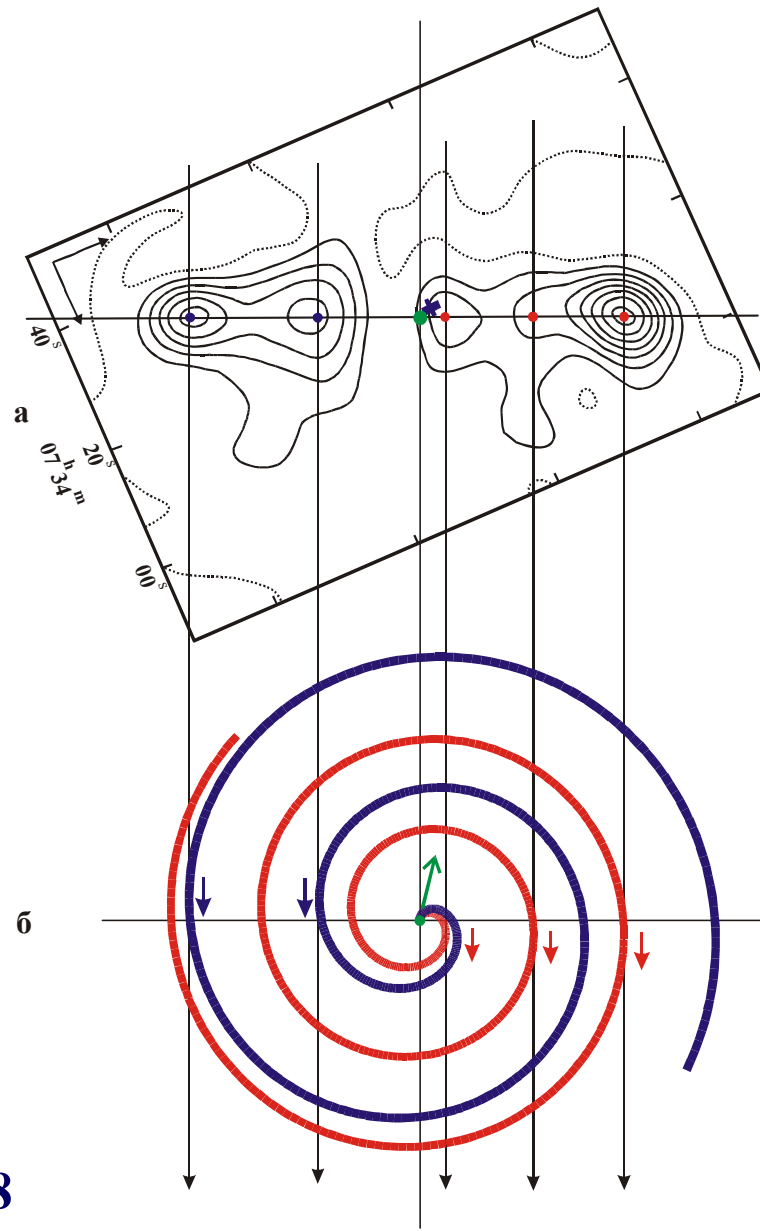
408 МГц



Macdonald et al., 1968

Радиогалактика 3С 184.1

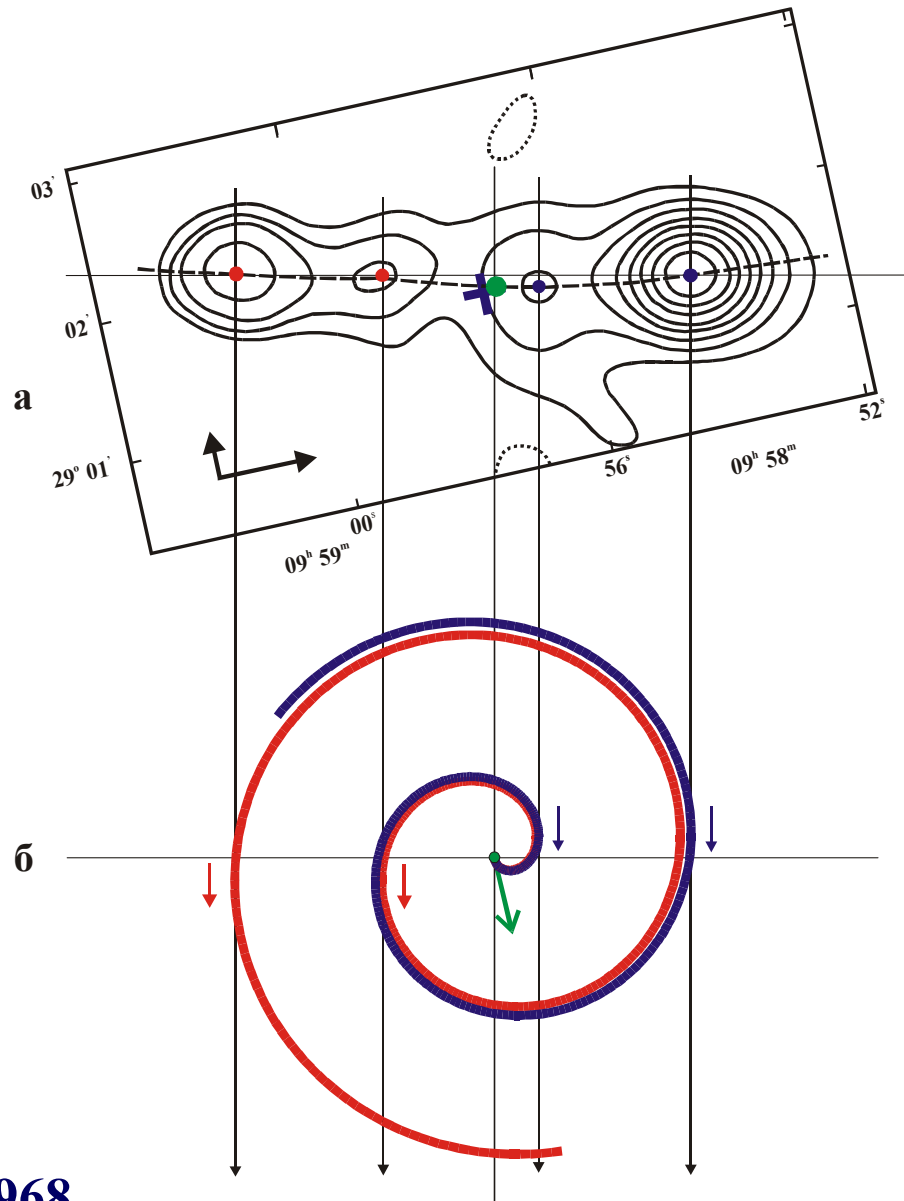
408 МГц



Macdonald et al., 1968

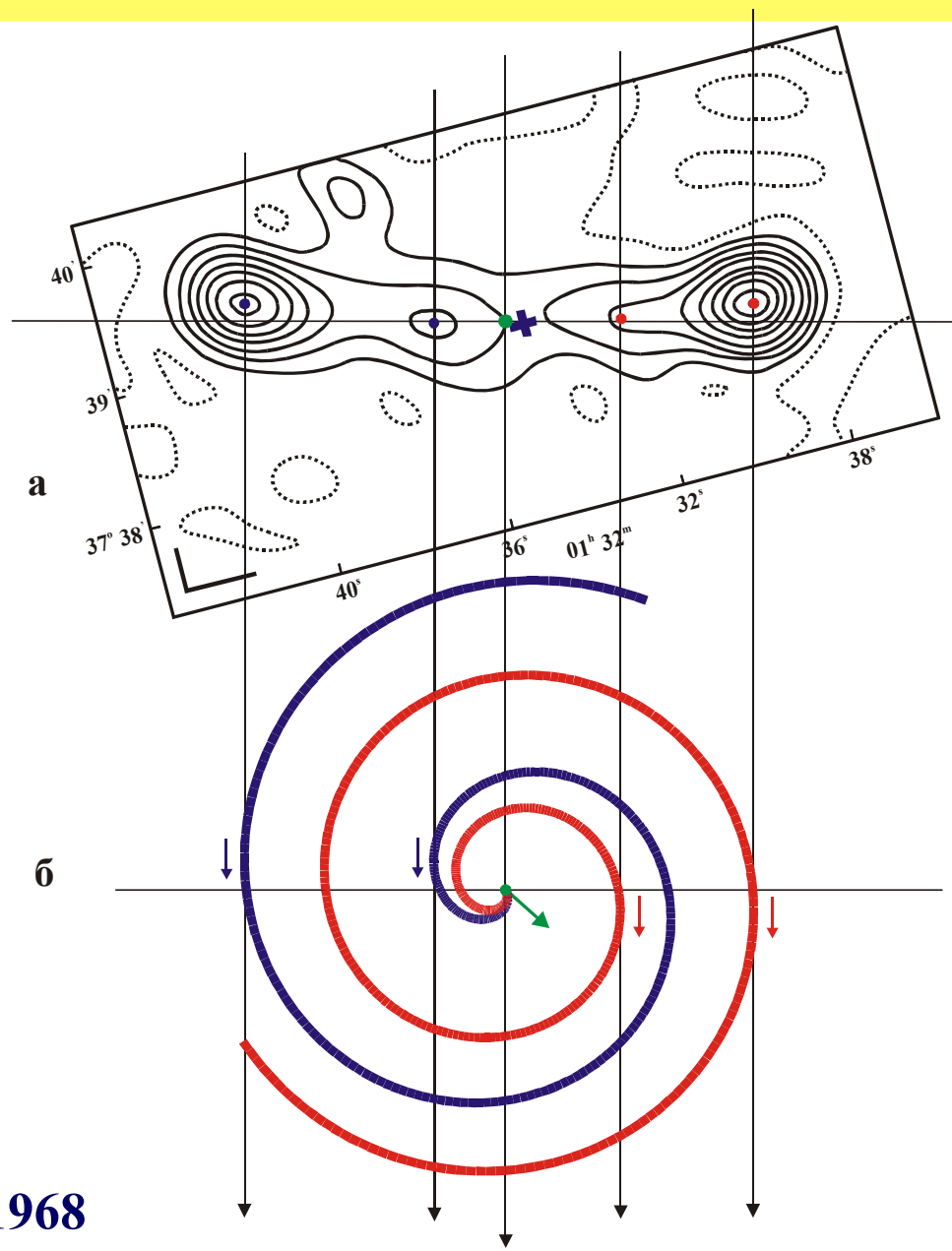
Радиогалактика 3С 234

408 МГц



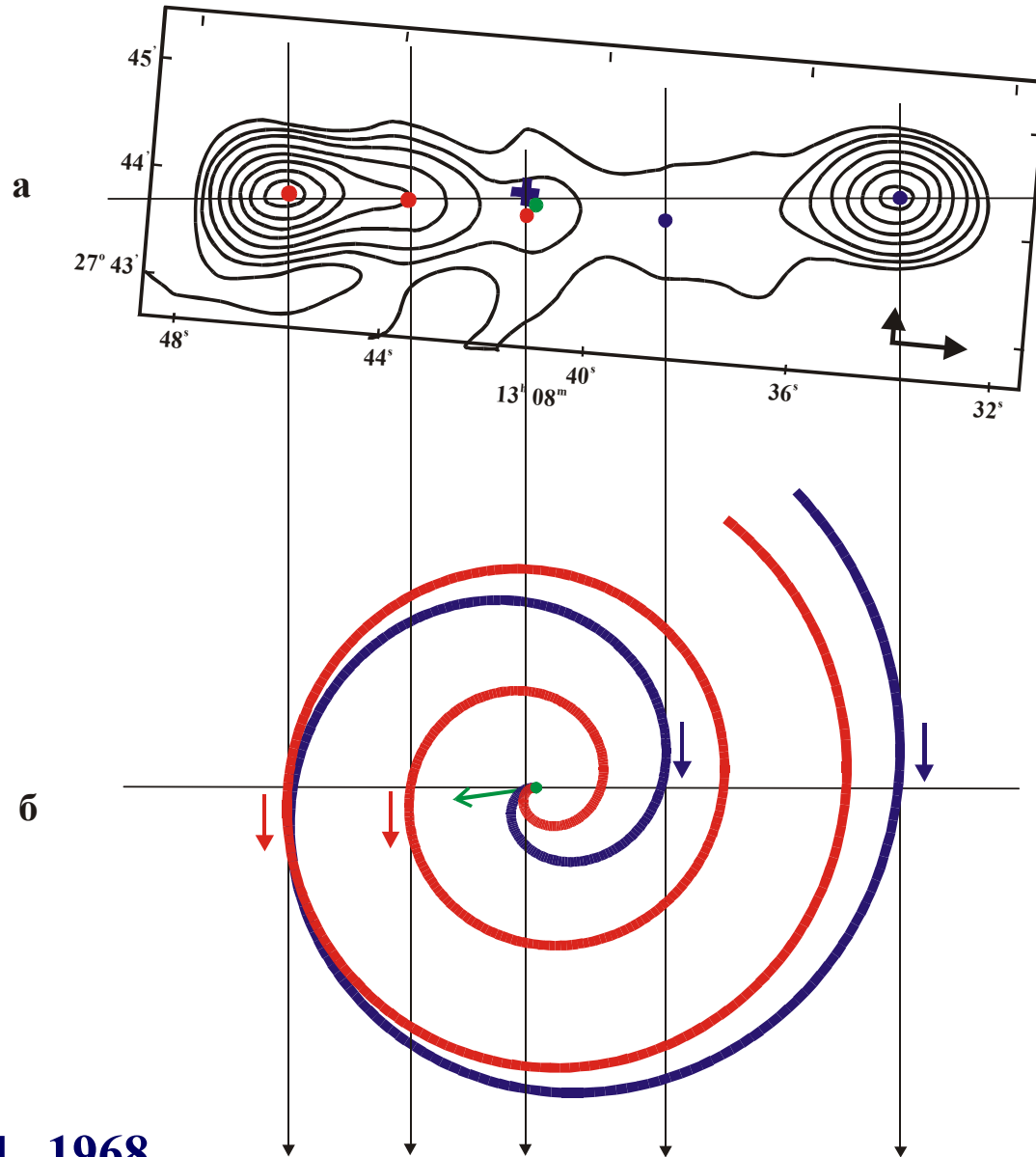
Радиогалактика 3С 46

408 МГц



Радиогалактика 3C 284

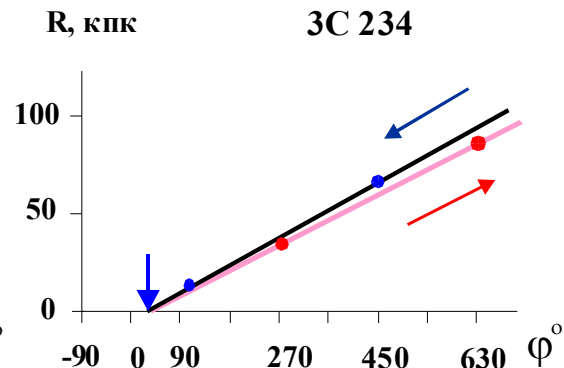
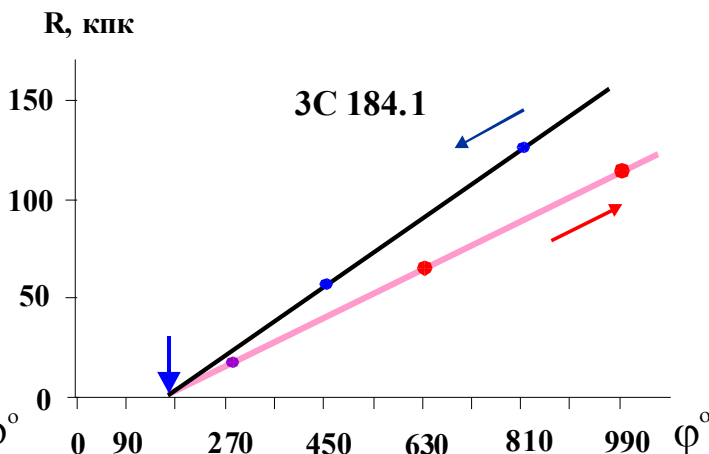
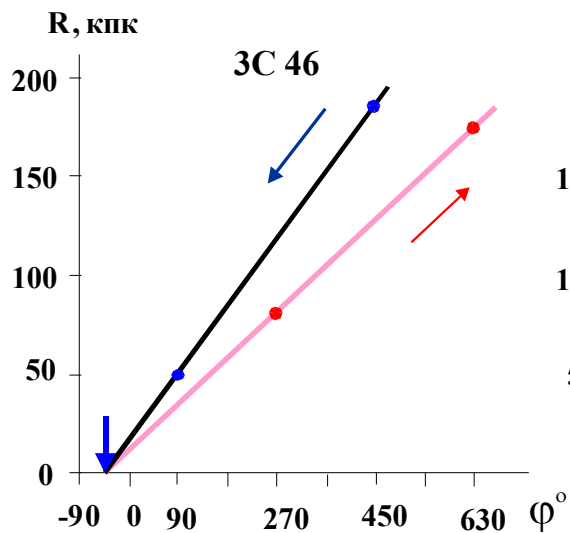
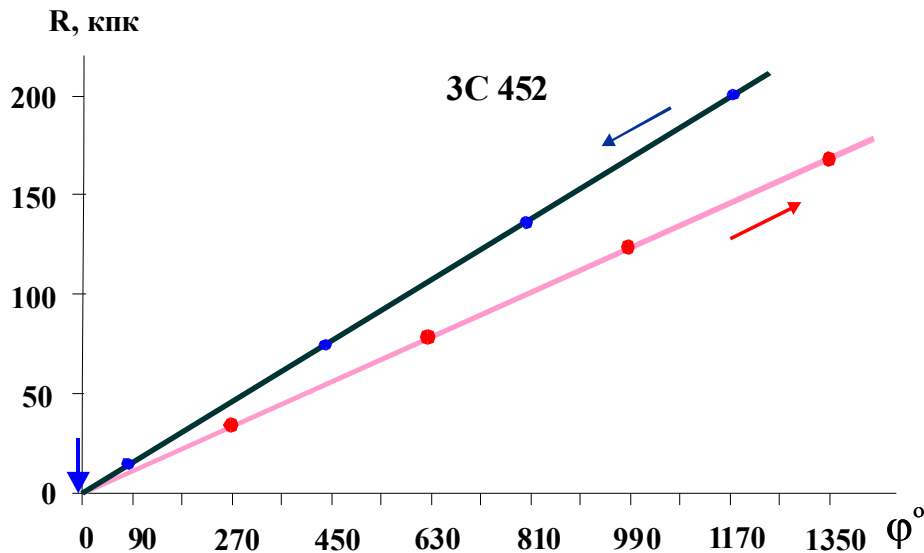
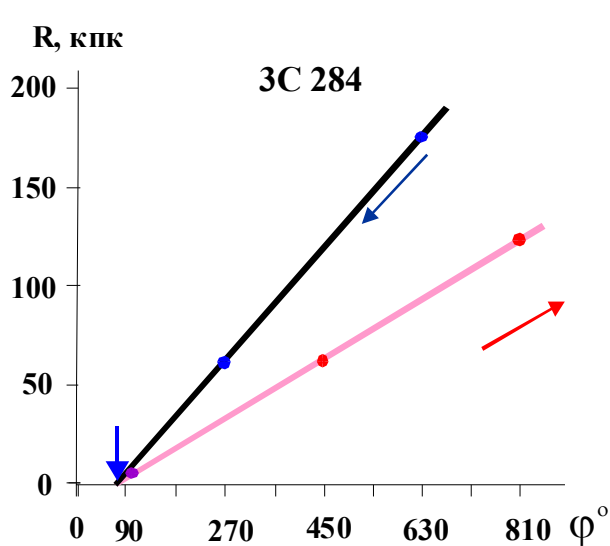
408 МГц



