

The background of the slide is a vibrant cosmic image featuring a dense field of stars of various colors (white, blue, yellow) and intricate nebulae in shades of red, orange, and blue. The overall effect is a deep-space, high-energy environment.

Возможное влияние межзвездной среды на процессы, протекающие на Земле

**Бочкарев Н.Г.
ГАИШ МГУ**

Основные компоненты межзвездной среды

1. Газ (атомы, молекулы, ионы, электроны) $\sim 99\%$ массы
2. Пыль $\sim 1\%$ массы
3. Магнитные поля $\sim 0\%$ массы
4. Космические лучи $\sim 0\%$ массы
5. Электромагнитное излучение $\sim 0\%$ массы

Все компоненты МЗС (любая их пара) взаимосвязаны, в большинстве случаев взаимодействие сильное (*примеры*)

Примерно равны между собой плотности энергии:

А) движений газа (кинетическая энергия),

Б) магнитного поля,

В) космических лучей

➔ сложная структура МЗС, ее динамичность



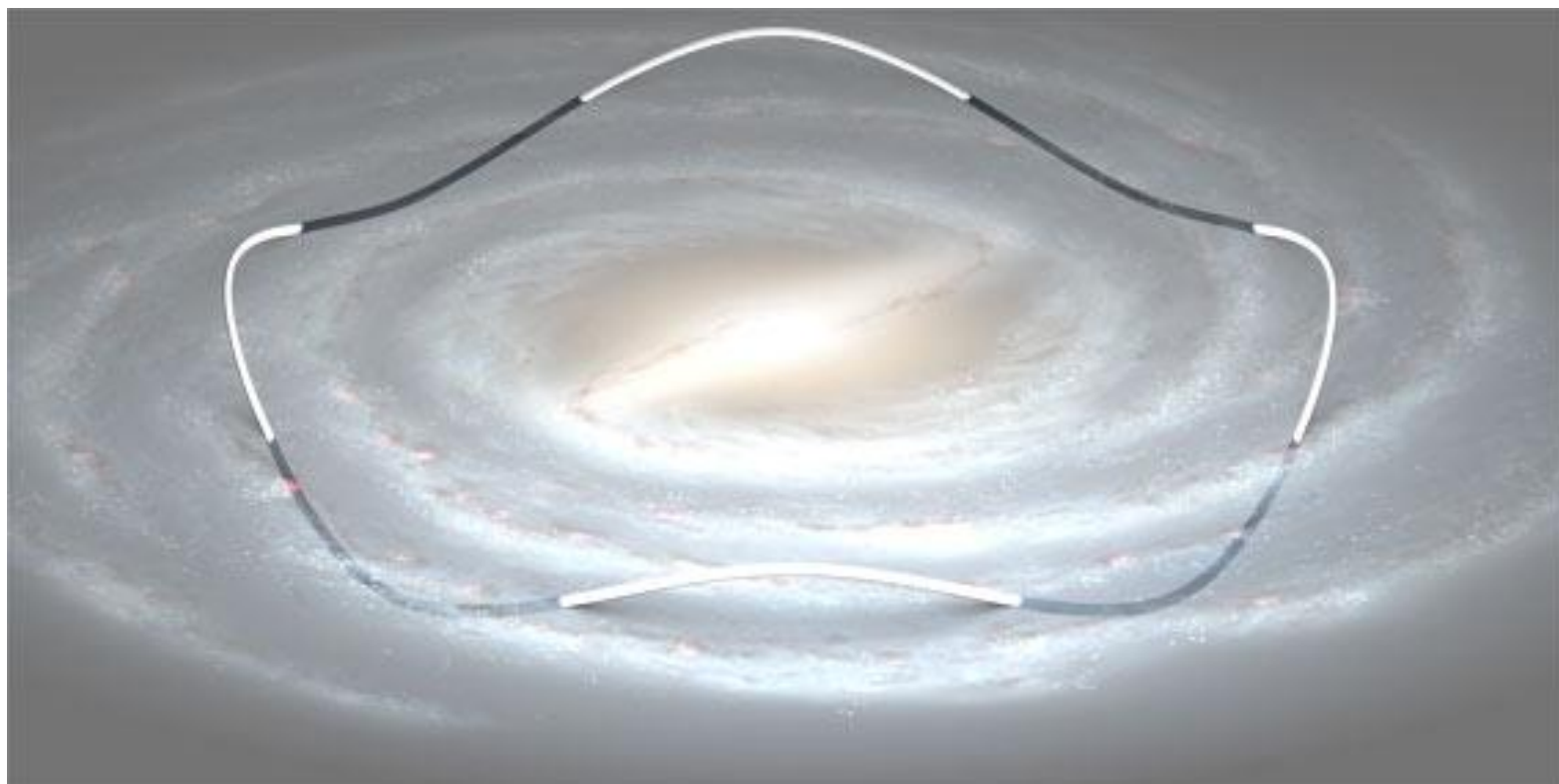


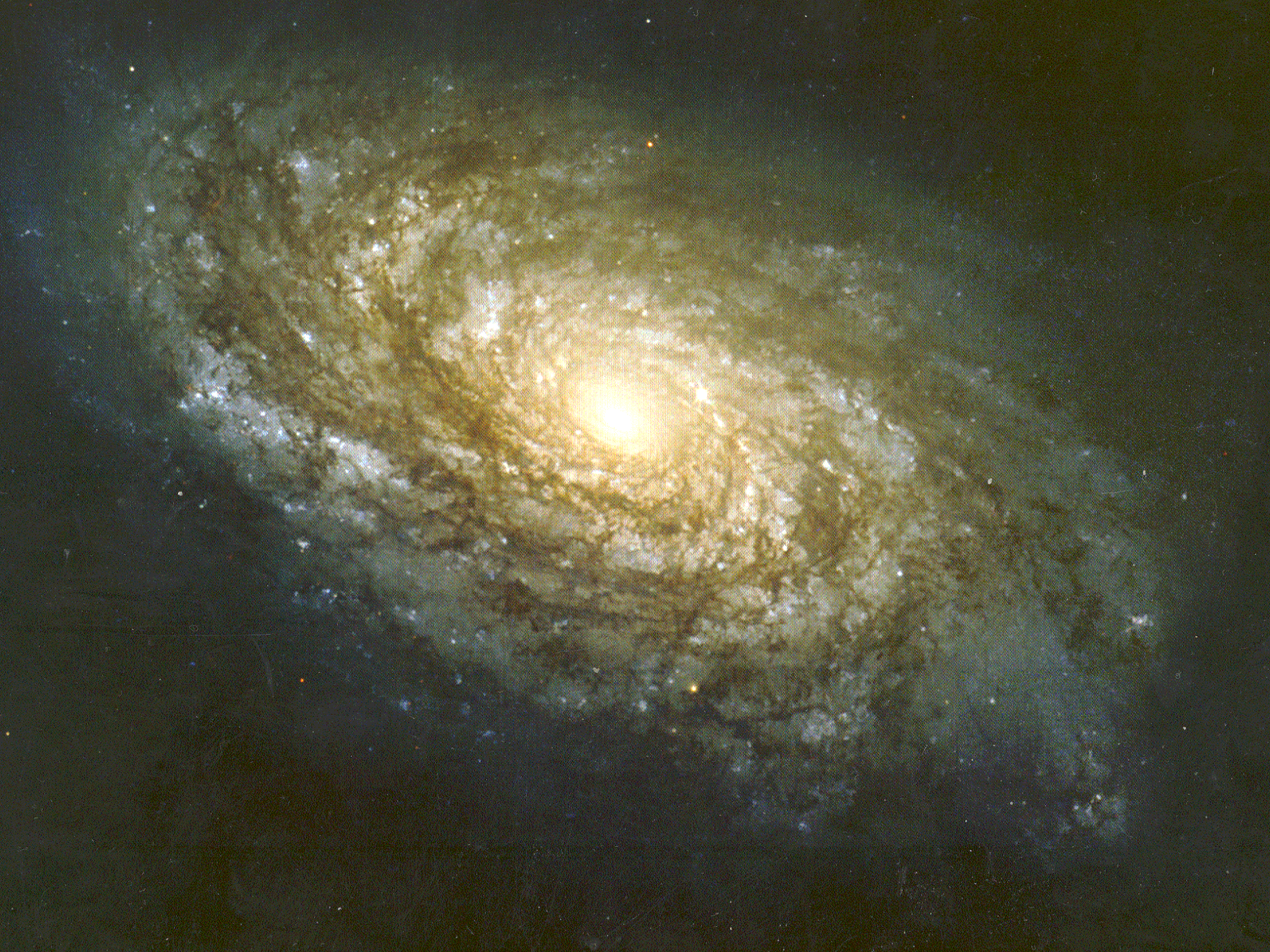


Основные структурные компоненты МЗ газа