Родительские галактики радиоисточников

Радиоисточник	Родительская галактика	Удаление
3C 46	Красная галактика	630 Мпк
3C 61.1	Галактика, $\sim 19.5^m$	630 Мпк
3C 184.1	Красная галактика, $\sim 17^m$	270 Мпк
3C 234	N-галактика, очень голубая, 17.5^m	490 Мпк
3C 284	Красная галактика, 18.5^m	450 Мпк

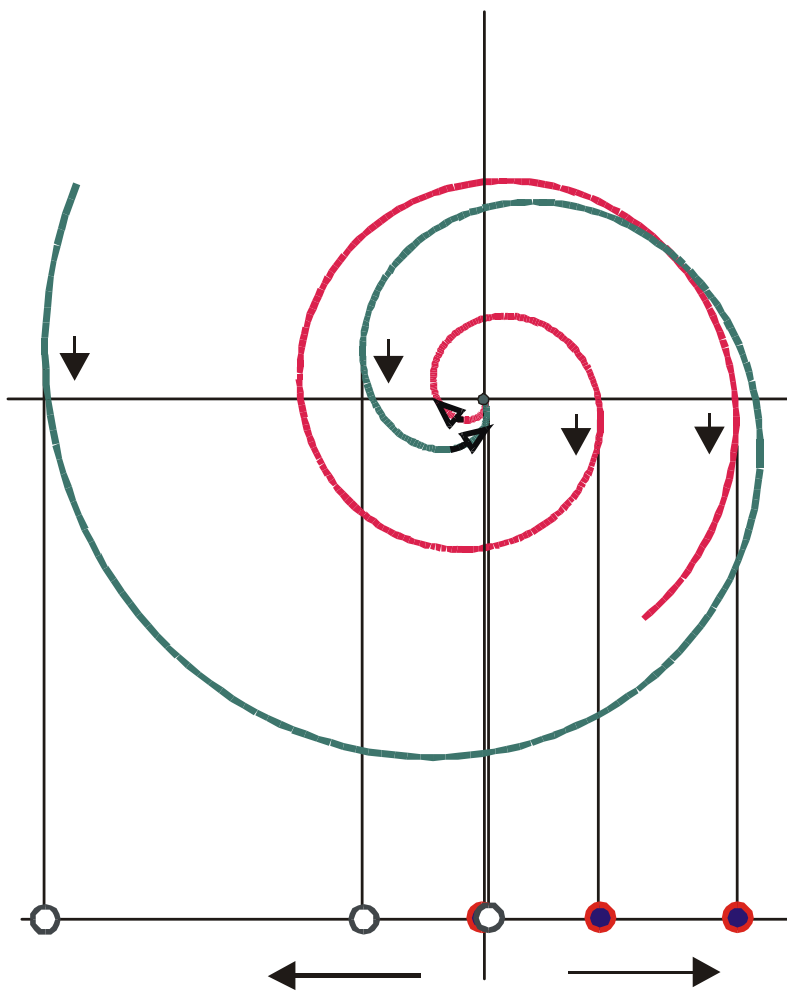
Радиоспирали на графике в полярных координатах



Основные типы спиральных конструкций

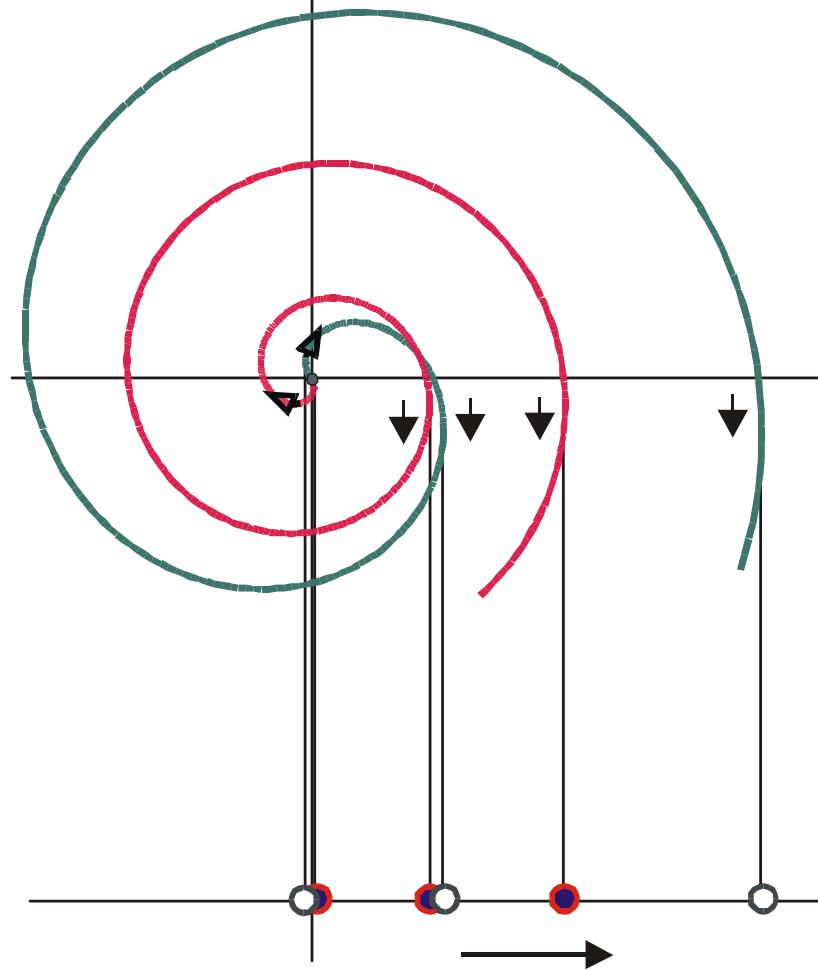
Двухсторонние источники

а



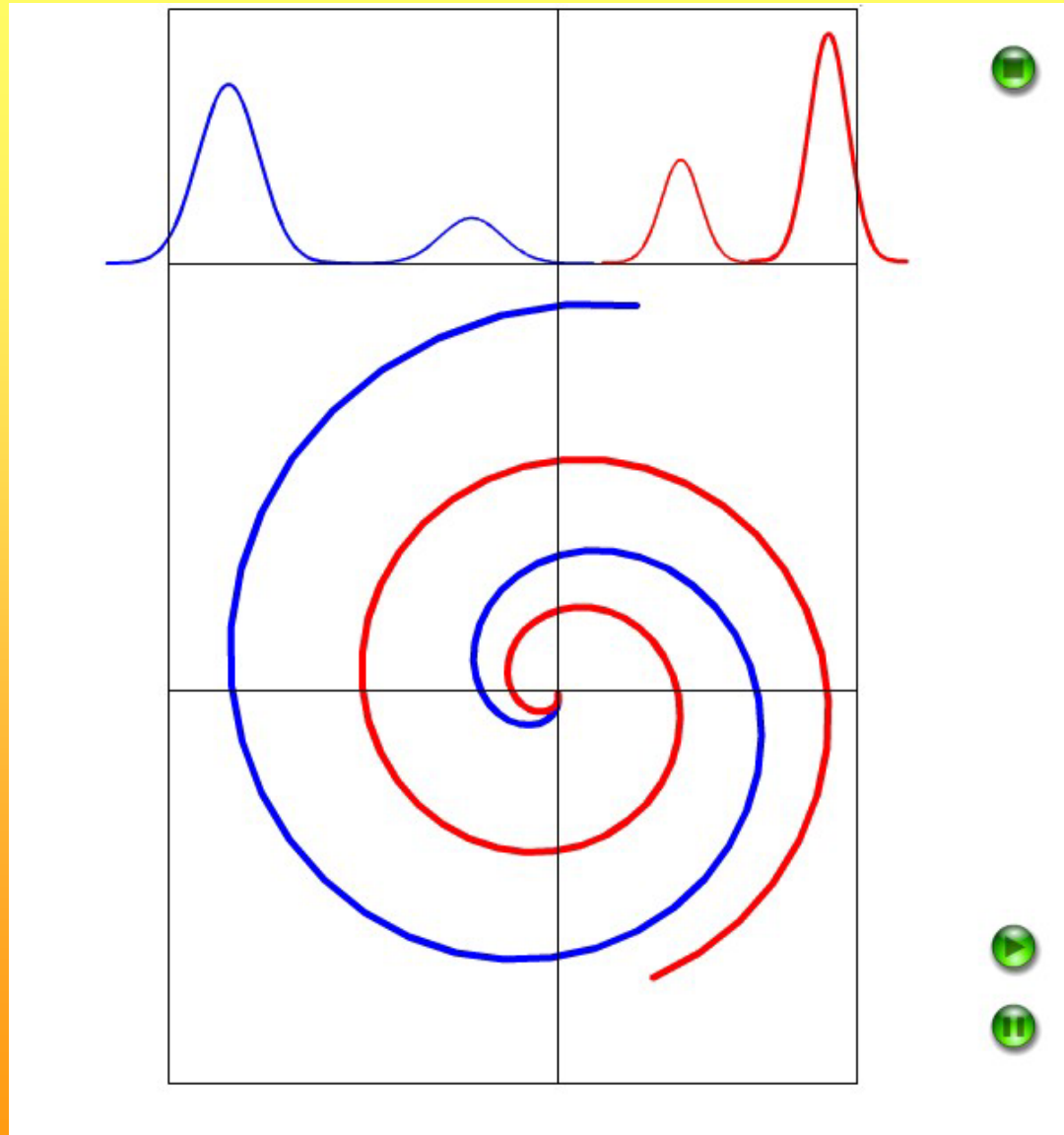
Односторонние источники

б

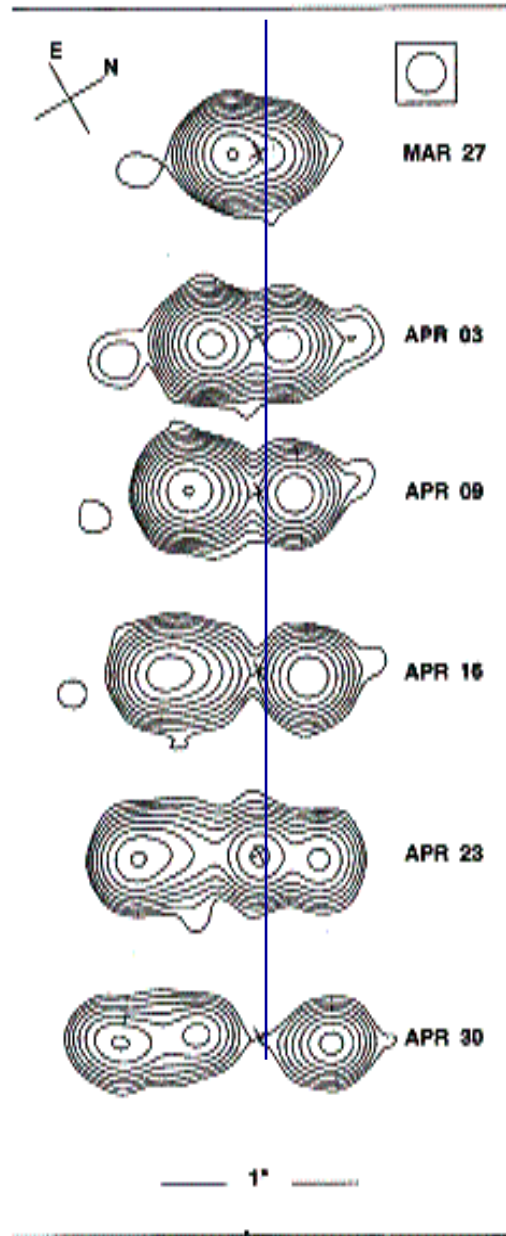


ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МОДЕЛИ

Расширение двухстороннего источника



Расширение радиоисточника с известной удаленностью

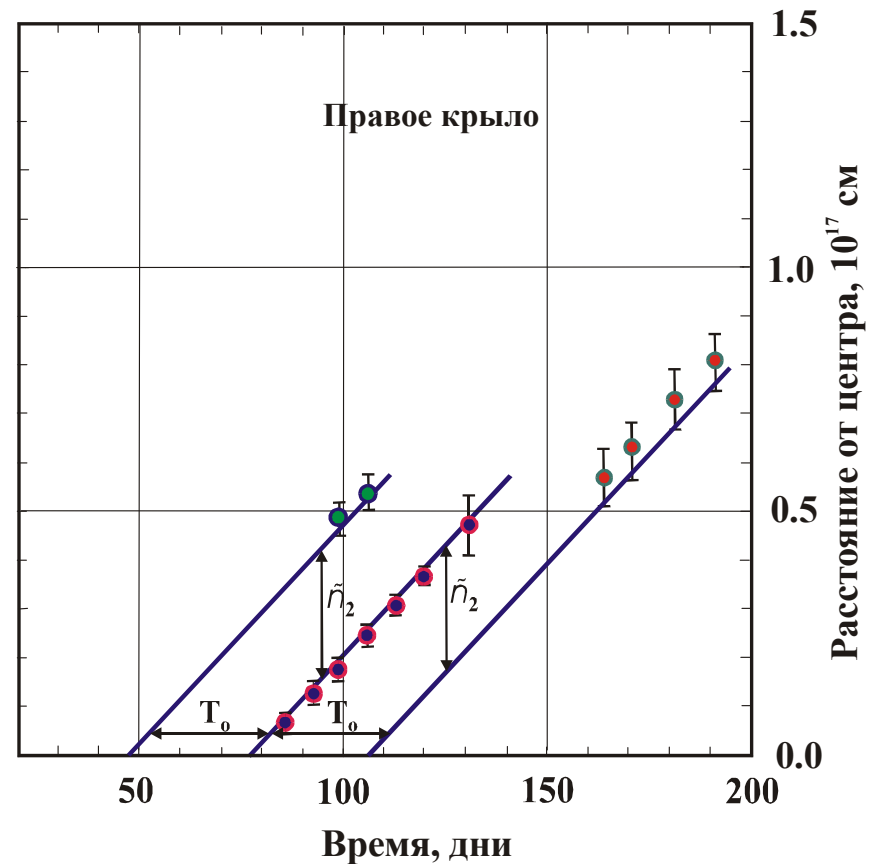
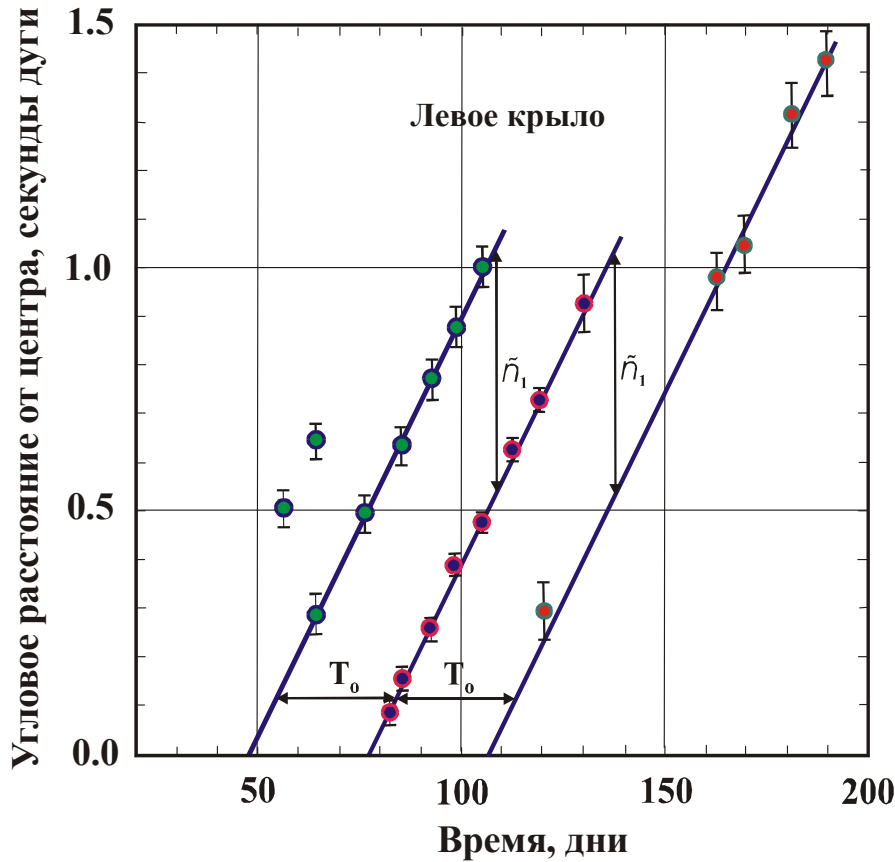


Микроквazar GRS 1915+105
(Mirabel, Rodriguez, 1994)

Расстояние 12.5 ± 1.5 кпк

Интерпретационная модель

Микроквazar GRS 1915+105



Измерено:

$$T_0 = 29.5 \pm 0.5 \text{ дней}$$

$$\rho_1 = 0.50 \times 10^{17} \text{ см}/2\pi$$

$$\rho_2 = 0.26 \times 10^{17} \text{ см}/2\pi$$

Расчетная формула:

$$\rho_i = \frac{C}{\omega_i} = \frac{CT_i}{2\pi}$$

Вычислено:

$$T_1 = \rho_1/C = 19.4 \text{ дней}$$

$$T_2 = \rho_2/C = 10.1 \text{ дней}$$

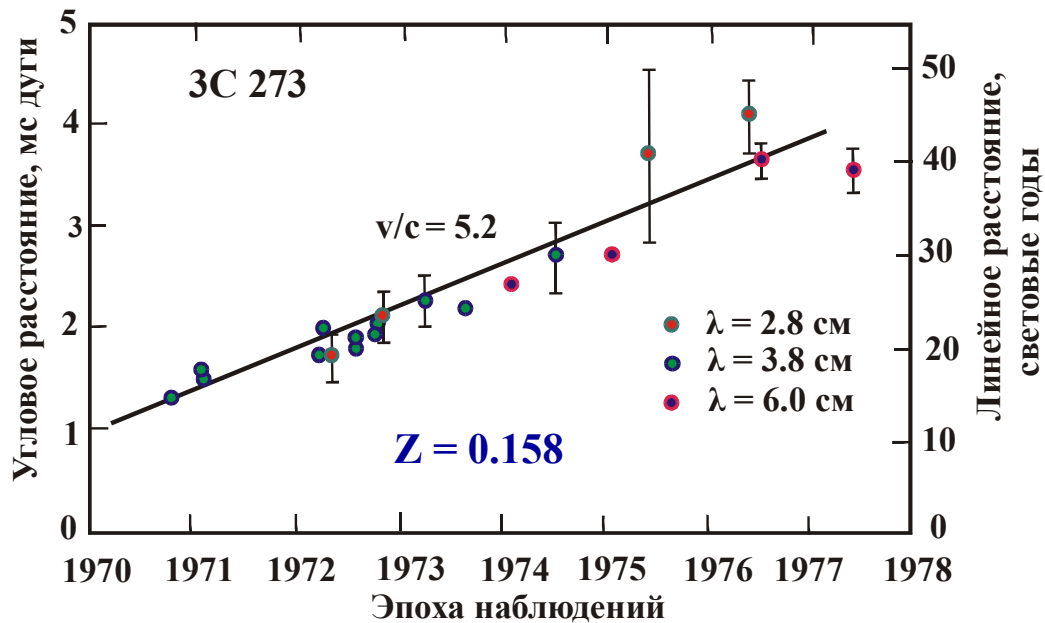
$$T_1 + T_2 = T_0$$

$$V_1 = CT_1/(T_1 + T_2) = 0.65 C$$

$$V_2 = CT_2/(T_1 + T_2) = 0.35 C$$

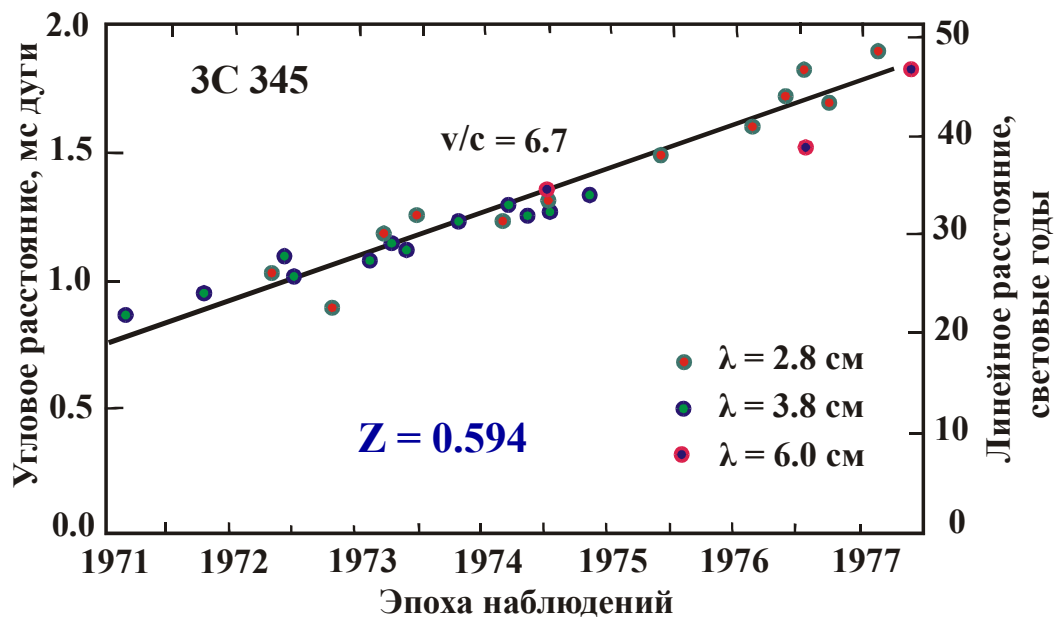
$$V_1 + V_2 = C$$

Радиоисточники со сверхсветовой скоростью расширения

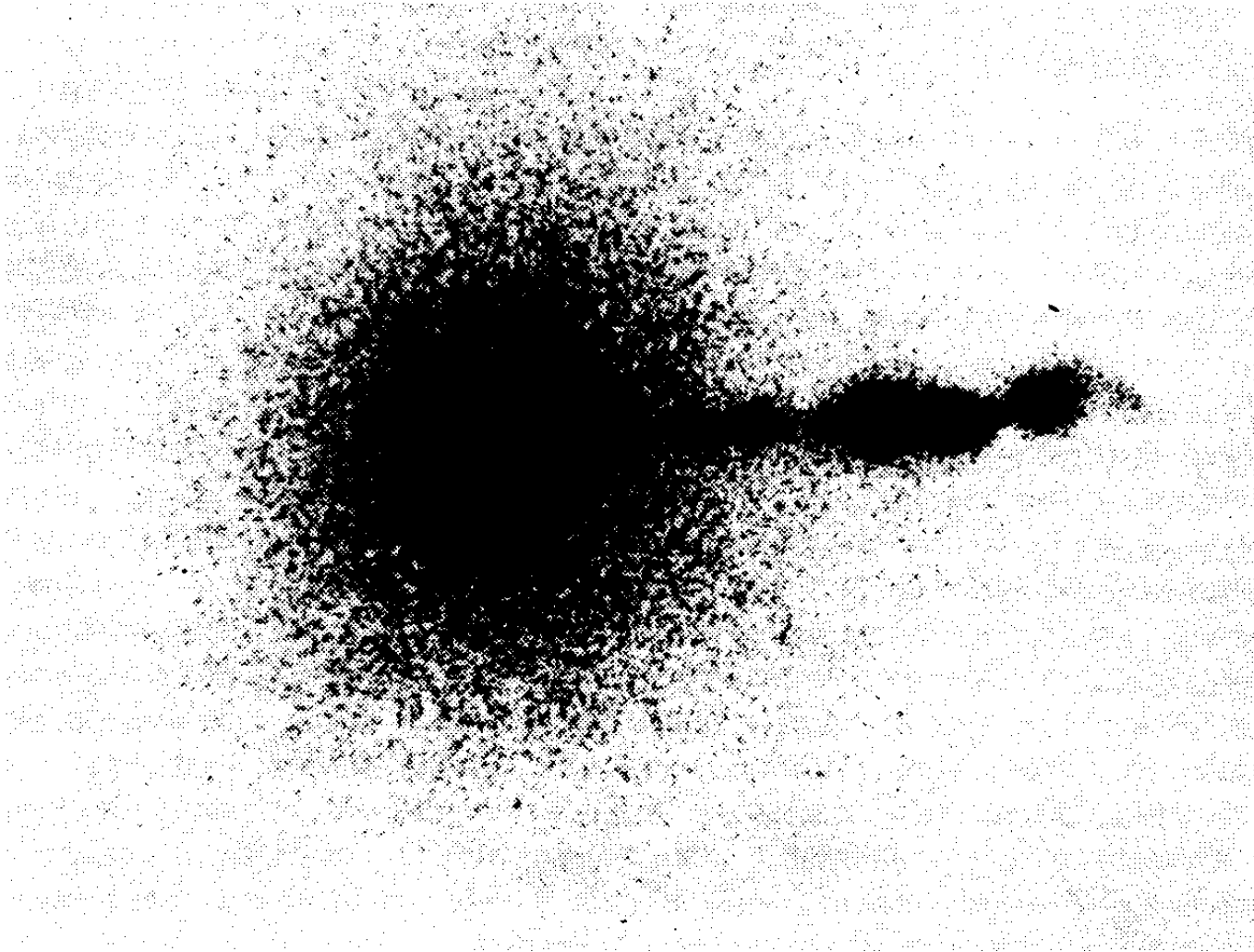


Существующее объяснение

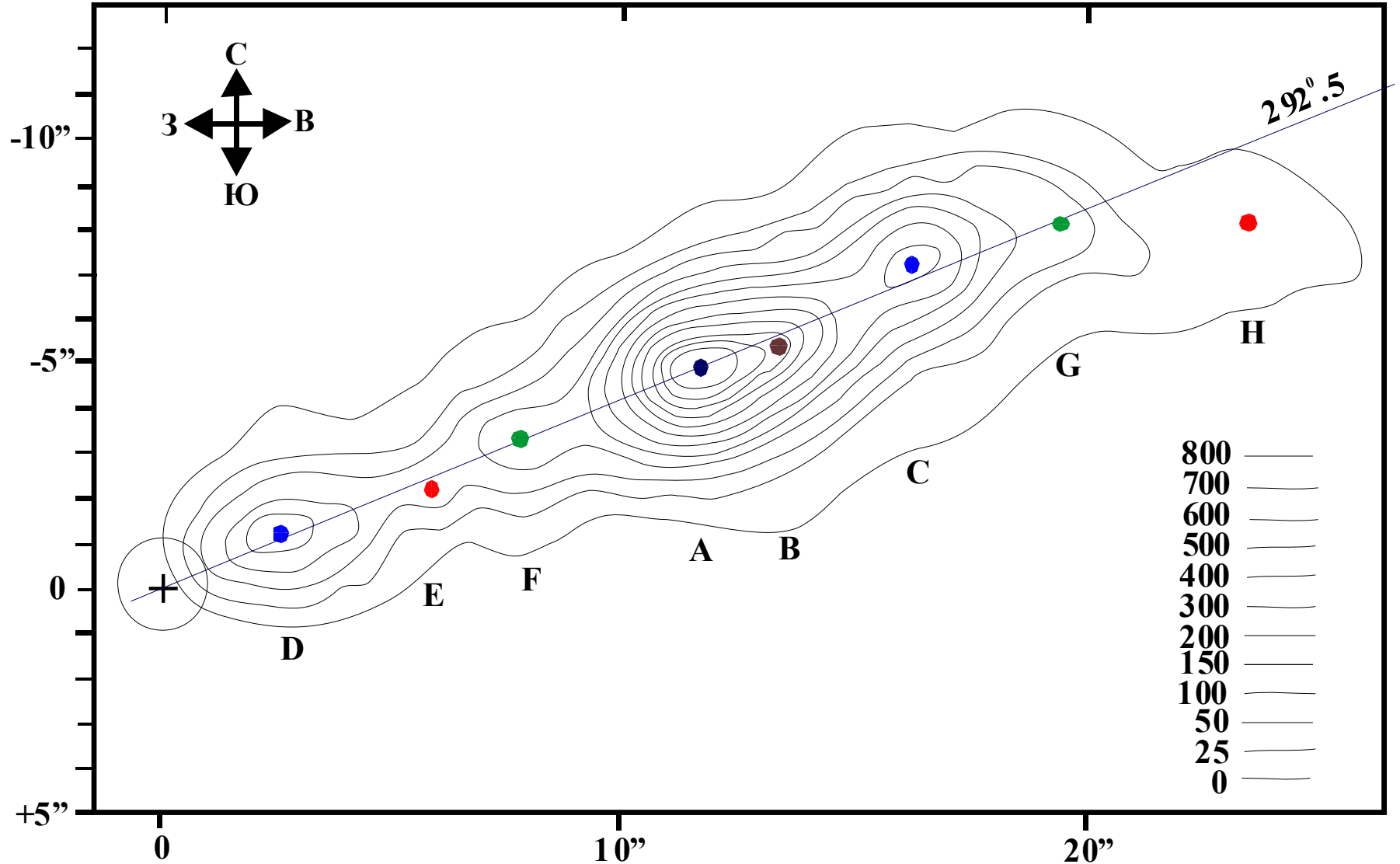
$$v_H = \frac{v \cdot \sin\varphi}{1 - \frac{v}{c} \cos\varphi}$$