Фаза	T, K	$n, \text{см}^{-3}$	Масса обла- ка, $M_{\odot}$	Диаметр, пк	Доля объема
Корональный газ	$\approx 5 \cdot 10^5$	$\sim 0,003^*$	—	—	$\sim 0,5$
Зоны Н II низкой плотности	$\approx 10^4$	$\sim 0,3$	—	—	$\sim 0,1$
Межоблачная среда	$\approx 10^4$	$\sim 0,1$	—	—	$\sim 0,4$
Теплые области Н I	$\sim 10^3$	~ 1	—	—	$\sim 0,01$
Средние облака Н I	≈ 80	~ 10	~ 100	~ 10	$\sim 0,01$
Темные облака	≈ 10	$\sim 10^3$	~ 300	~ 1	$\sim 10^{-5}$
Большие глобулы	≈ 10	$\sim 10^4$	~ 20	$\sim 0,3$	$\sim 3 \cdot 10^{-9}$
Области Н II	$\approx 10^4$	~ 30	~ 300	~ 10	$\sim 10^{-4}$
Гигантские молекулярные облака	~ 20	~ 300	$\sim 3 \cdot 10^5$	~ 40	$\sim 3 \cdot 10^{-4}$
Уплотнения в молекулярных облаках	≈ 6	$\sim 10^5$	~ 100	$\sim 0,5$	
Мазерные конденсации	≥ 100	$\sim 10^{10}$	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-5}$	

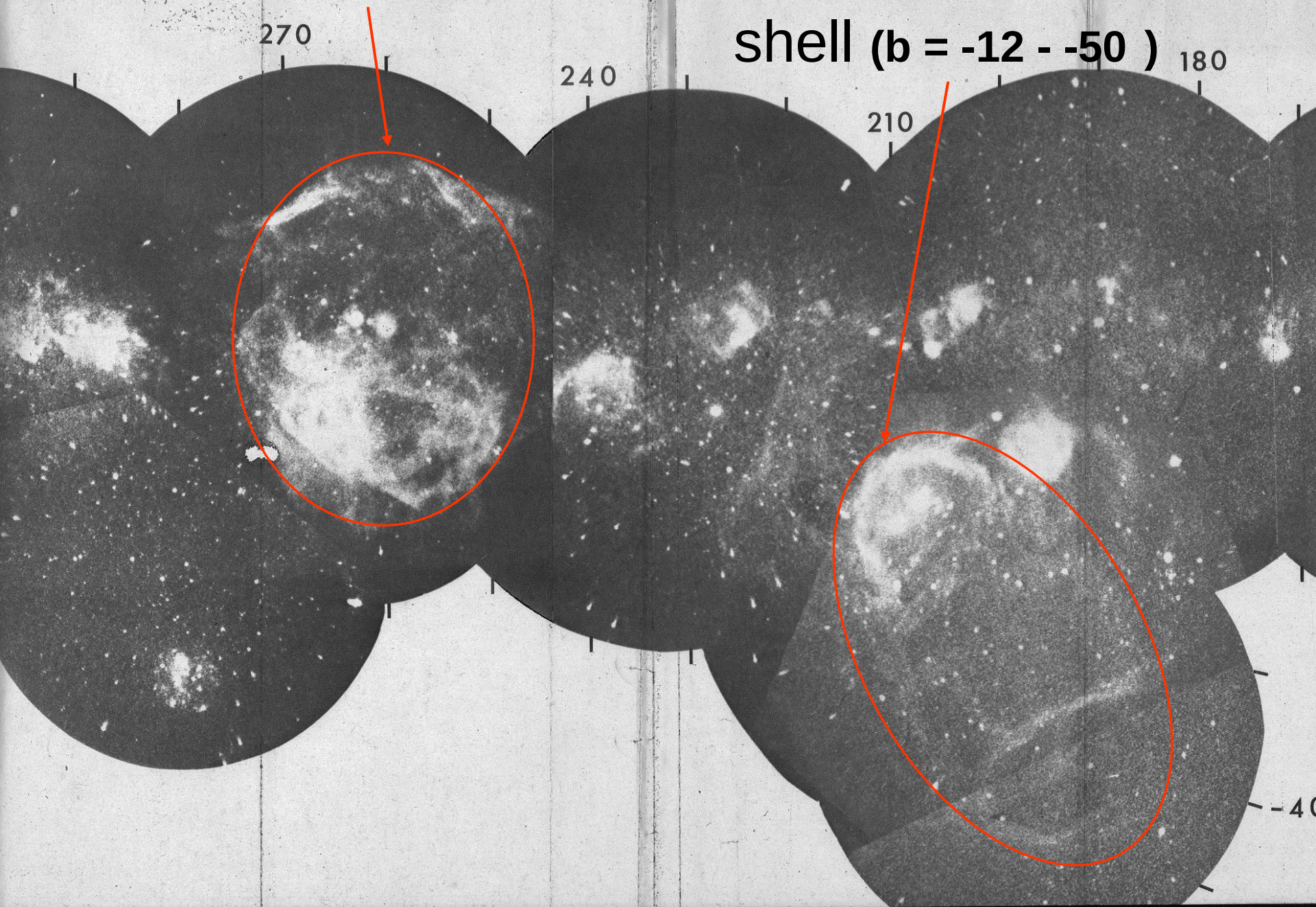
Траектория движения Солнца в Галактике





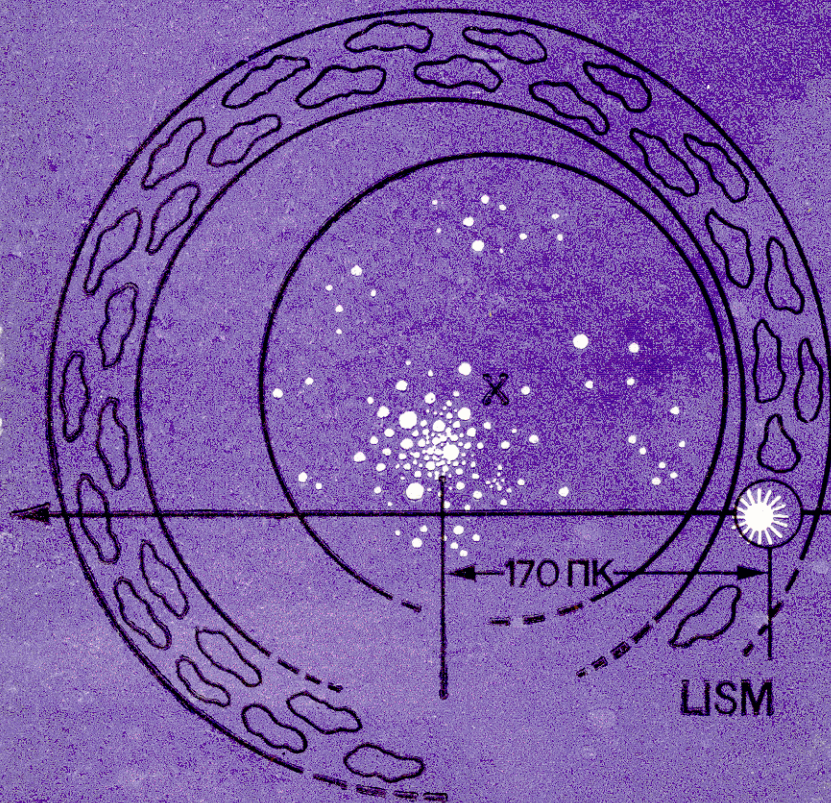
Gum nebula

Orion-Eridanus
shell ($b = -12 - -50$)