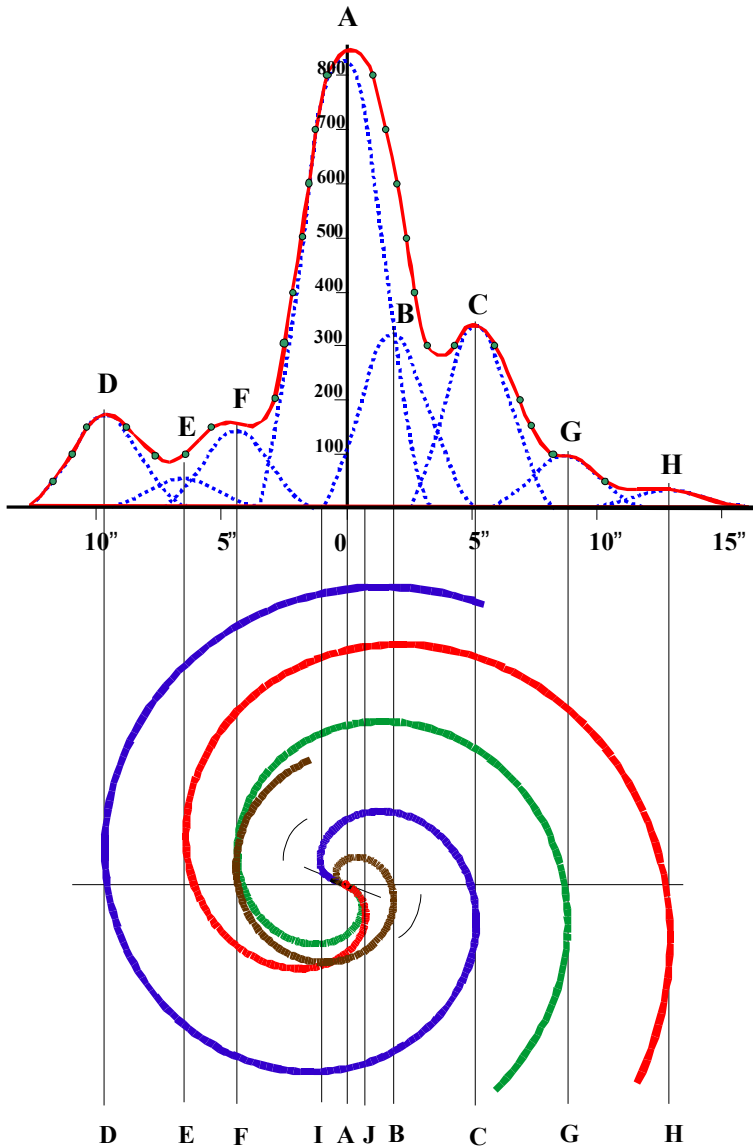
Оптическая фотография М 87 с выбросом



Карта радиоизофот выброса галактики М87



Спиральное строение выброса М87

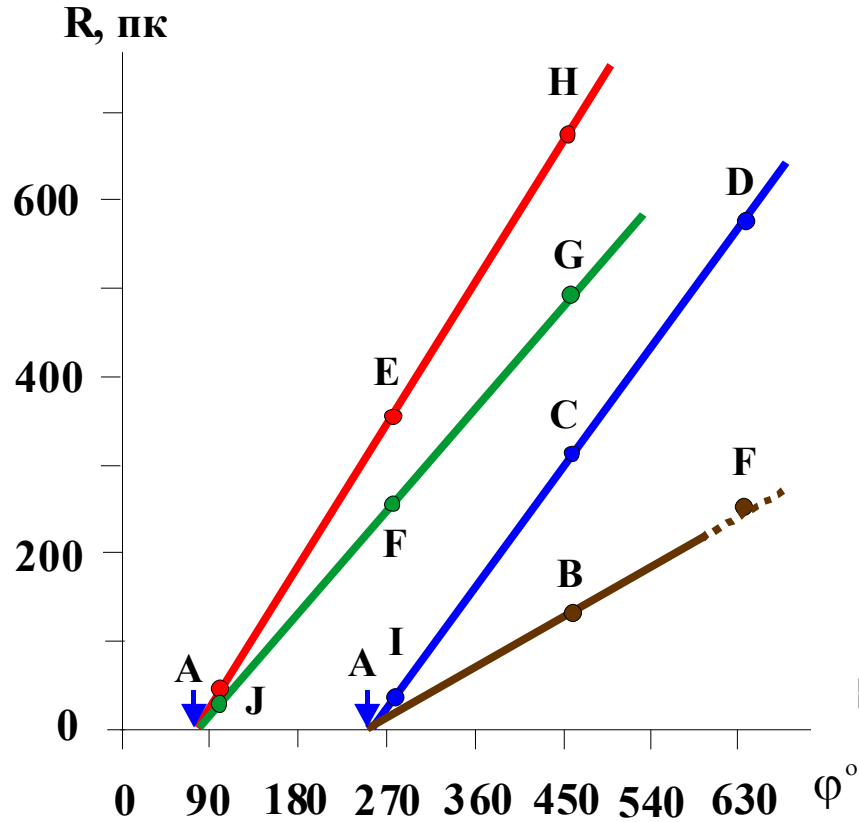


Расстояние узлов выброса от центра М 87 по наблюдениям 1964 года

Узлы	Расстояние от центра М 87 угловые секунды
D	2.70±0.13
E	5.9
F	8.15±0.24
I	10.47±0.20
A	12.18±0.16
J	13.20±0.12
B	14.31±0.28
C	17.52±0.37
G	20.03±0.26
H	23.87

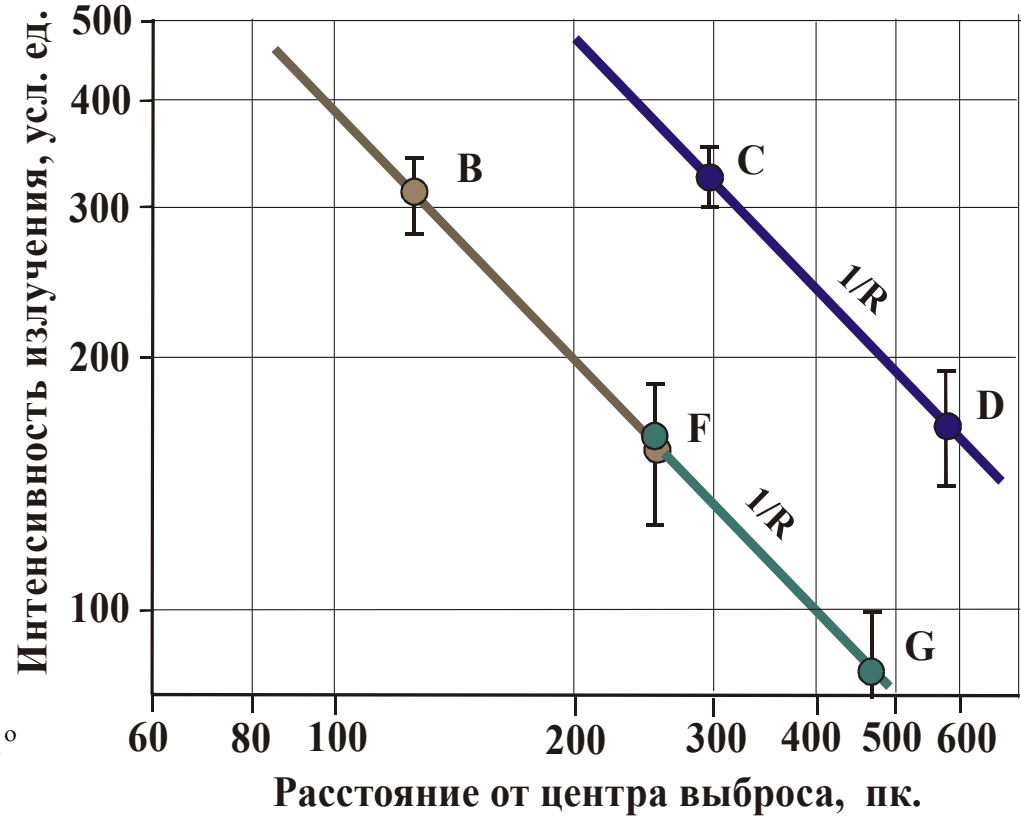
Следствия спиральной модели выброса

Полярный график



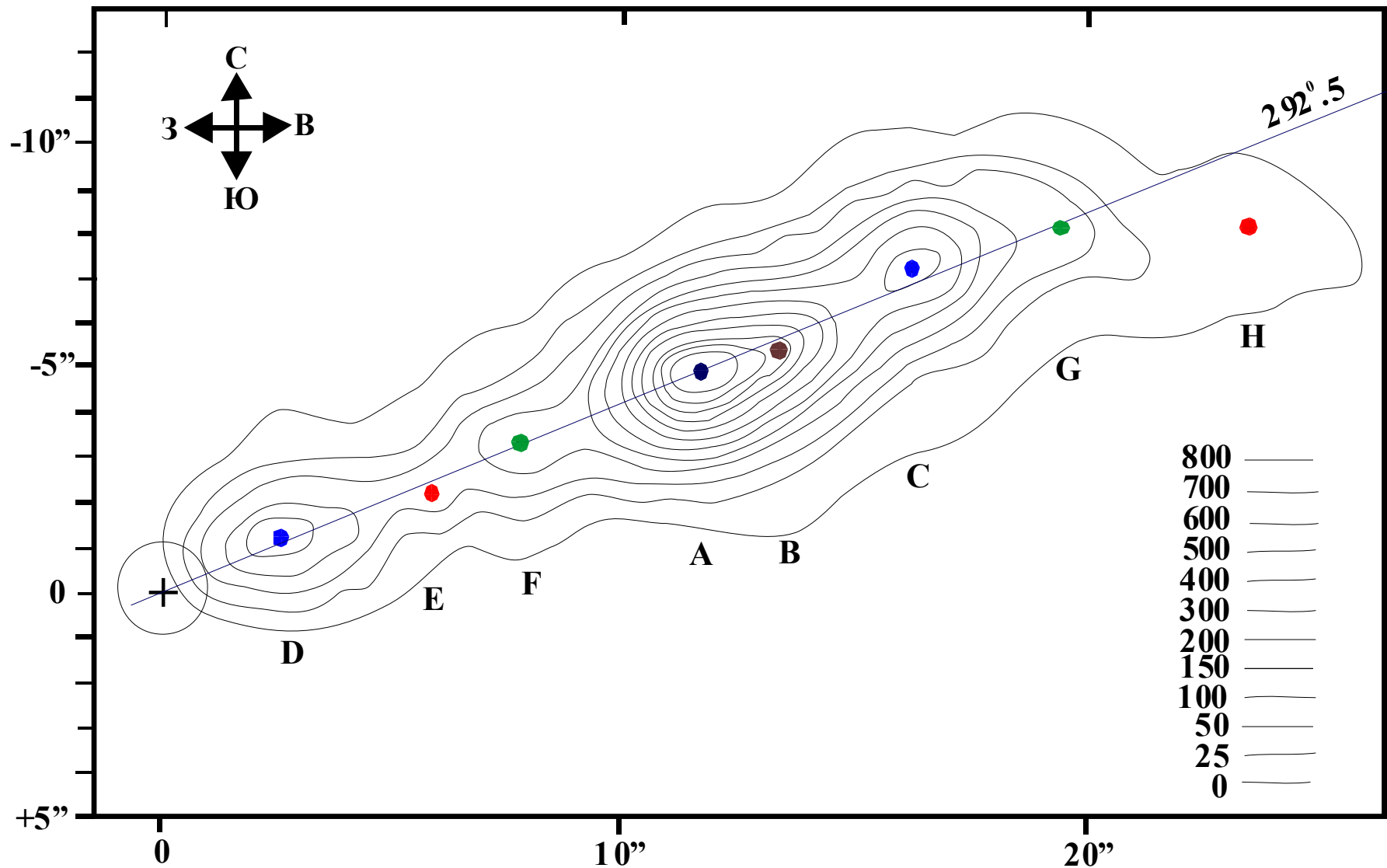
$$\rho = C / \omega \quad T = 2\pi\rho / C = 750 \div 2100 \text{ лет}$$

Интенсивность излучения



Образование e^+e^- пар

Карта радиоизофот выброса



Структура излучающей области в центре галактики M87

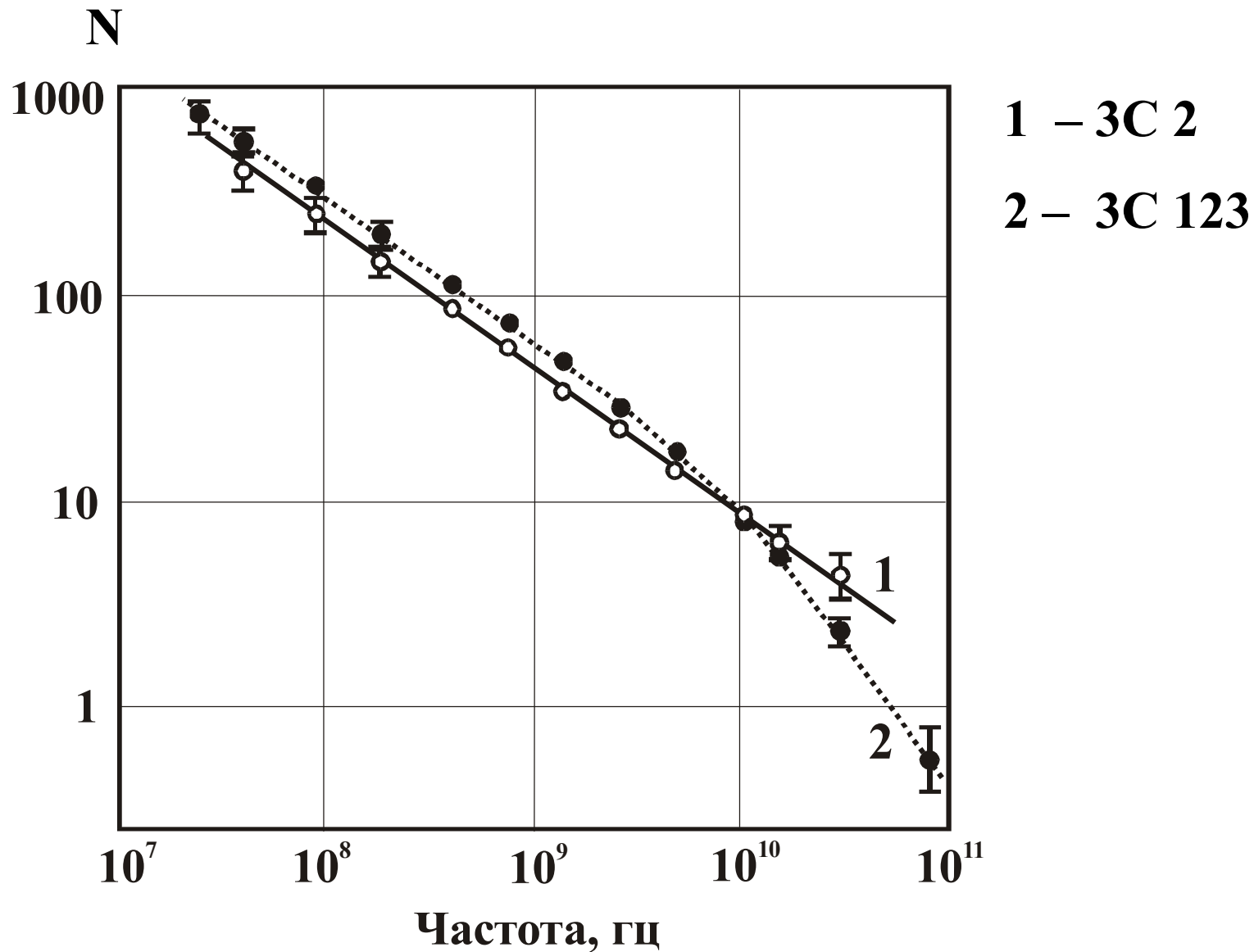
Расстояние от центра узлов внутреннего джета M 87 и их скорости движения

Узел джета	L	HST-1	HST-1 ϵ	HST-1 δ	HST-1 γ	HST-1 α	HST-2
Удаление от центра (сек)	0.16	0.87	0.87	0.94	0.99	1.16	1.61
Скорость движения v/c	0.63 ± 0.27	0.84 ± 0.11	6.00 ± 0.48	5.48 ± 0.21	6.14 ± 0.58	6.02 ± 1.05	5.11 ± 0.66

Biretta et al., 1999

УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ В ДЖЕТАХ

Основные типы спектров радиоизлучения джетов



Синхротронное излучение ансамбля частиц

Синхротронное излучение частиц со степенным спектром:

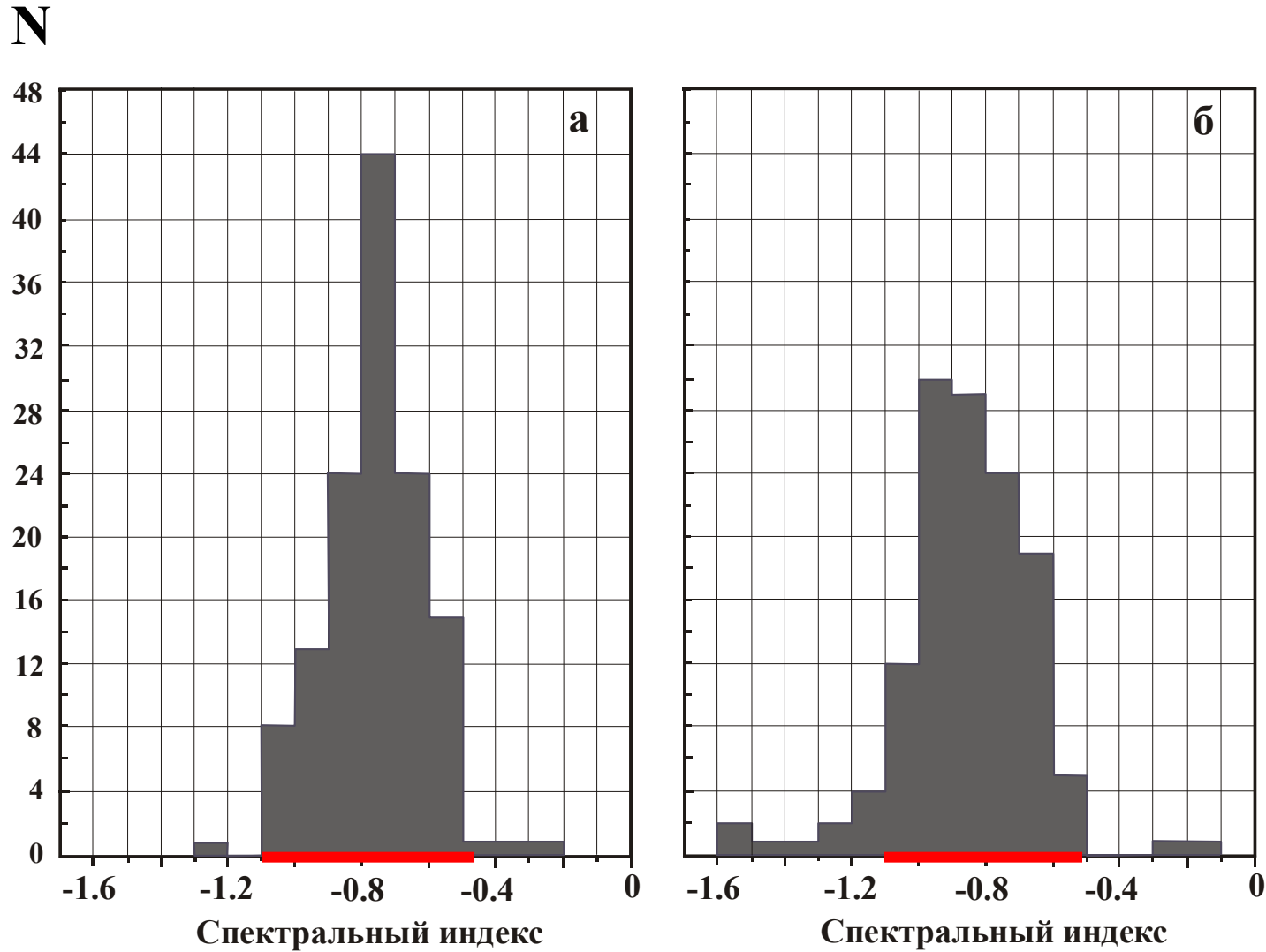
$$j_\nu = \alpha(\gamma) \cdot K \frac{e^3 H}{mc^2} \left(\frac{3eH}{4\pi m^3 c^5} \cdot \frac{1}{\nu} \right)^{(\gamma-1)/2}$$