Н. Г. Бочкарев

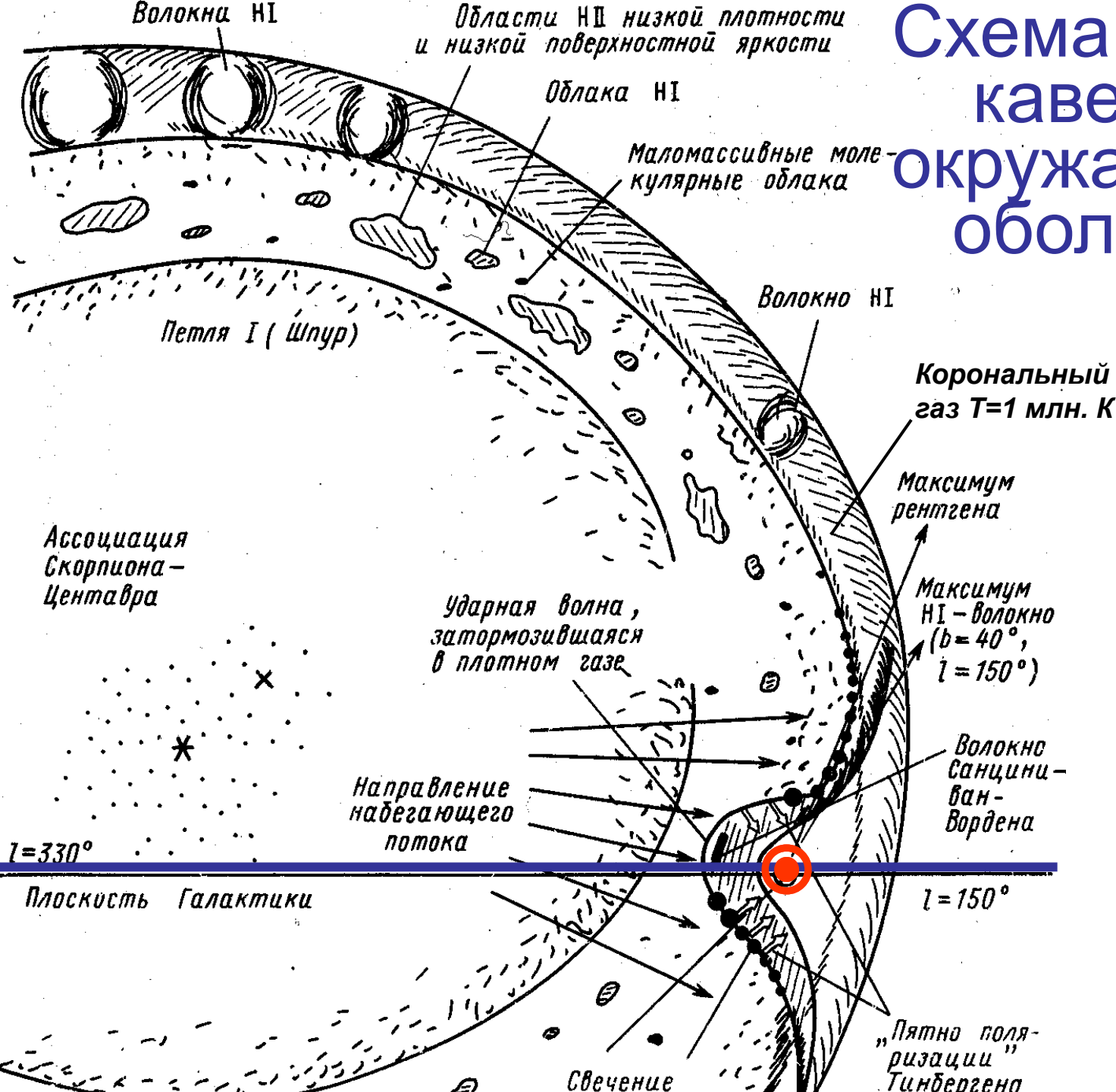
Местная межзвездная среда



ММЗС – область
диаметром сотни
парсек вокруг
Солнца, содержащая:

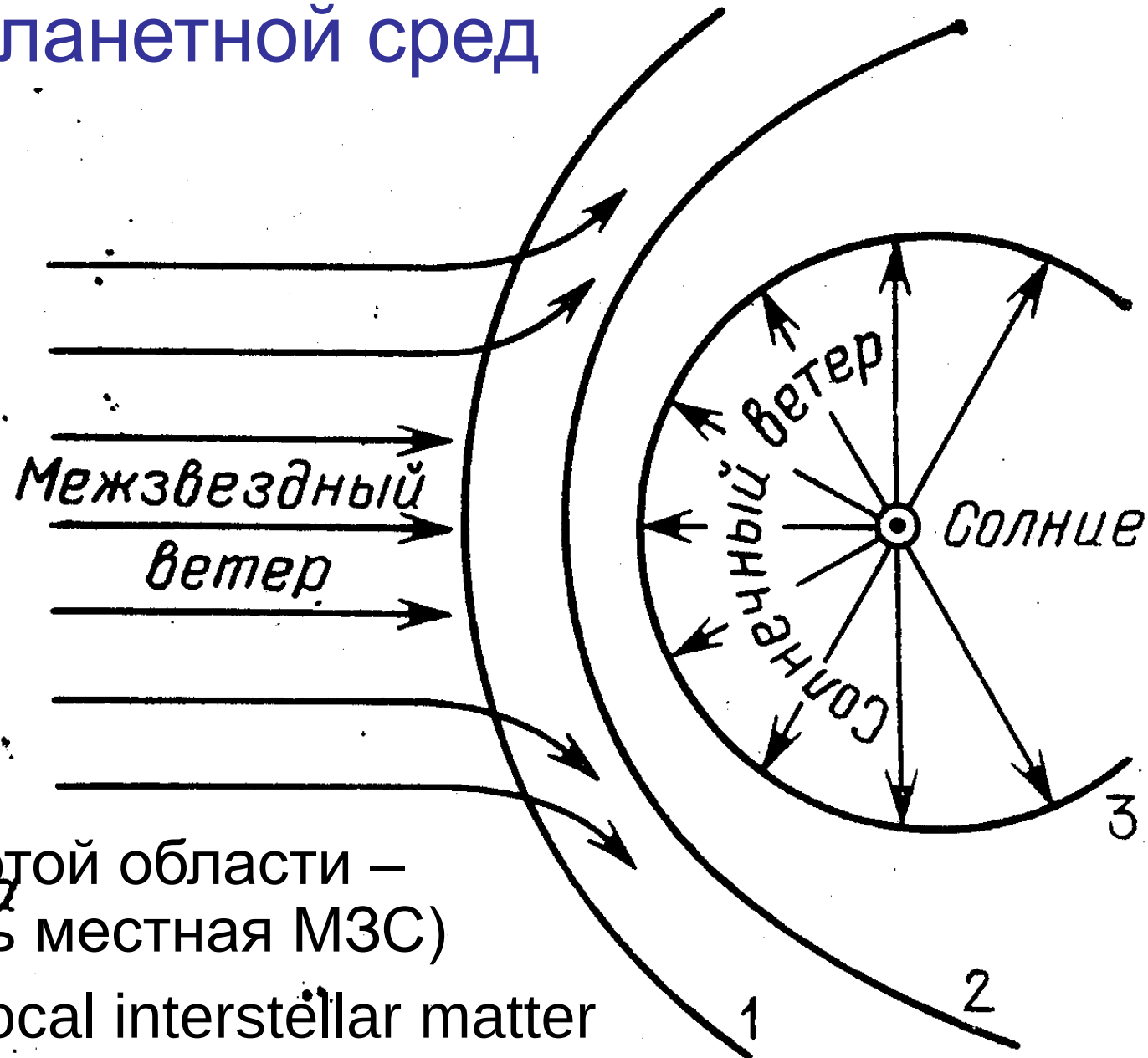
- Местную сверхоболочку (вокруг В-ассоциации Скорпиона-Центавра), ограниченную волокнами H I,
- старый ОСН – Северный полярный шпур,
- газ пояса Гудда ярких звезд
- «коридор» почти свободный от МЗ поглощения ($I=240$),
- разреженные области H II,
- мелкие молекулярные облака ($2-250 M_{\odot}$),
- корональный газ ($T=1$ млн K),
- области звездообразования и т.д.