где γ - индекс распределения частиц по энергиям $N(\varepsilon) = K \cdot \varepsilon^{-\gamma}$

Связь между индексами частиц и радиоизлучения:

$$\mu = (1 - \gamma)/2$$

Распределение спектральных индексов излучения радиогалактик и квазаров



$$\mu = -0.8$$

$$\gamma = \underline{2.6}$$

$$-0.5 \geq \mu \geq -1.1$$

$$2.0 \leq \gamma \leq \underline{3.2}$$

Диапазоны частот 38-750 МГц (а) и 750-5000 МГц (б)

Степенной закон распределения частиц по энергиям

Уравнения Э. Ферми (Fermi, 1949, 1954):

$$d\varepsilon/dt = \alpha \cdot \varepsilon - \beta \cdot \varepsilon$$

$$dN(\varepsilon)/dt = -(\alpha - \beta) \cdot N(\varepsilon) - N(\varepsilon)/\tau$$

Решение системы уравнений

$$N(\varepsilon) = K \cdot \varepsilon^{-\gamma},$$

где

$$\gamma = 1 + 1/[(\alpha - \beta) \cdot \tau]$$

Условие постоянства показателя γ

$$c = (\alpha - \beta) \cdot \tau = \text{const}$$

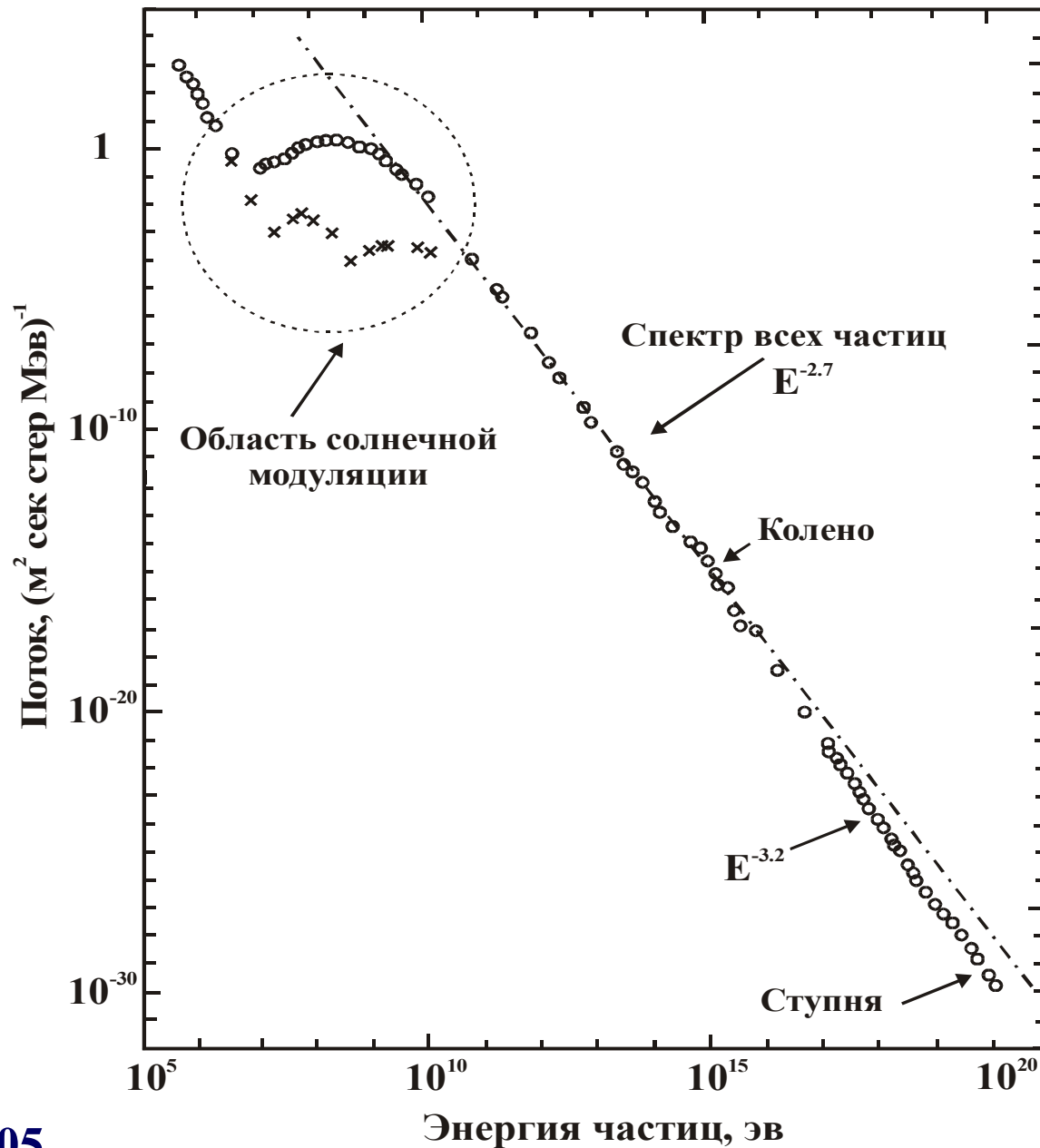
КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

**как типичный пример ускоренной
неидеальной космической плазмы**

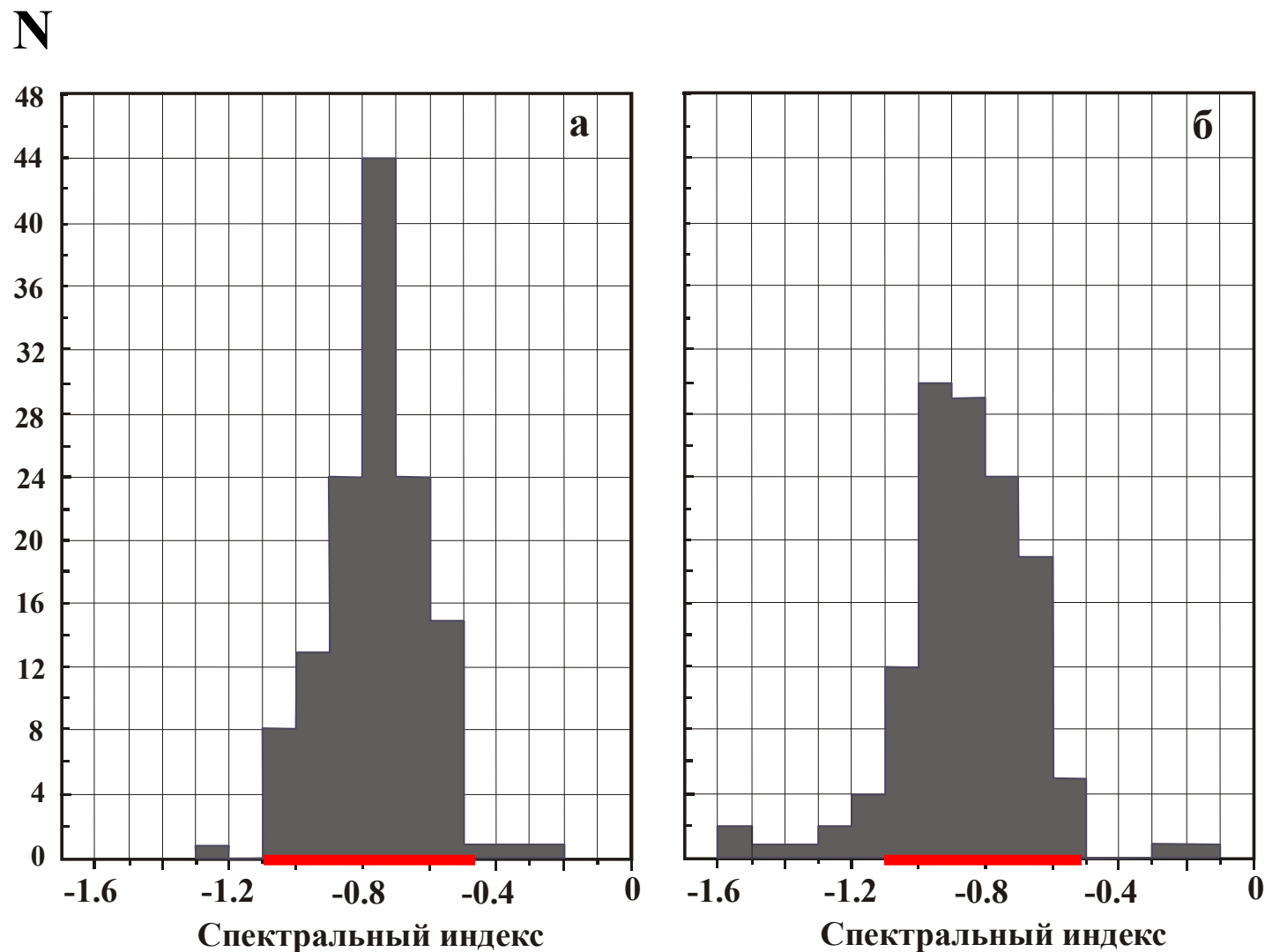
Состав космических лучей с энергиями $>2.5 \cdot 10^9$ эв/нуклон

Группа	Частицы, входящие в группу	Заряд ядра	Средняя атомная масса	Интенсивность, $\frac{\text{число частиц}}{\text{м}^2 \text{ сек стер}}$	Число ядер на 10^4 протонов	
					В космиче- ских лучах	В среднем во Вселенной
p	Протоны	1	1	1300	10000	10000
α	Ядра гелия	2	4	94	720	1600
L	«Легкие» ядра	3–5	10	2.0	15	10^{-4}
M	Средние	6–9	14	6.7	52	14
H	Тяжелые	>10	31	2.0	15	6
VH	Очень тяжелые	>20	51	0.5	4	0.06
SH	Самые тяжелые	>30	100	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$
$e^+ - e^-$	Электроны- позитроны	1	1/1836	13	100	10000

Энергетический спектр космических лучей



Сопоставление спектральных индексов излучения радиогалактик и частиц космических лучей



Диапазоны частот 38-750 МГц (а) и 750-5000 МГц (б)