Схема Местной каверны и окружающей ее оболочки HI



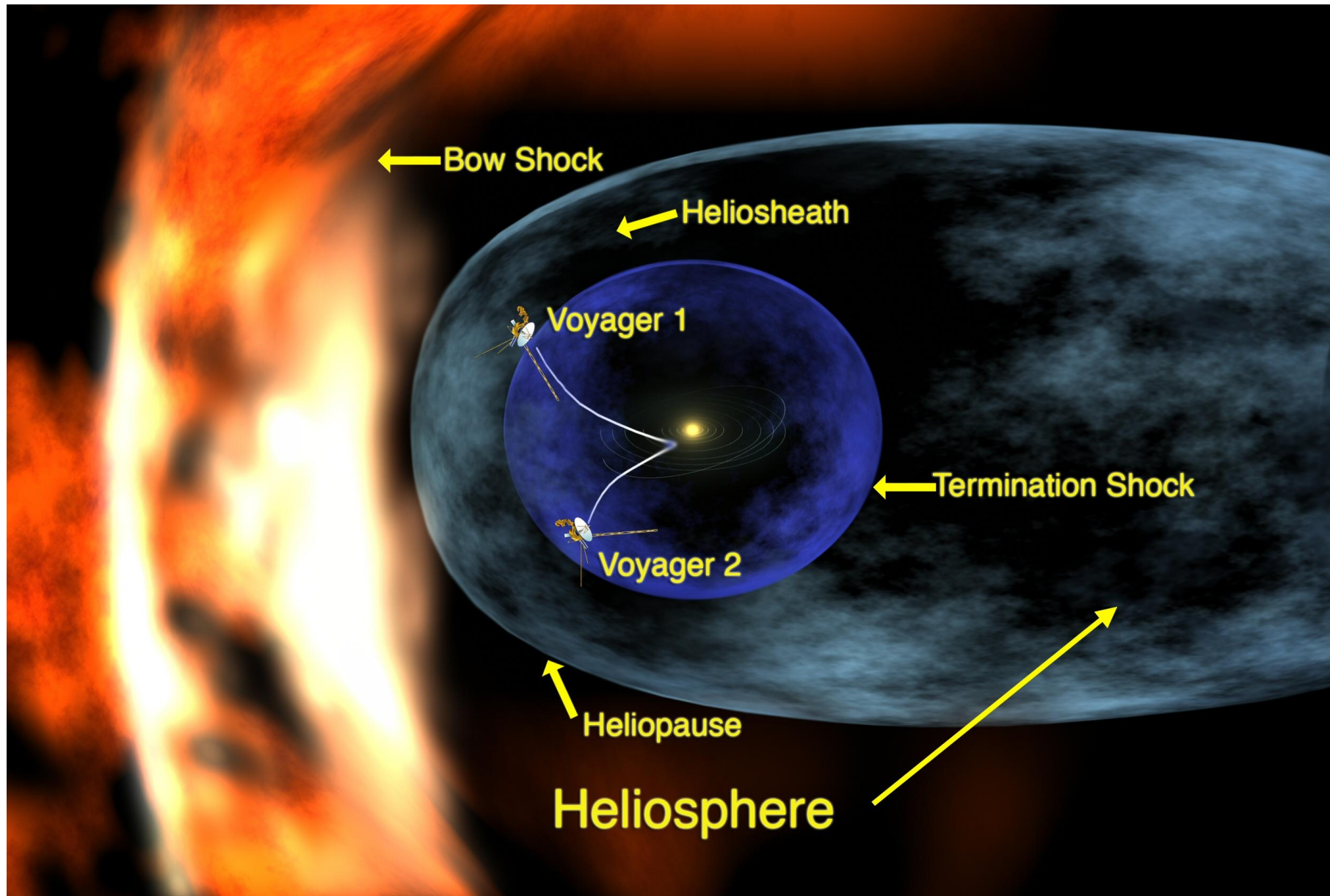
Гелиопауза – область взаимодействия МЗ и межпланетной сред

МЗ ветер:
 $v=21.5 \pm 2.5$
км/с
дует от
 $l=4 \quad b=18$

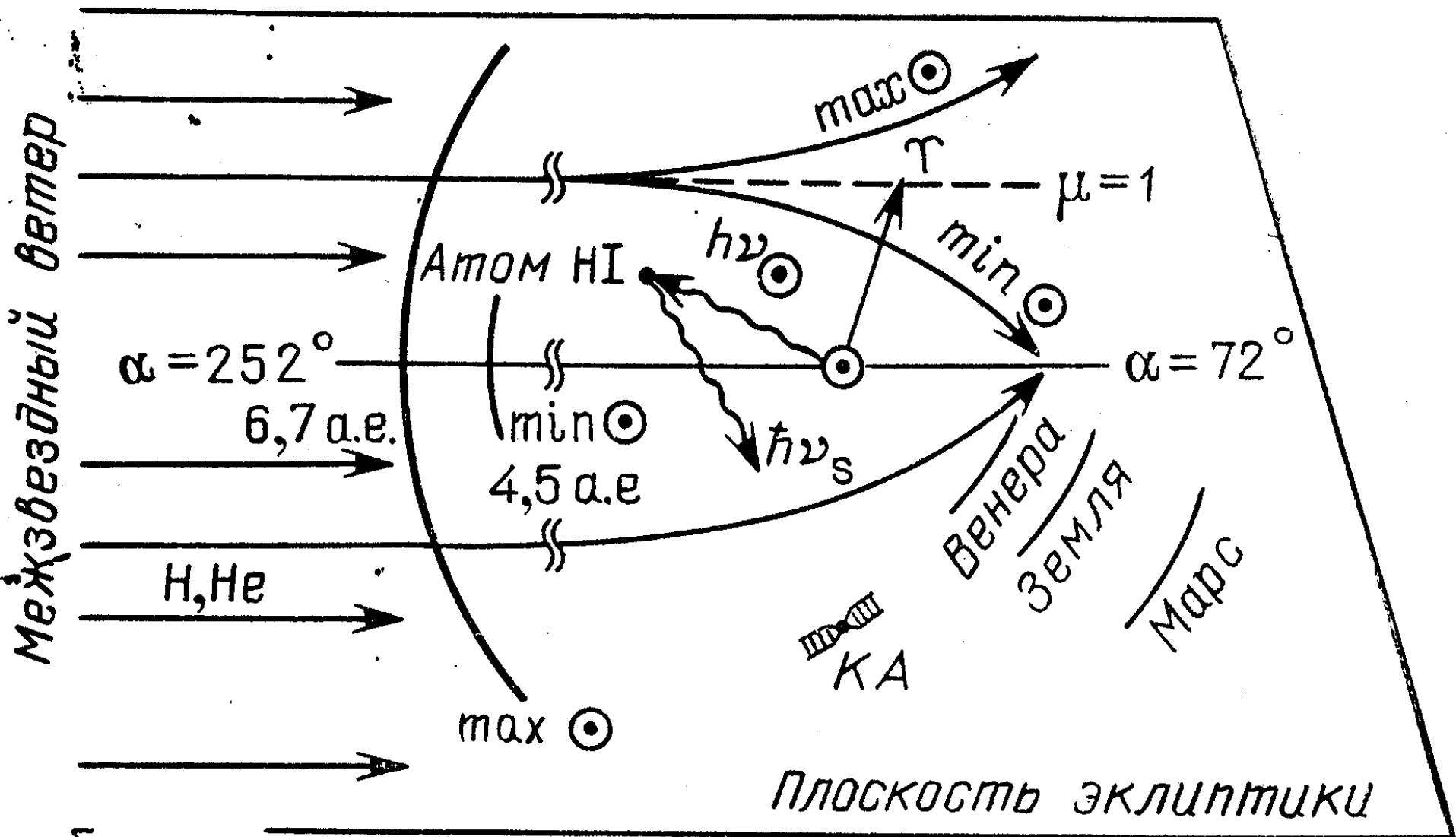


Др. название этой области –
ОММЗС (очень местная МЗС)
VLISM – very local interstellar matter

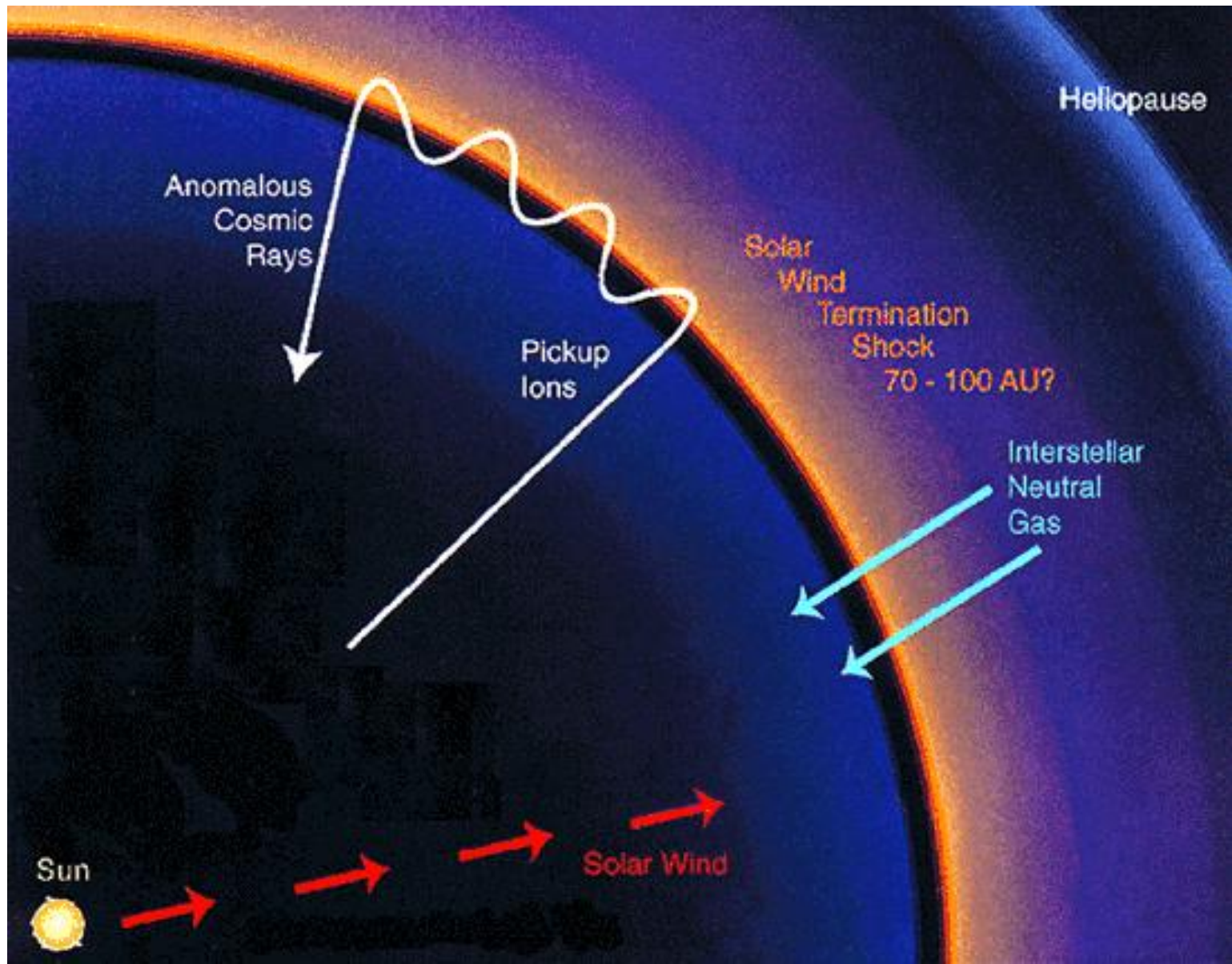
Строение гелиосферы



Области H II и He II вокруг Солнца



Аномальная компонента космических лучей (ACR)



ОММЗС (VLISM) – ближнее МЗ окружение солнечной системы

- Изучено по фону неба в УФ линиях водорода $L\alpha$ $1216\text{\AA}$, $L\beta$ $1025\text{\AA}$ и He I $584\text{\AA}$.
- Фон $L\alpha$ открыт Куртом (1965), его яркость 200-1000 рэлеев (в т.ч. от Галактики ≈ 15 рэл)
- В невозмущенной МЗС вблизи гелиосферы:
 $T=7000 \text{ } 2000 \text{ K}$
 $n(\text{HI}) \approx 0.1-0.2 \text{ см}^{-3}$; $\max(n(\text{HI})) \approx 0.3 \text{ см}^{-3}$
 $n_e \approx 0.05-0.3 \text{ см}^{-3} \Rightarrow x=n(e)/n(\text{HI}) \approx 0.3-0.5?$
 $p/k=nT \approx 1000-2000 \text{ K см}^{-3}$.

Вывод: Солнце находится в теплой области
HI

Сжатие гелиосферы внутри межзвездных облаков

- При движении Солнца в Галактике за 4.5 млрд. лет оно ~ 135 раз проходило сквозь облака с концентрацией $n(\text{H}) > 100 \text{ см}^{-3}$
- (т.е. 7-8 раз за 250 млн. лет) и
- ~ 16 облаков с $n(\text{H}) > 10^3 \text{ см}^{-3}$
- [Talbot & Newman, 1978].
- Внутри облака с $n(\text{H}) = 150 \text{ см}^{-3}$ радиус гелиосферы $r = 2 \text{ A.U.}$;
- $n(\text{H}) = 330 \text{ см}^{-3}$ 1 A.U.
- Поток GCR практически не меняется;
- Поток ACR возрастает $\sim n(\text{H})$.

Потери озонового слоя

Темп образования окислов азота

Pavlov+(2005)

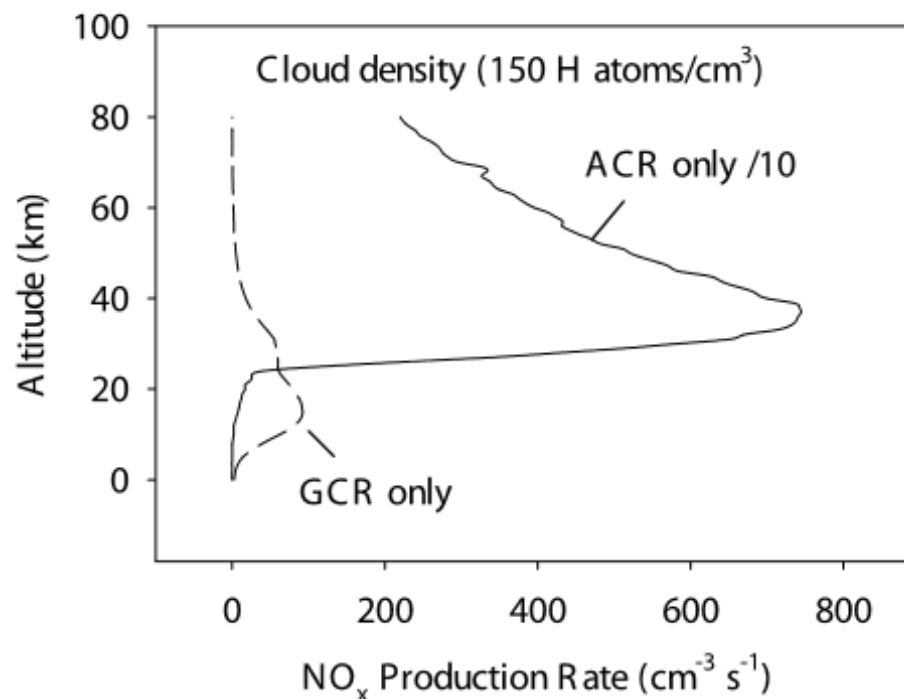


Figure 1. NO_x production rate by GCR and ACR. The ACR production rate of NO_x was divided by 10 so that it could be compared to the GCR production rate. The higher altitude of the maximum of the ACRs NO_x production rate is due to the “softer” energy spectrum of the ACRs compared to the GCRs.