$$\mu = -0.8$$

$$\gamma = \underline{2.6}$$

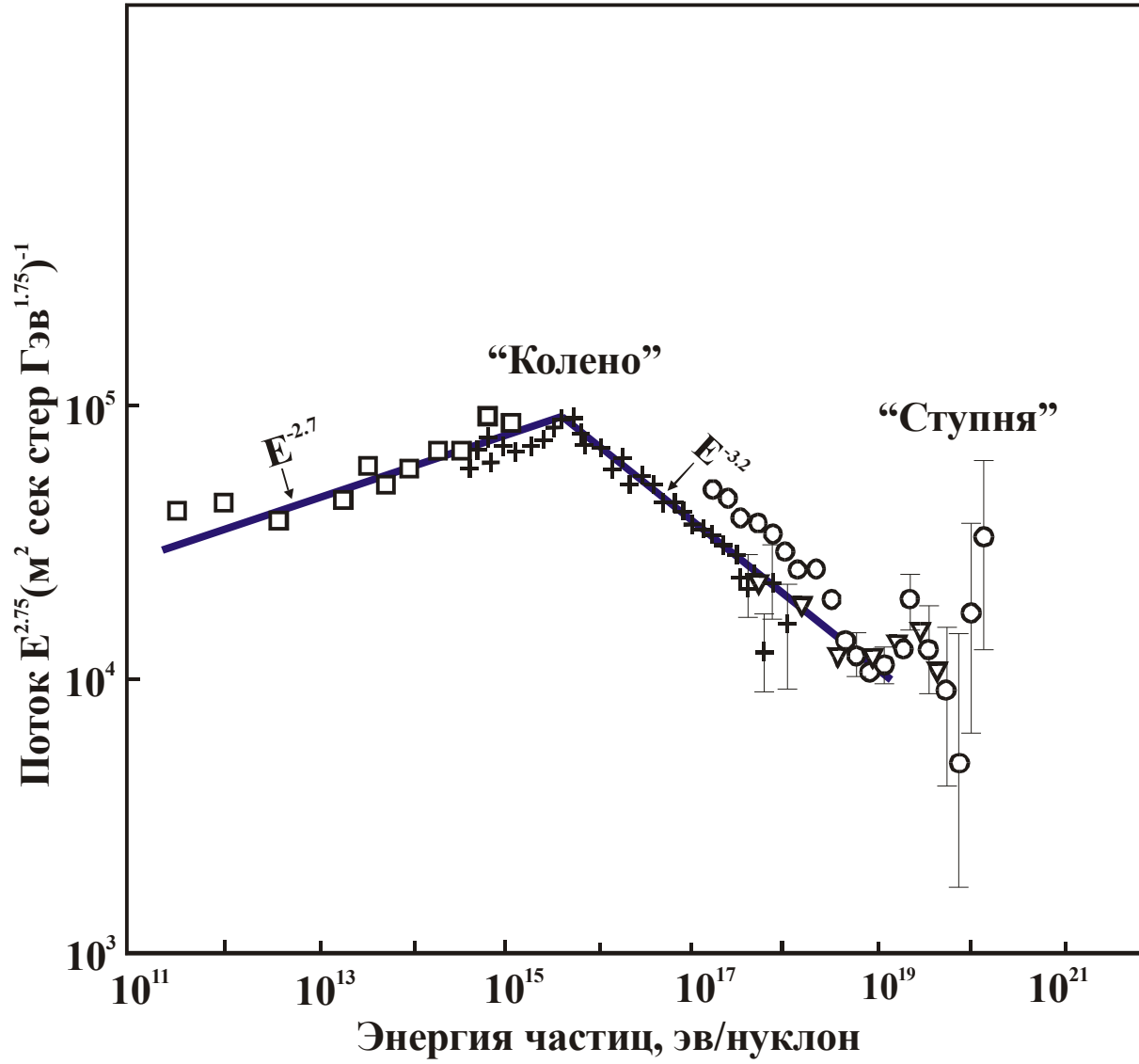
$$-0.5 \geq \mu \geq -1.1$$

$$2.0 \leq \gamma \leq \underline{3.2}$$

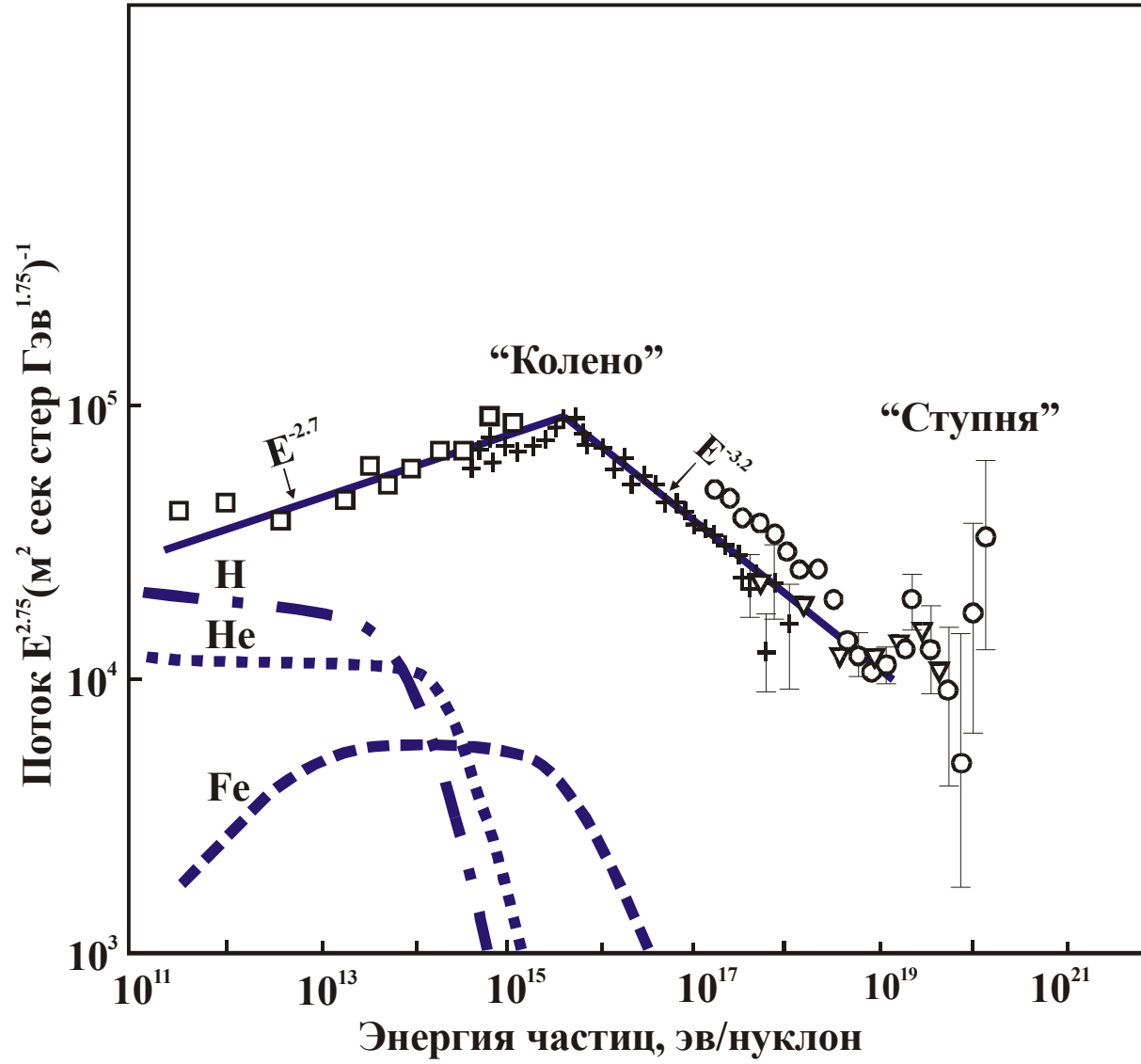
Спектр КЛ
до «колена»
 $\gamma = 2.7$

Спектр КЛ
после
«колена»
 $\gamma = 3.2$

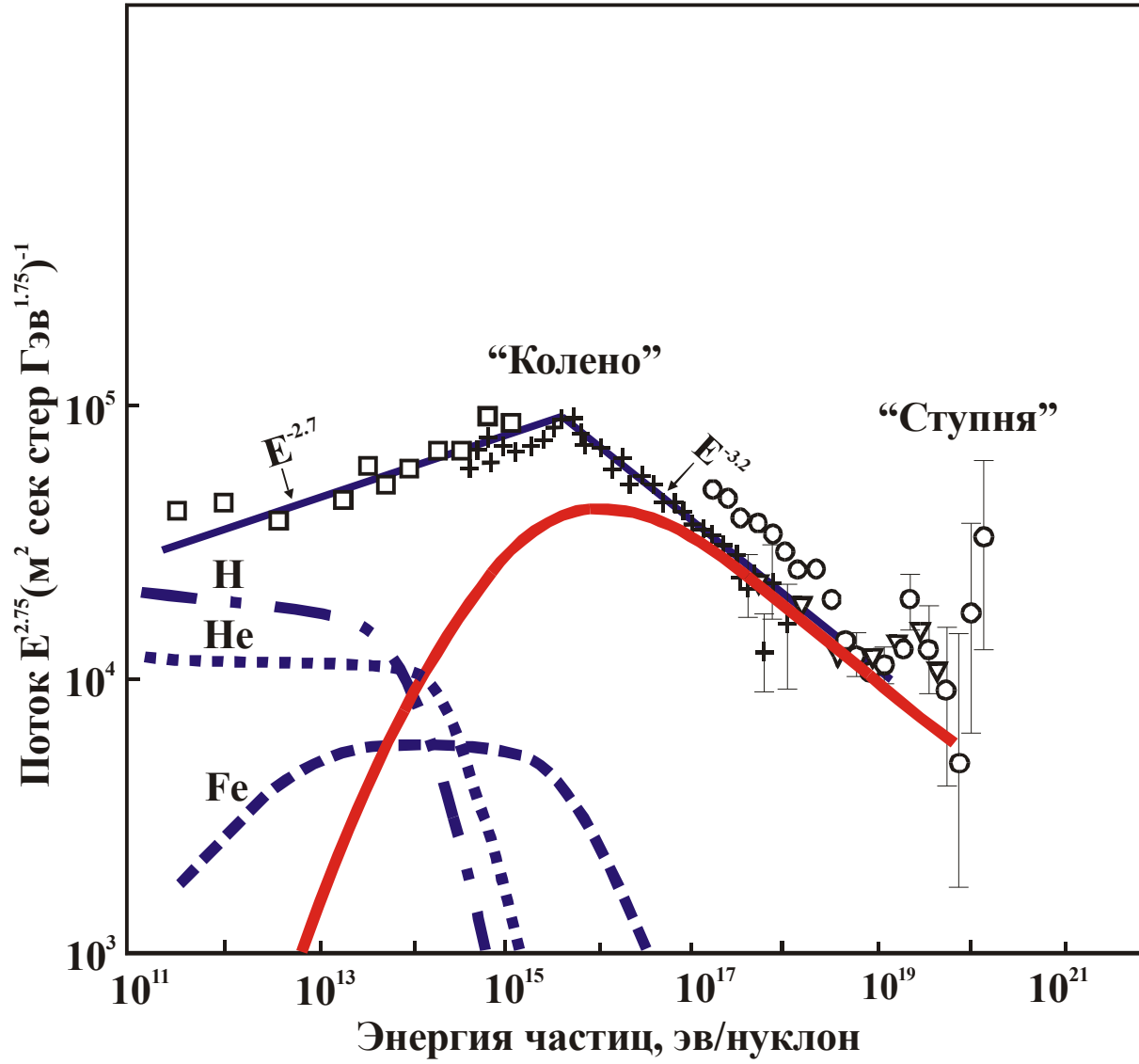
Объяснение спектра космических лучей



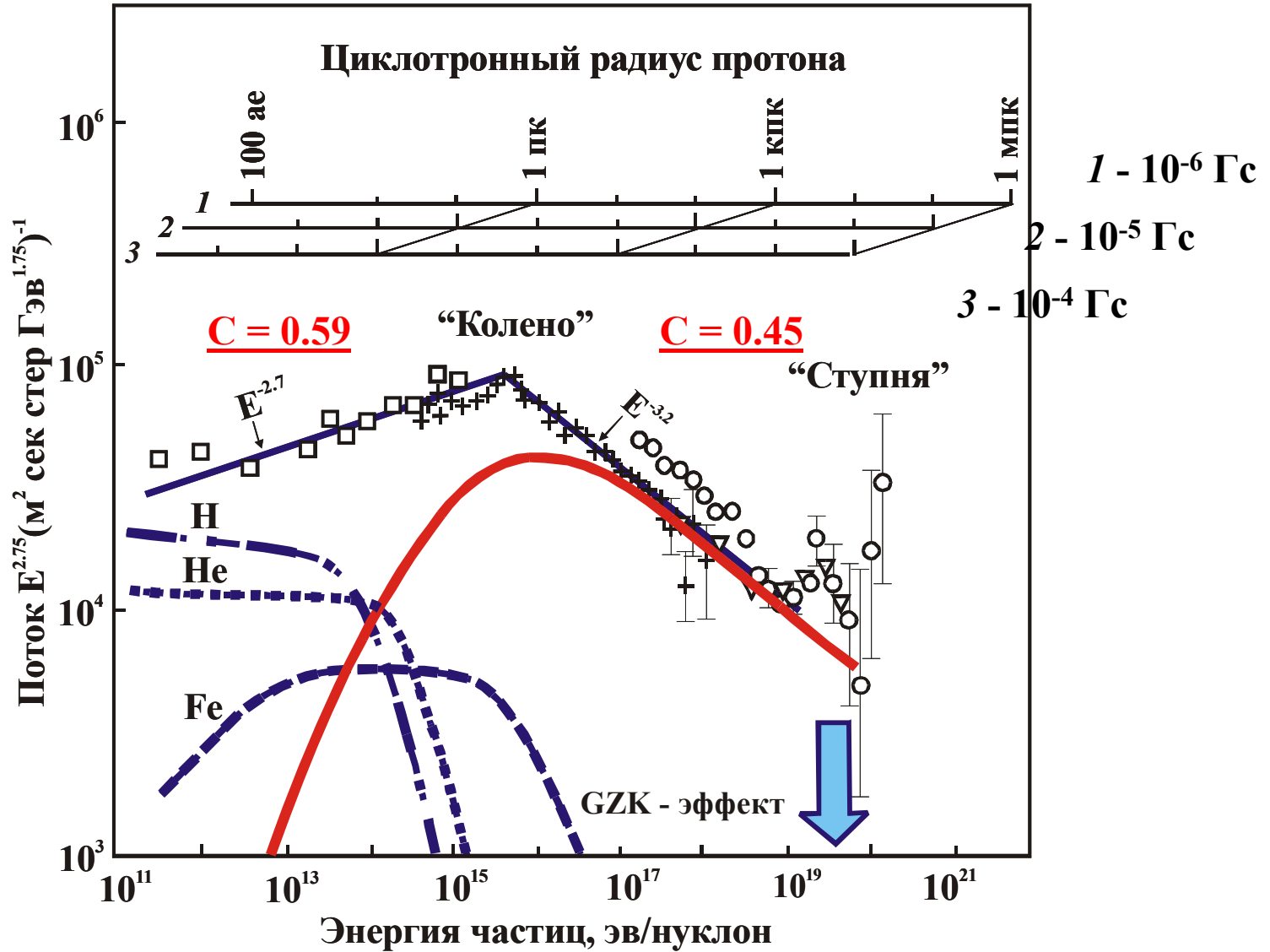
Объяснение спектра космических лучей



Объяснение спектра космических лучей



Объяснение спектра космических лучей



Происхождение «колена» и «ступни»

Циклотронный радиус релятивистской частицы:

$$r_{\text{ц}} = \varepsilon / (e \cdot H_{\perp})$$

Приравнивая величину $r_{\text{ц}}$ радиусу спирали, находим энергию максимально ускоренных частиц «ступни»:

$$\varepsilon_{\text{max}} = e r H_{\perp},$$

Полагая $r = 10$ кпк и $H_{\perp} = 10^{-5}$ эрстед, получаем:

$$\varepsilon_{\text{max}} \sim 10^{20} \text{ ЭВ}$$

Приравнивая $r_{\text{ц}}$ радиусу поперечного сечения спирального витка $r \sim \underline{10}$ пк, находим энергию частиц «колена»:

$$\varepsilon_{\text{к}} \sim 10^{17} \text{ ЭВ}$$

Основной вывод: КЛ ускоряются вблизи Солнца

Инверсии геомагнитного поля

Индикация электромагнитного поля Галактики



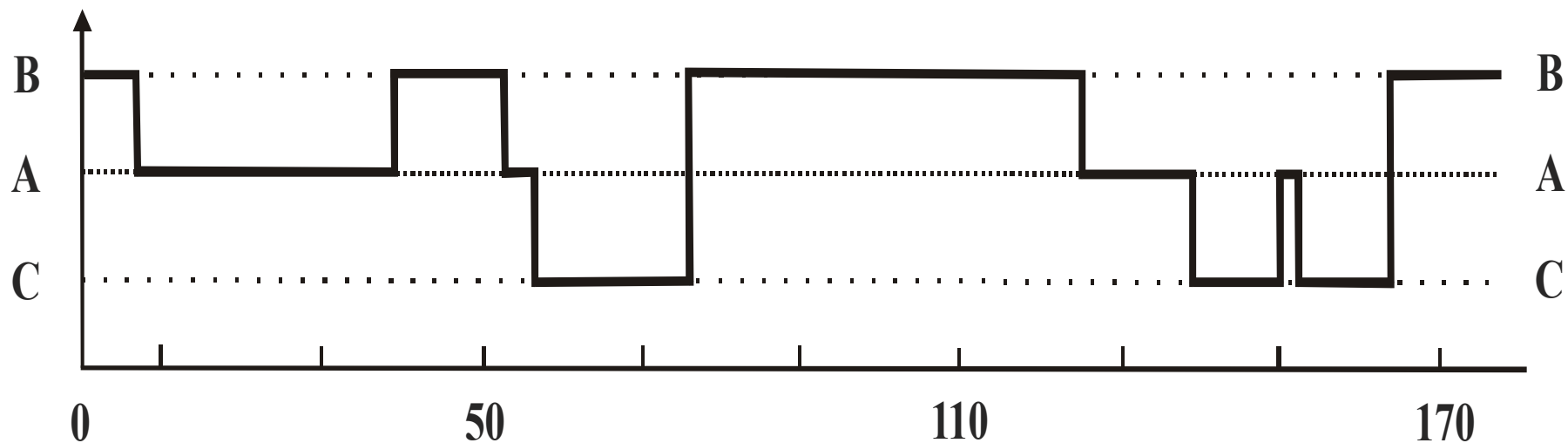
Магнитное поле океана, 1993

Период вращения ядер радиогалактик $T = (1.2-4.0) 10^5$ лет

Долговременная картина инверсий

Существование суперхронов

Периоды быстрых колебаний (А), а также преимущественно положительной (В) и обратной (С) полярностей геомагнитного поля



(Магнитное поле океана, 1993)

Время, млн. лет

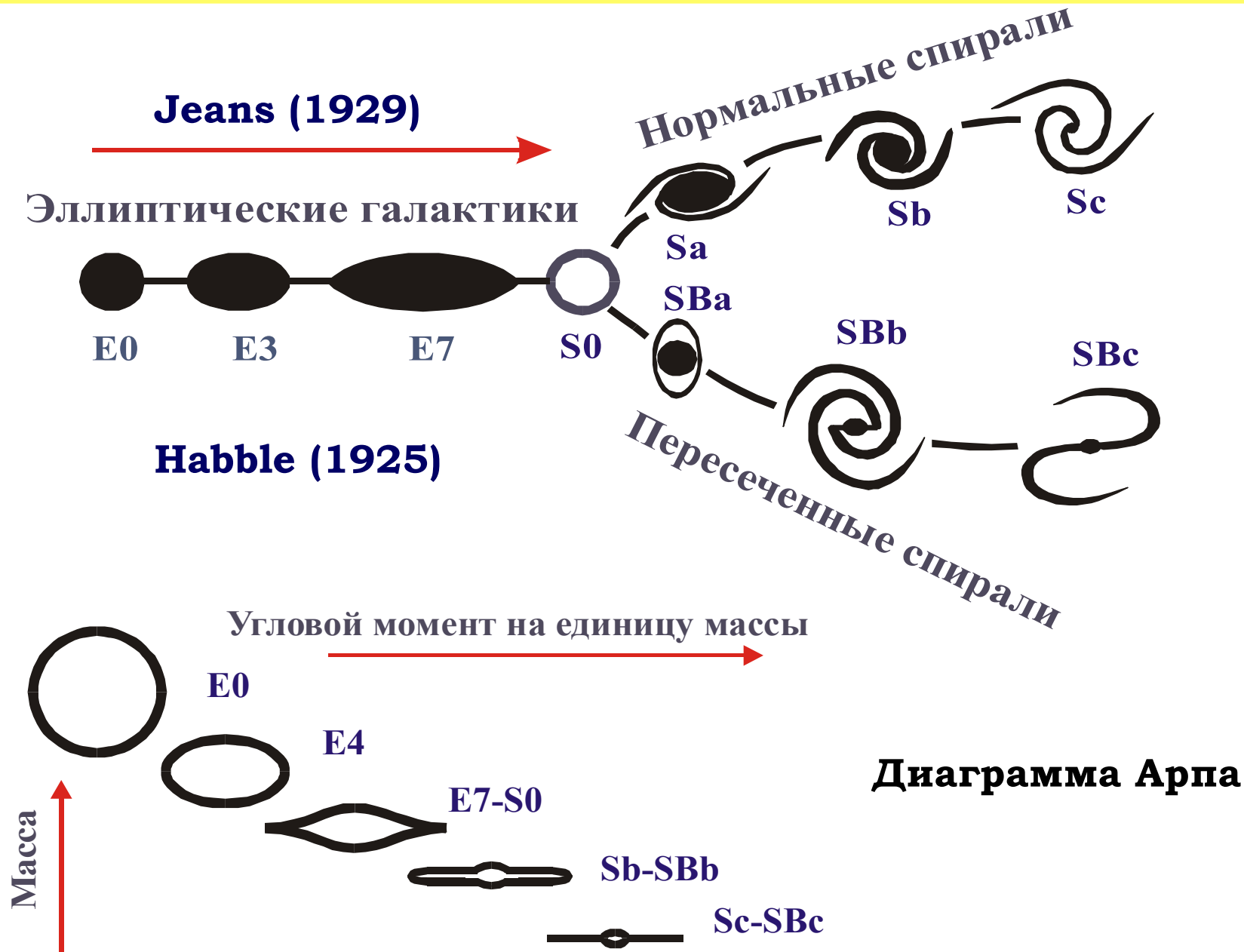
Наблюдаемая картина может быть объяснена колебаниями Солнца поперек галактической плоскости. Их период 42 млн. лет, а амплитуда 50 пк. Это накладывает ограничения на радиус сечения электромагнитных спиралей, который должен быть ~10 пк.