Разрушение озонового слоя

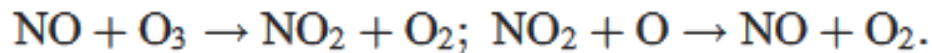
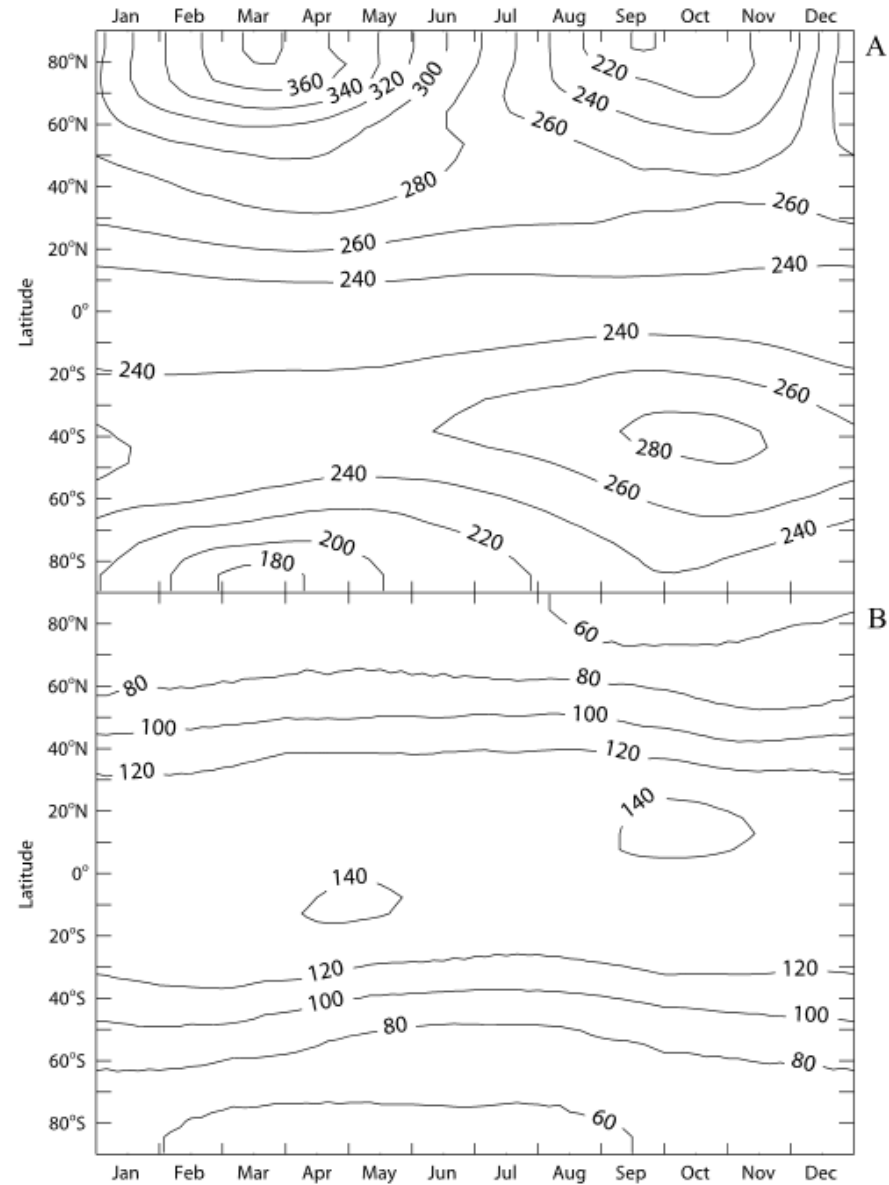


Figure 2. Column ozone abundance (in DU, Dobson units) a) Ozone abundance in control case (pre-anthropogenic atmosphere) - no cosmic ray generated NO_x b) Ozone abundance with ACRs/GCRs' NO_x during Solar system's collision with moderately dense (150 H atoms/cm^3) interstellar cloud. ACRs' and GCRs' NO_x production rates were taken from Figure 1 and assumed the same at all latitudes corresponding to a period of magnetic field reversal.



Потери озонового слоя

- Характерное время, за которое содержание озона достигает нового стационарного состояния, составляет порядка 5-10 лет [Pavlov et al., 2005],
- в отличие от других случаев изменения содержания окислов азота внеземного происхождения:
 - падение на Землю крупных тел [Prinn & Fegley, 1987];
 - сверхмощные солнечные вспышки [Jackman et al., 2000],
 - вспышки SN [Gehrels et al., 2003],
 - гамма-вспышки [Melott et al., 2004],когда для восстановления озона требуется лишь 1-2 года.

Переполюсовки и экскурсы магнитного поля Земли

- Смены полярности магнитного поля Земли и магнитные экскурсы, когда дипольная компонента магнитного поля приближается к нулю, хорошо документированы и происходят в среднем раз в 200 тыс. лет.
- Поскольку столкновения гелиосферы с межзвездными облаками длятся примерно 1 млн. лет, за это время обычно происходит несколько переполюсовок длительностью 1 тыс. – 10 тыс. лет.
- В это время из-за отсутствия магнитных экранов космические лучи свободно проникают в атмосферу Земли. Происходят потери озонового слоя не только в полярных областях, а над всей поверхностью Земли.

Переполюсовка во время прохождения сквозь облако

- На протяжении 1-10 тыс. лет слой озона ослаблен не только около полюсов, но и на всей планете.
- Биосфера ослаблена, что может приводить к массовому вымиранию видов.

Диагностика МЗС сквозь которую перемещалось Солнце последние 50 млн. лет

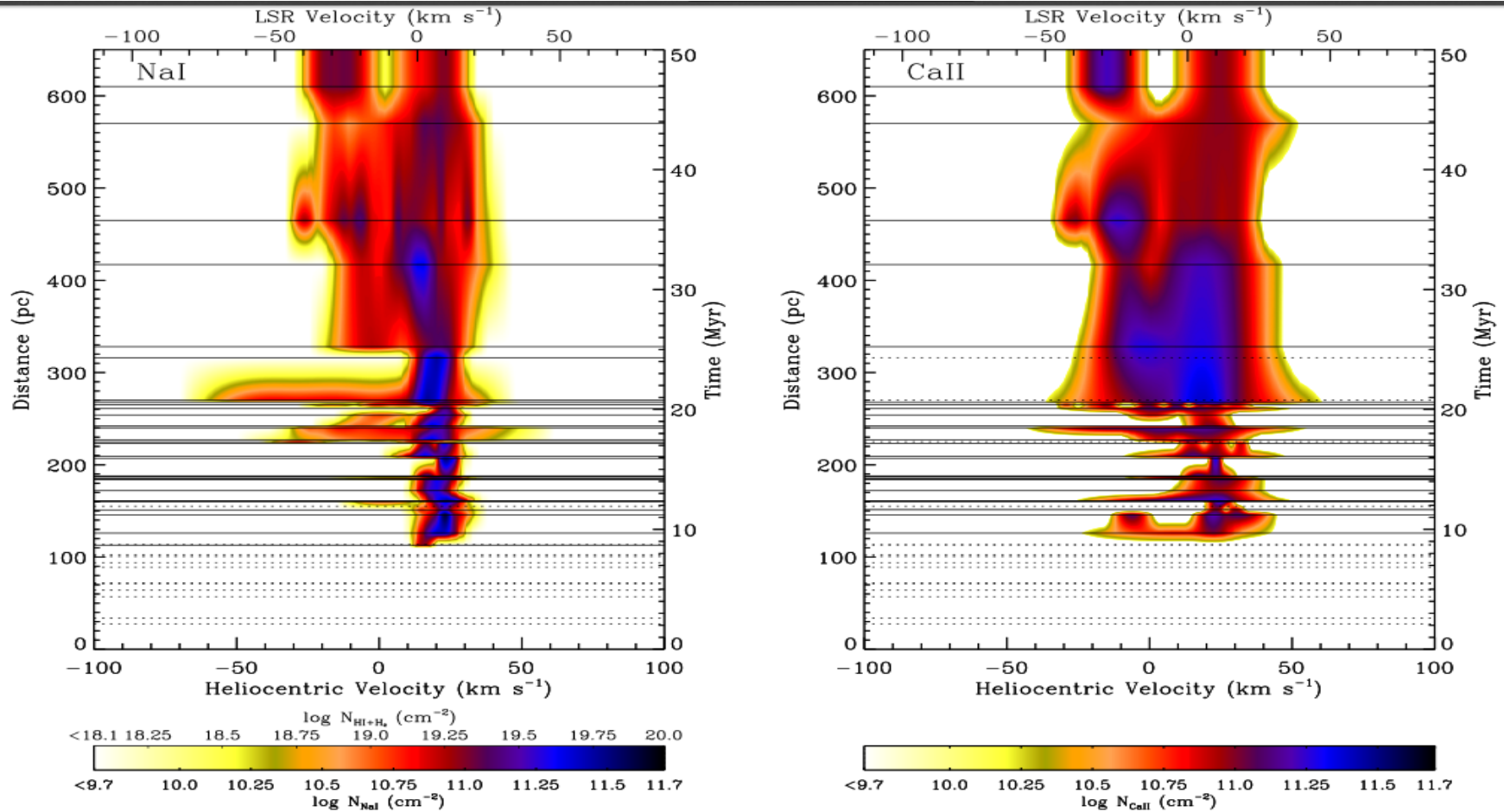
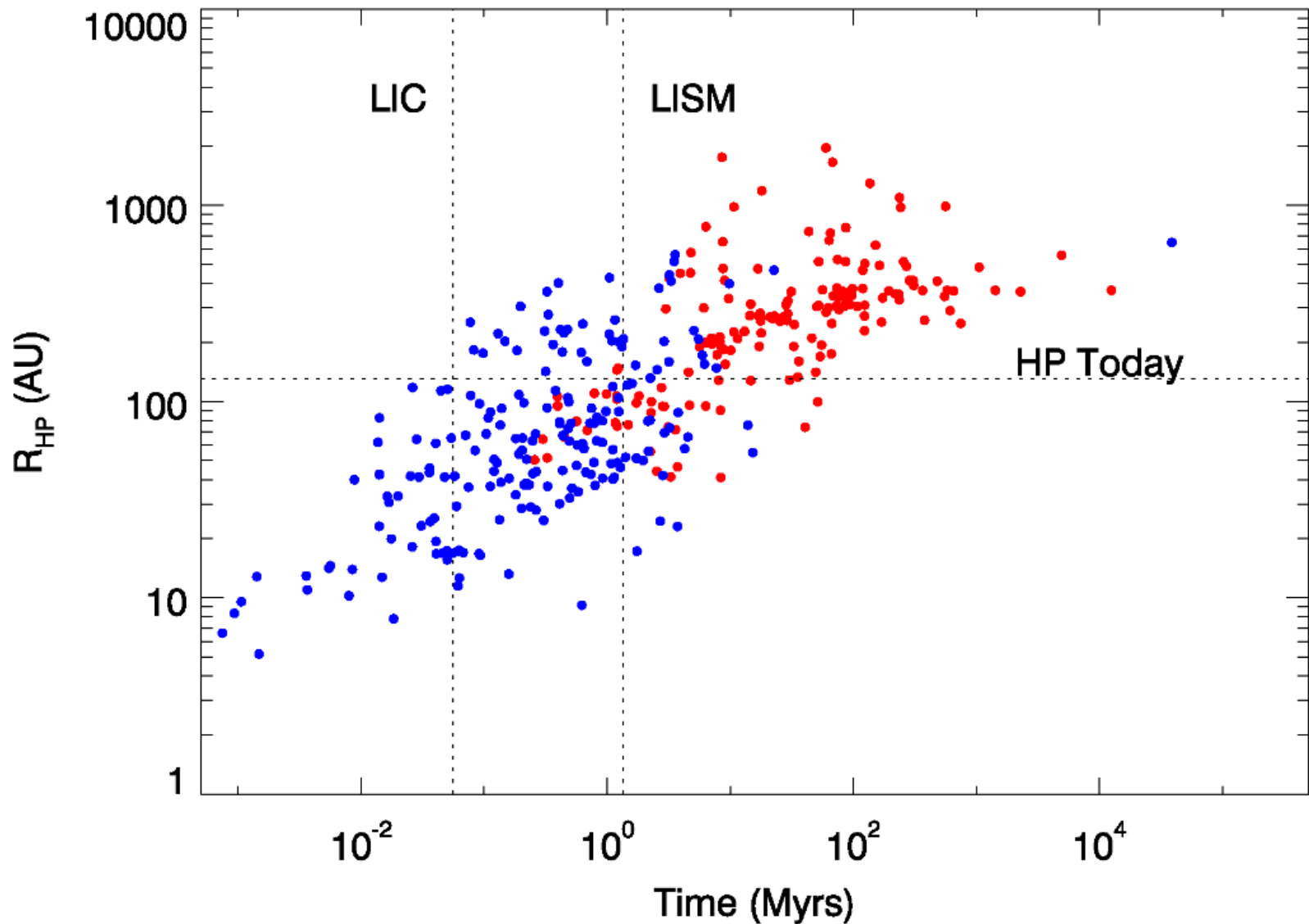


Figure 7. (Left) Apparent column density profile determined from the sodium data plotted at the distance to each star. The stellar distance is marked by black horizontal bars. Sight lines for which only upper limits were made are indicated by dotted lines. The distance axis is also displayed as a function of time, based on current values of the solar motion (Dehnen & Binney 1998). The NaI column density ($N(\text{NaI})$) is converted to hydrogen column density ($N(\text{H I} + \text{H}_2)$) based on the correlation found by Ferlet et al. (1985). (Right) Same for the calcium data.

(A color version of this figure is available in the online journal.)

Гелиосфера во времени



Возмущения облака Оорта

Солнце находится очень близко к краю теплого облака с $n=0.3 \text{ cm}^{-3}$. Меньше, чем через 4 тыс. лет оно войдет в горячий разреженный газ местной сверхоболочки. Возможно внешние части облака Оорта уже туда вошли и испытывают возмущения. Это может провоцировать увеличение потока комет в окрестности Земли.

Изменение размеров гелиосферы при пересечении границы МЗ облака и последующая кометная бомбардировка могут вызывать парные события похолодания:

- одно - от увеличения потока КЛ и
- другое – вследствие падения комет.

Такие парные события, возможно, были обнаружены.

Движение Солнца в Галактике и модуляция космических лучей

- Вариации потока КЛ низких энергий, измеряемые по дозе облучения, полученной железными метеоритами разного возраста (Exposure Ages), коррелируют с
- вариациями температуры на Земле,
- прохождениями Солнечной системы через спиральные рукава Галактики,
- ...

Корреляция колебаний температуры Земли и потока КЛ

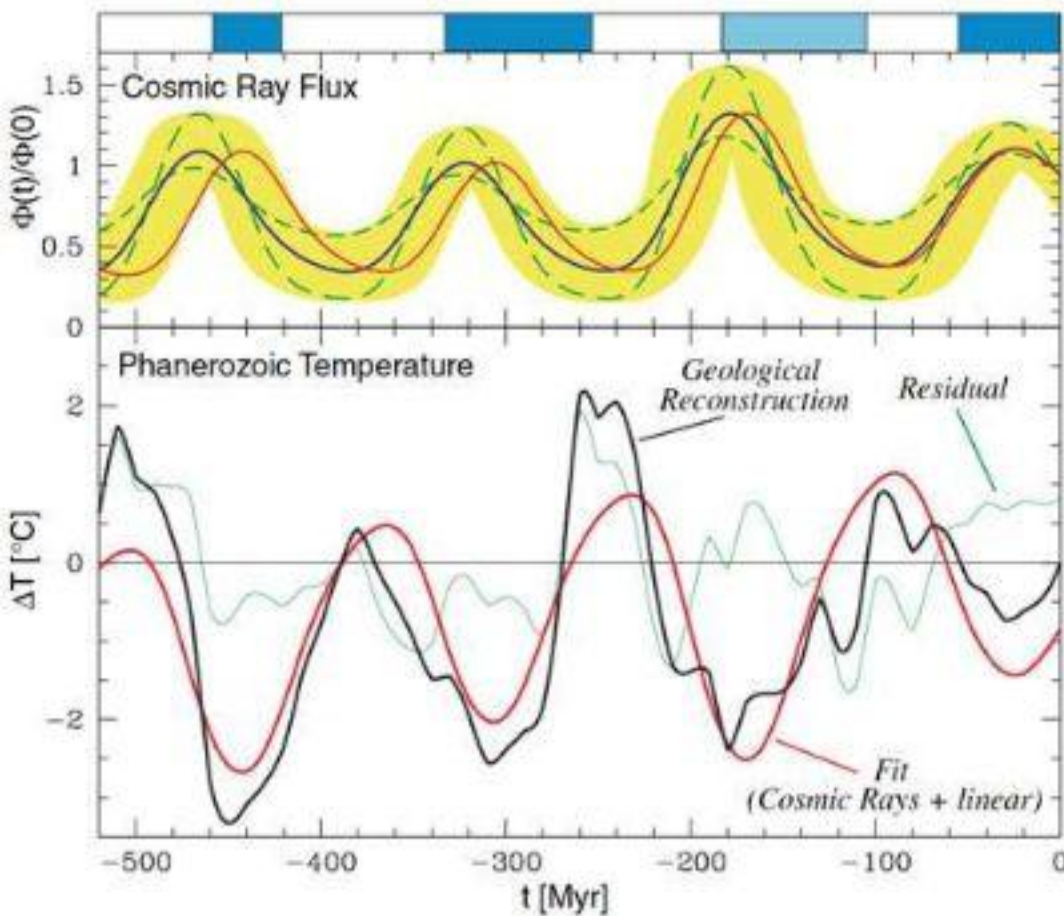
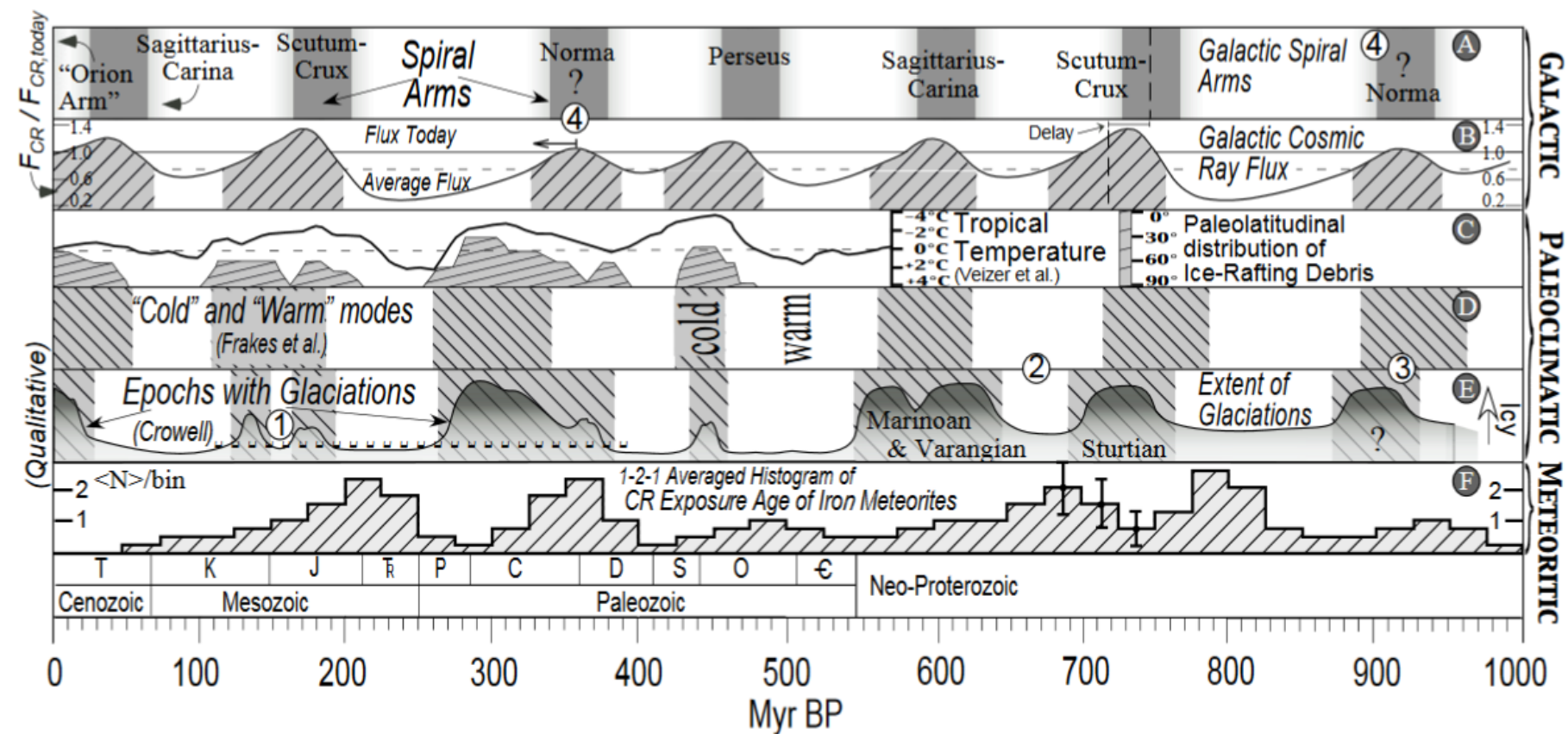