Выводы

- 1. Космическое пространство заполнено неидеальной космической плазмой, ускоряемой спиральными электромагнитными полями галактик и звезд волновой природы.**
- 2. Синхротронное излучение джетов создают релятивистские электроны и позитроны, как возникшие и ускоренные в электромагнитных спиралях, так и захваченные спиральными полями извне.**
- 3. Регистрируемые вблизи Земли космические лучи являются типичным примером неидеальной космической плазмы, образованной и ускоренной спиральным электромагнитным полем Галактики.**

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

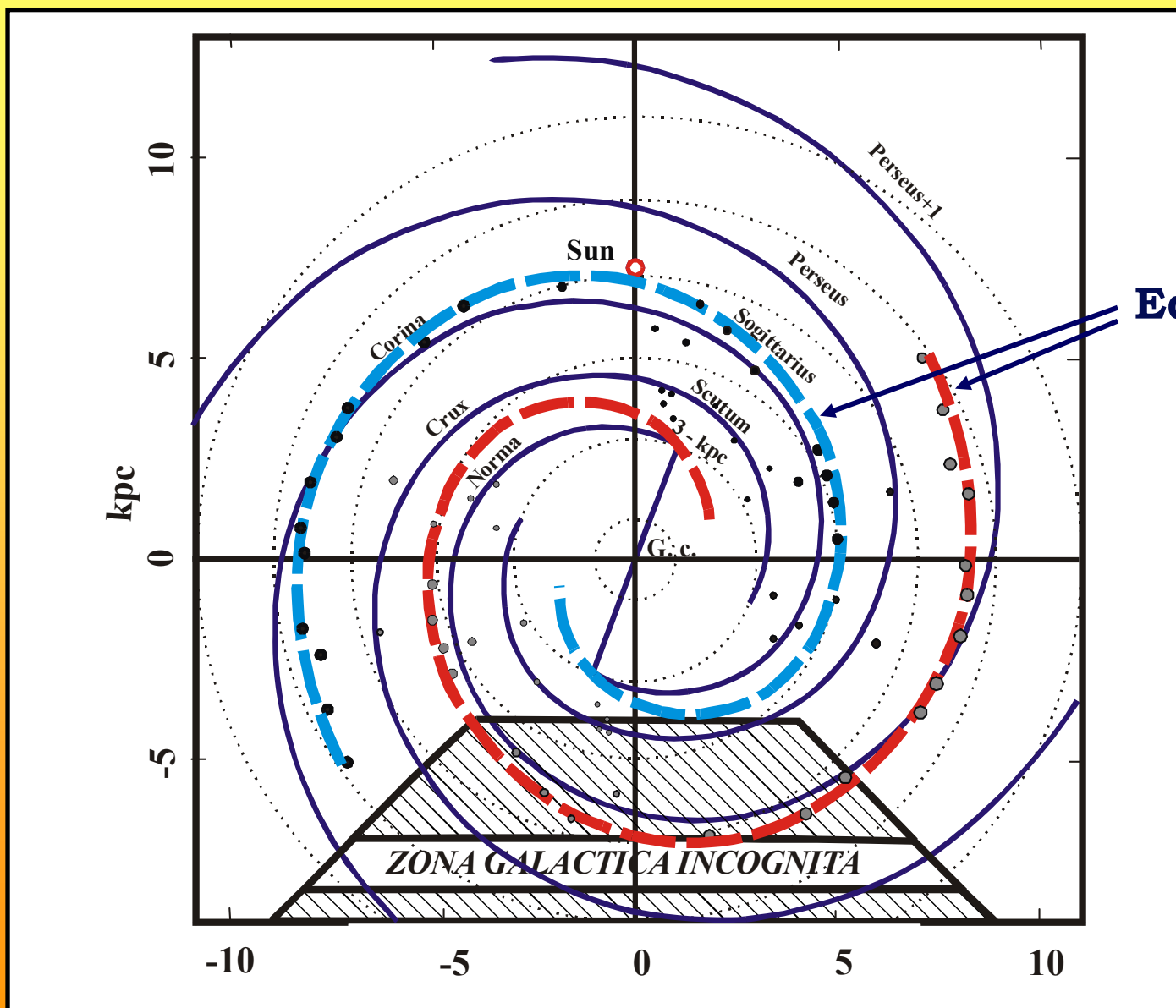
Классификация галактик по Хаббл (1925, 1936)



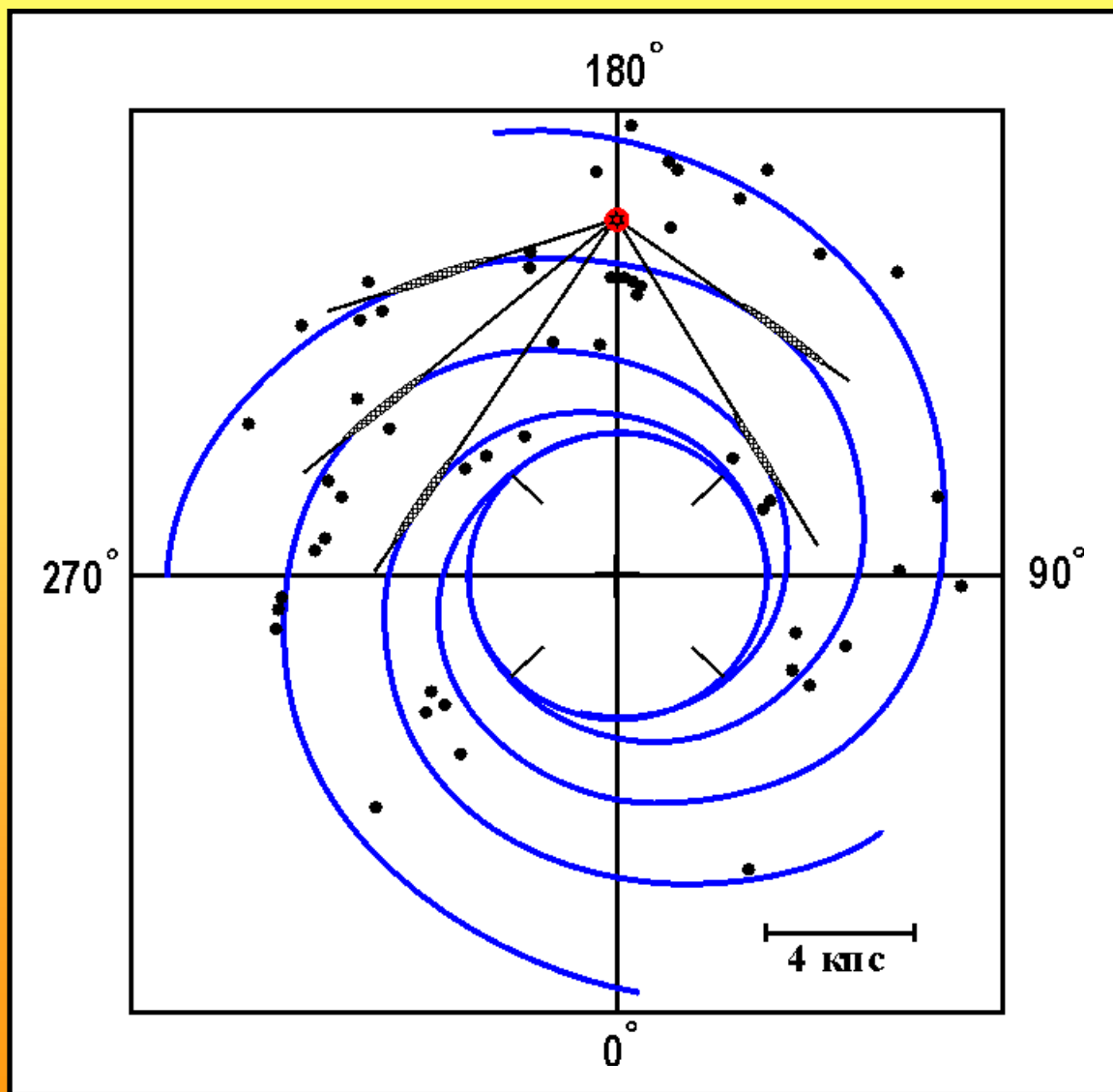
Два типа галактических ветвей, светящихся в оптическом диапазоне

Характерная особенность	Данвер (1942)	Караченцевы (1967)
Исследованная выборка: число галактик число ветвей	98 190	121 237
Тип спиральных ветвей математическая формула	логарифмический $R(\varphi)=R(0)\exp(\alpha\varphi)$	архимедов $R(\varphi)=R(0) + \rho\varphi$
Различие закрученности разных ветвей одной галактики	может быть значительным	отсутствует
Различие закрученности ветвей по всей выборке галактик	большое $0.06 \leq \alpha \leq 0.073$	в пределах ошибок методики $\Delta\rho/\rho \sim 10\%$
Разность длин ветвей одной галактики	67.2°	27.5°
Средняя длина ветвей	300°	250°

Спиральные ветви Галактики по Ж. Валле (2002) и по Ю.Н. Ефремову (2005, 2007)



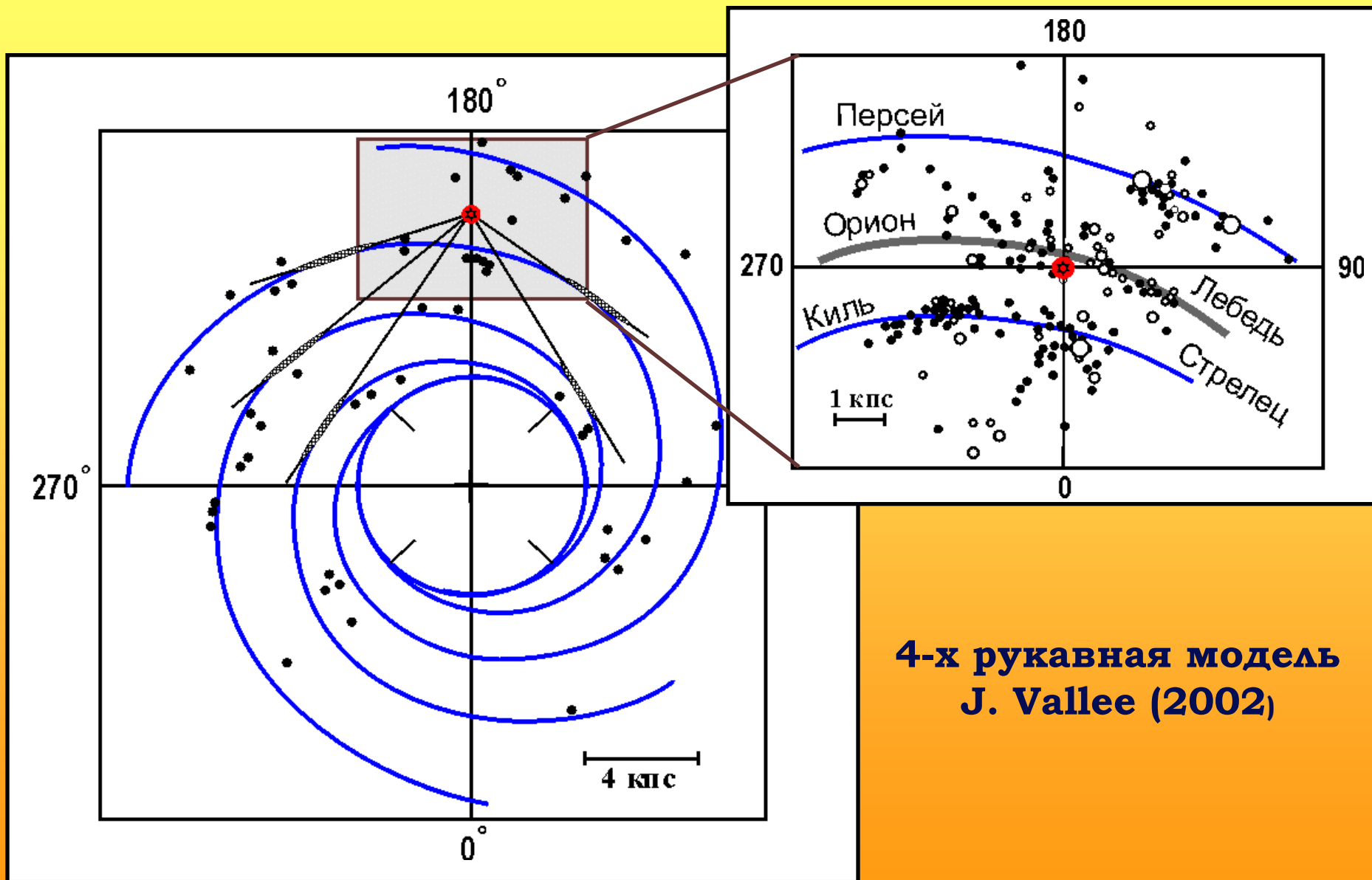
Спиральная структура Галактики



**4-х рукавная модель
J. Vallee (2002)**

Баренбаум (1991)

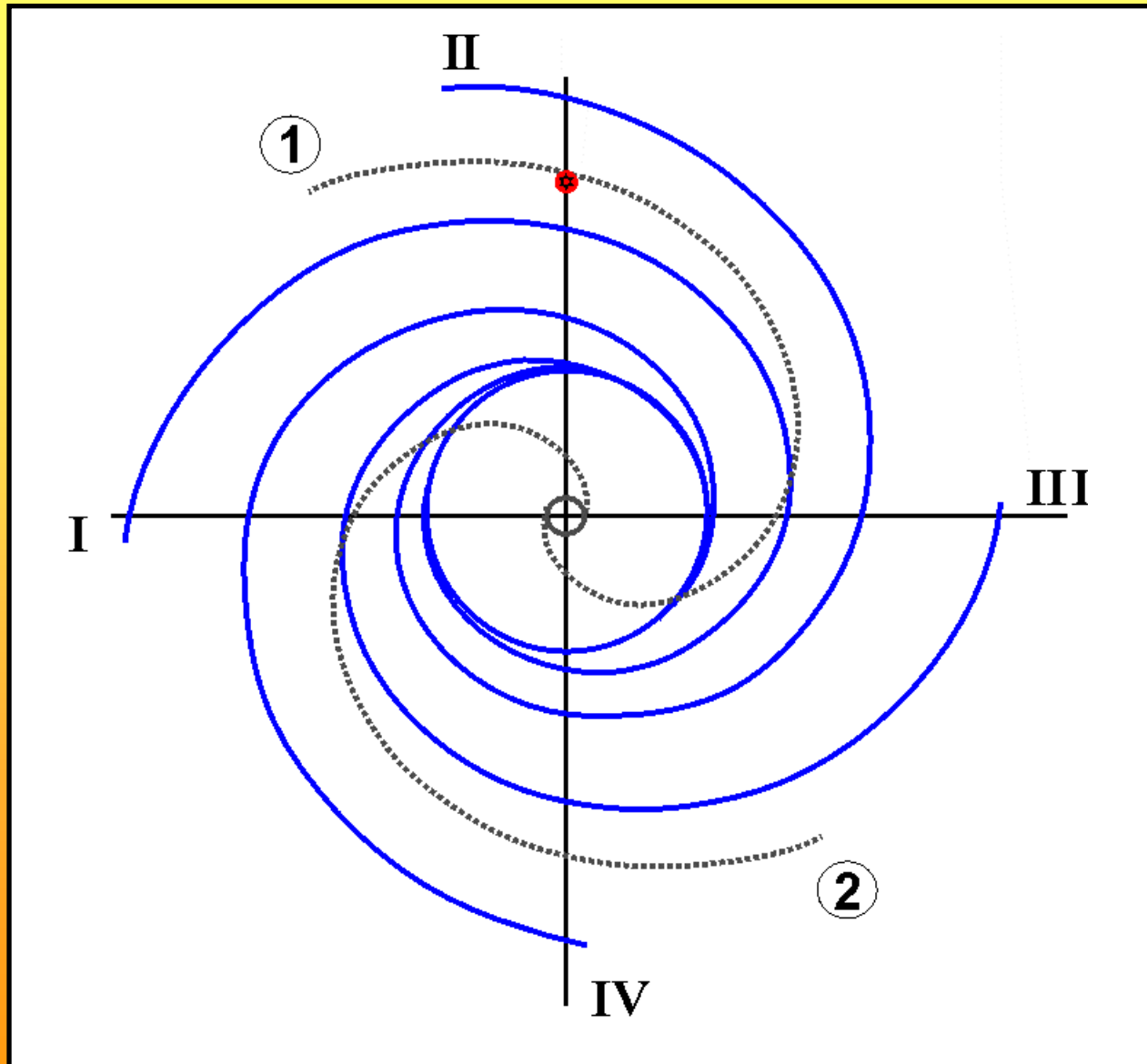
Спиральная структура Галактики



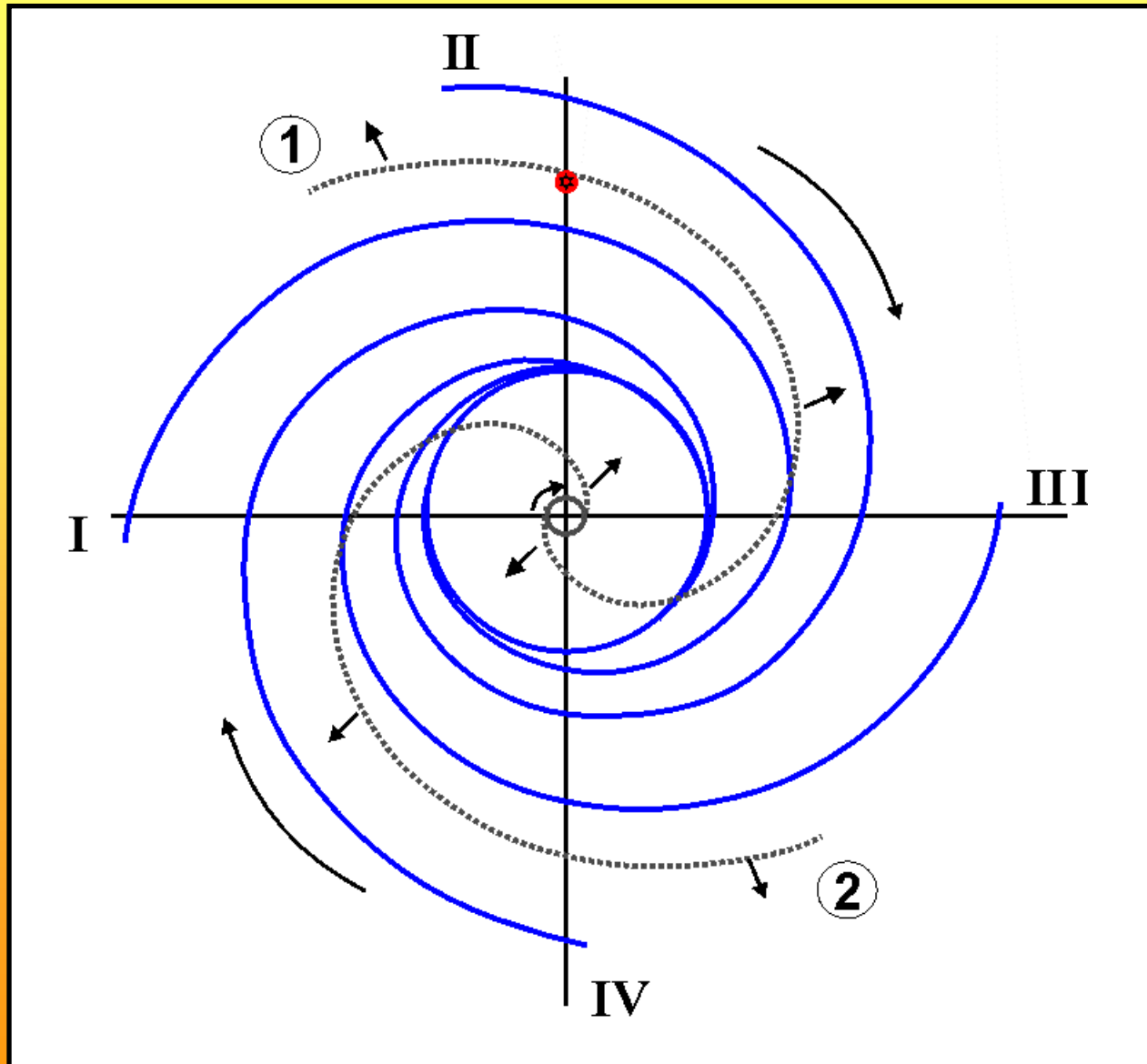
**4-х рукавная модель
J. Vallee (2002)**

Баренбаум (1991)

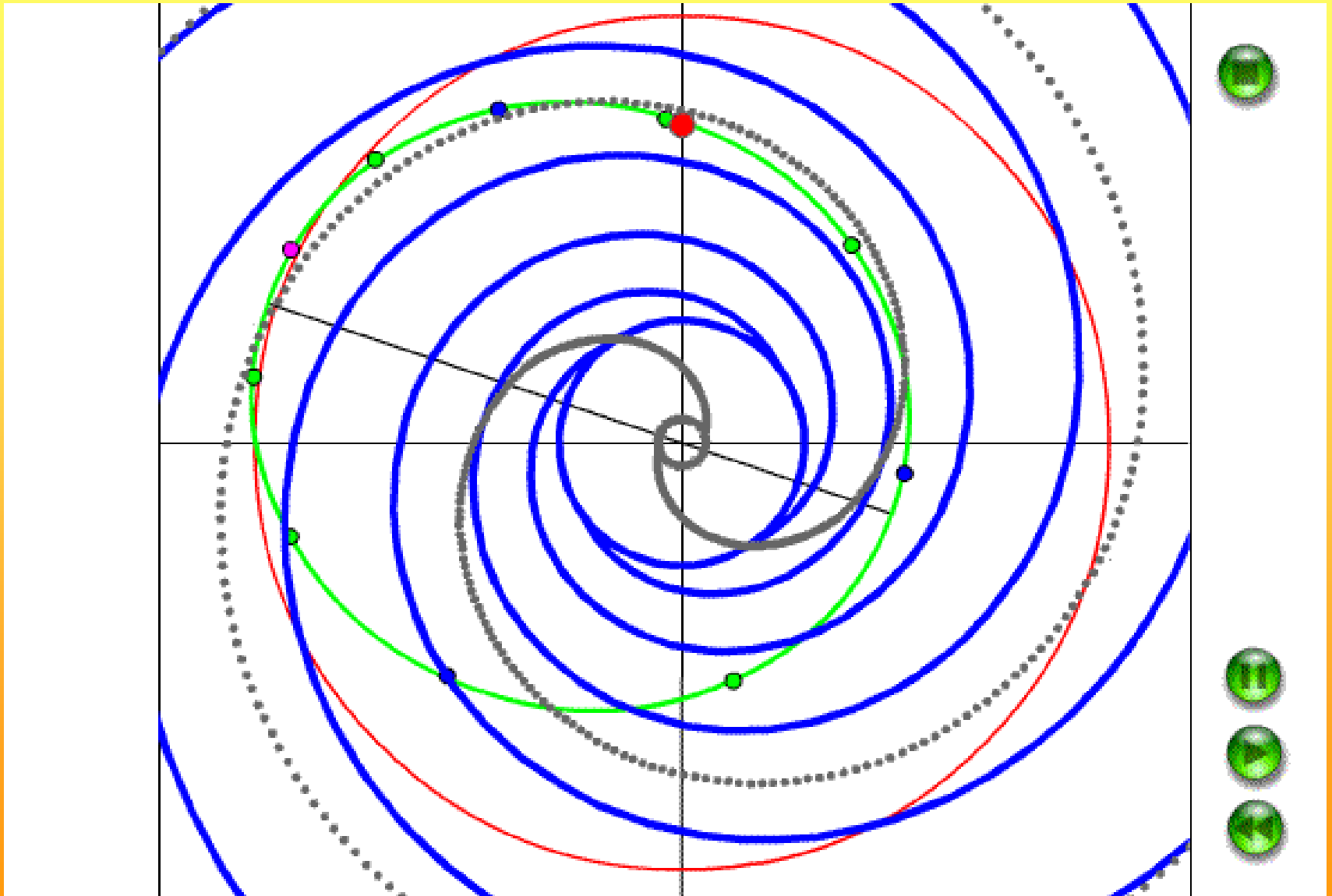
Двуспиральная модель Галактики



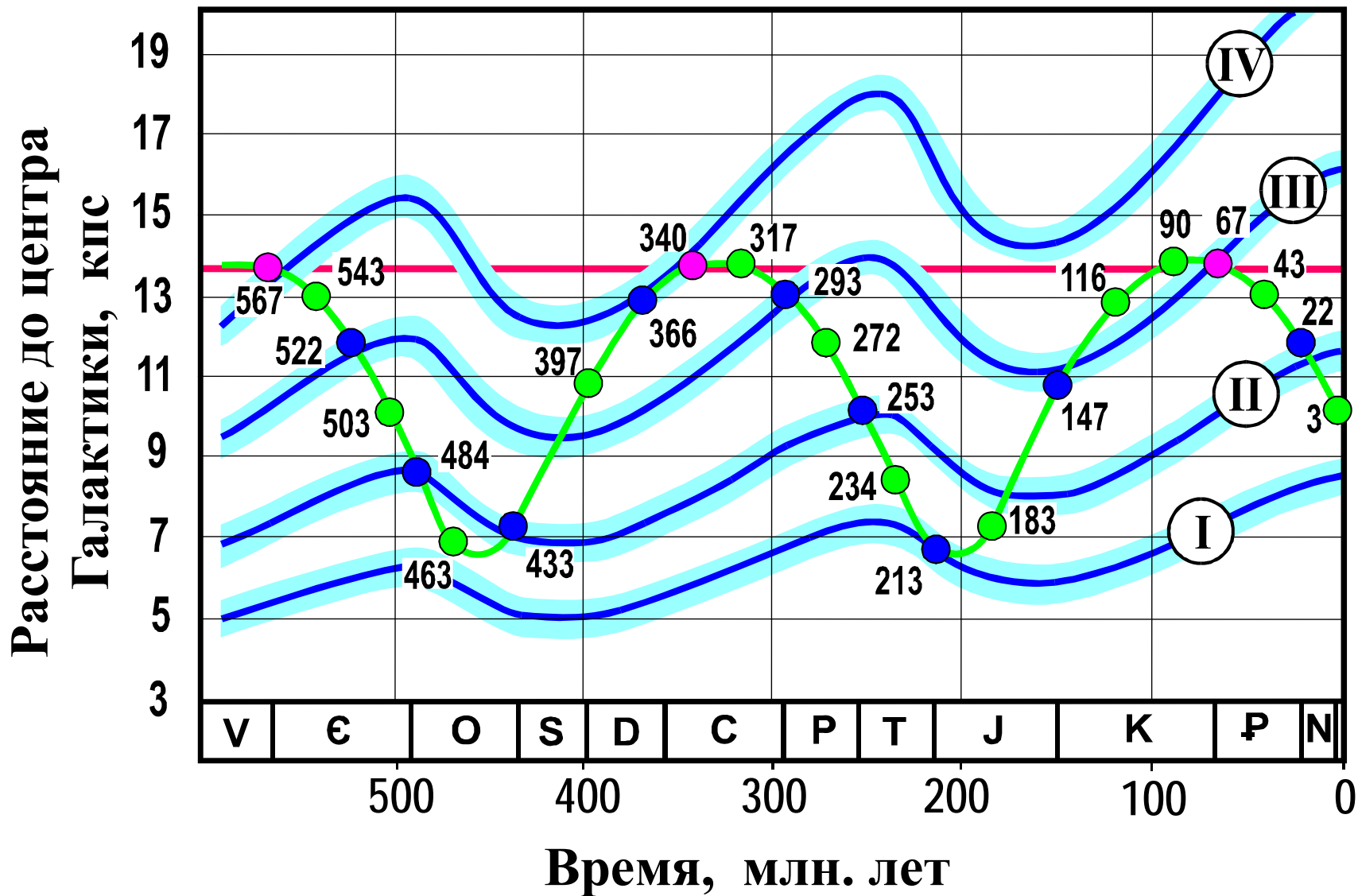
Двуспиральная модель Галактики



Галактическая модель геологической цикличности

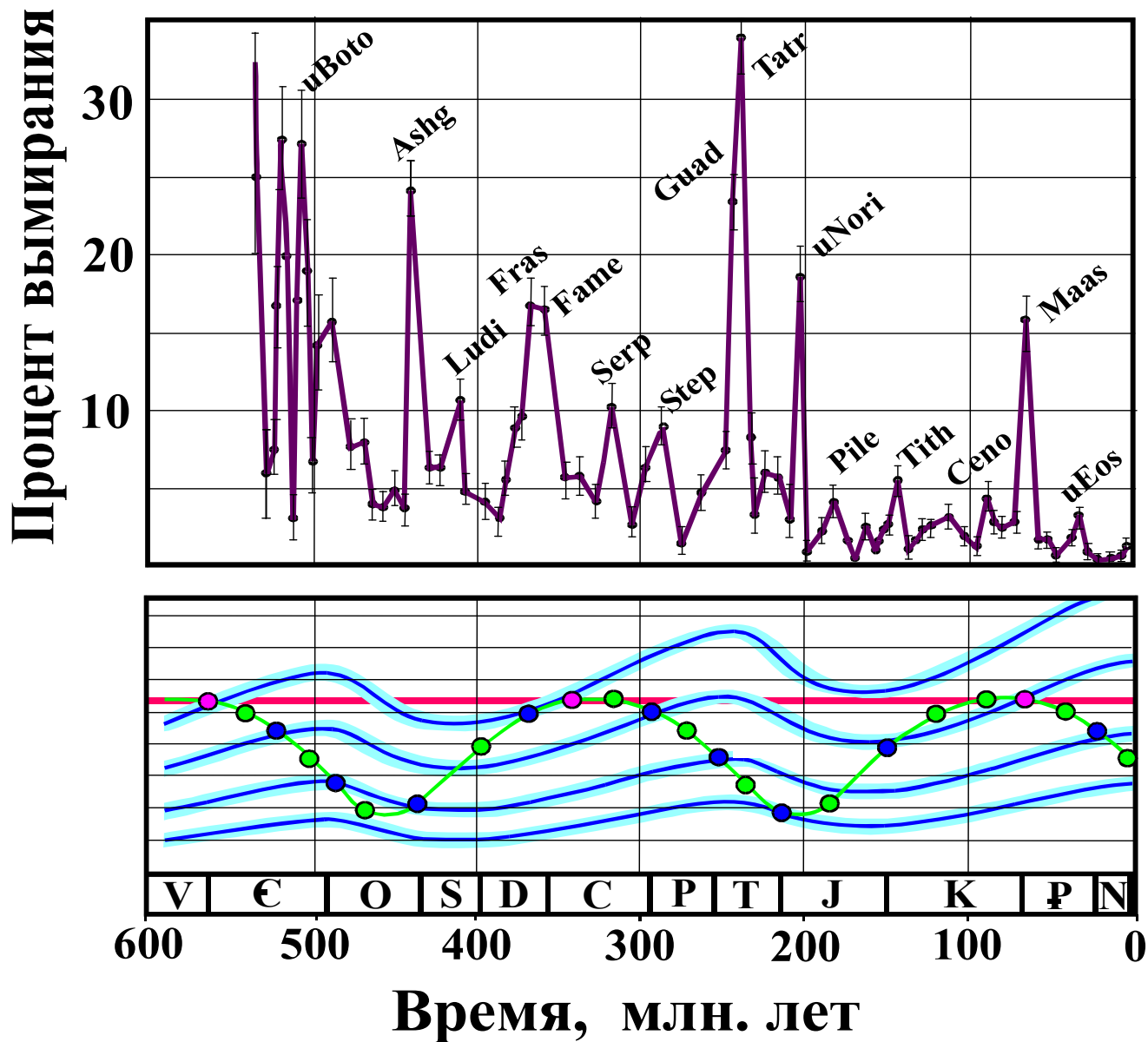


Эпохи попадания Солнца в струйные потоки и спиральные рукава Галактики



Баренбаум (2002)

Вымирание семейств живых организмов по Дж. Сепкоски (1995)



Сопоставление эпох массового вымирания биоты (Sepkoski, 1995) с расчетами (Баренбаум, 1991, 2002)

Эпоха МВ	Уровень МВ	Возраст границ веков, млн. лет	Расчет, млн. лет
Плиоцен		5.3÷1.8	3
Граница олигоцен–миоцен		23.8	22
Средний эоцен–приабонский век		37.0	43
Маастрихт–даний	ВМВ	65.0±0.1	67
Сеноман–турон		93.5±0.2	90
Баррем–апт		121.0±1.4	116
Киммеридж–титон		150.7±3.0	147
Плинсбах–тоар		189.6±4.1	183
Норий-рэт	ВМВ	209.6±4.1	213
Анизий–ладин		234.3±4.6	234

Сопоставление эпох массового вымирания биоты (Sepkoski, 1995) с расчетами (Баренбаум, 1991, 2002)

Татарский–грисбахский века	ВМВ	248.2±4.8	253
Сакмарский–артинский века		269	272
Стефанский век		303÷290	293
Серпуховский–башкирский века		323	317
Турне–визе	(ВМВ)	342	340
Фран–фамен	(ВМВ)	364	366
Лудловский век		423÷419	397
Ашгилл–ландовер	ВМВ	443	433
Лланвирн–ландейло		464	463
Тремадок – арениг		485	484
Дресбахский век		505÷495	503
Ленский (ботомгский) век		524÷518	522
Томмотский век		534÷530	543
Граница фанерозоя до 1993г		570±15	567

Пока спиральные ветви остаются необъясненными, невозможно чувствовать доверие к любым предположениям и гипотезам, касающимся других особенностей галактик, которые кажутся более легко поддающимися объяснению.

Дж. Джинс, 1929