Figure 5: Comparison between the reconstructed cosmic ray flux and the quantitative temperature reconstruction over the Phanerozoic: The top panel describes the reconstructed Cosmic Ray Flux variations over the past 500 Million years using the exposure ages Iron Meteorites. The bottom panel depicts in black, the reconstructed tropical ocean temperature variations using isotope data from fossils. The red line is the fit to the temperature using the cosmic ray flux variations. The notable fit implies that most of the temperature variations can be explained using the cosmic ray flux, and not a lot is left to be explained by other climate factors, including CO₂. This implies that cosmic rays are the dominant (tropical) climate driver over the many million year time scale

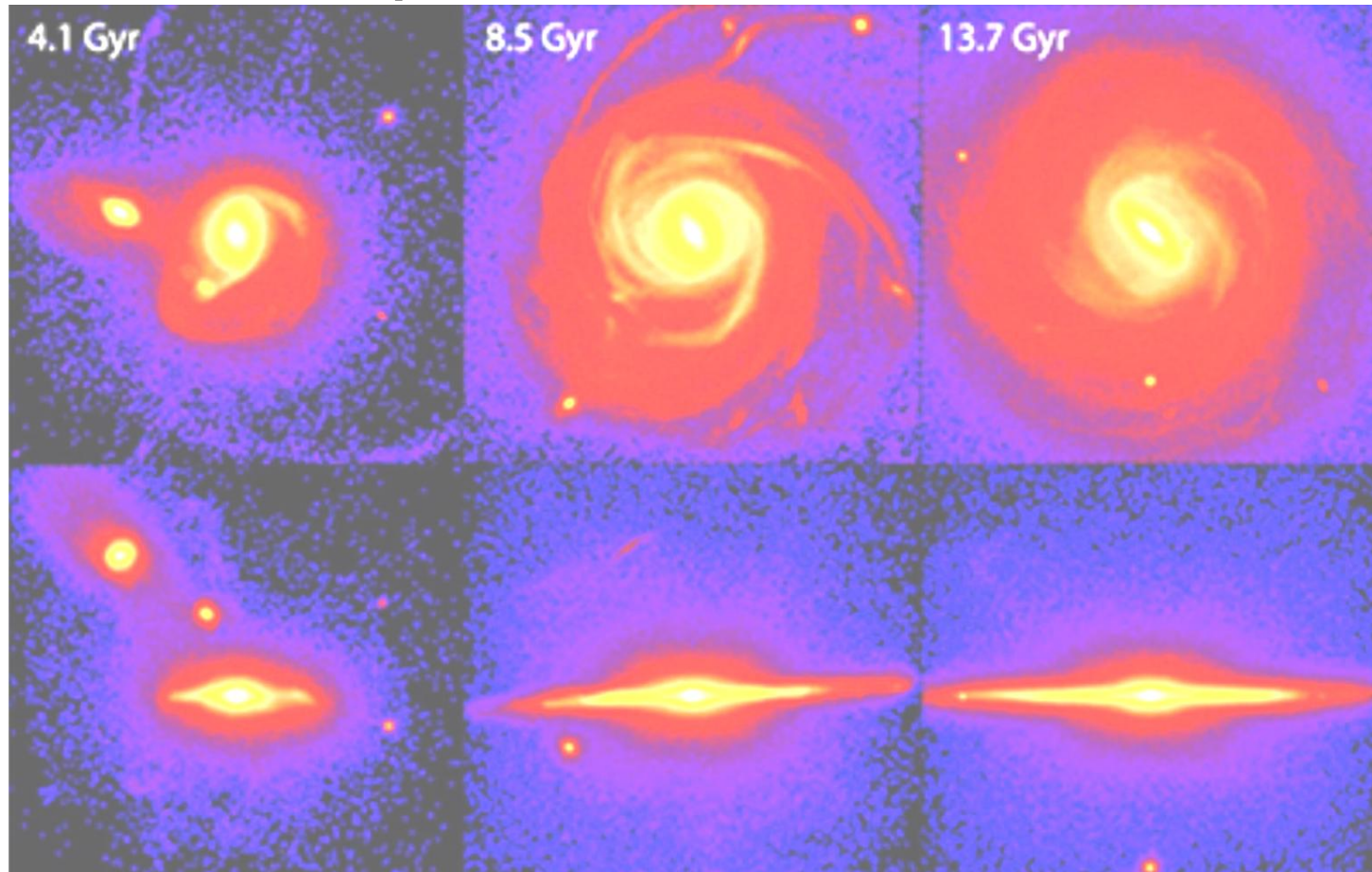
Спиральные рукава, КЛ, оледенения, климат



Изменение свойств межзвездной среды в процессе эволюции Галактики при мерджинге

- Недавно выяснилось, что важнейшую роль в эволюции галактик играет мерджинг, т.е. их слияние (гл. обр., поглощение маленьких большими).
- Вызванные мерджингом возмущения часто вызывают в галактиках бурное звездообразование, которое может настолько нагреть межзвездный газ, что образование новых звезд, вероятно, становится на некоторое время невозможным.
- Процесс бурного рождения звезд усиливает генерацию КЛ и изменяет параметры межзвездной среды. В результате изменяется облучение КЛ поверхности Земли.
- **Поэтому надо изучать возможное влияние эволюции Галактики на биосферу.**

Эволюция нашей Галактики

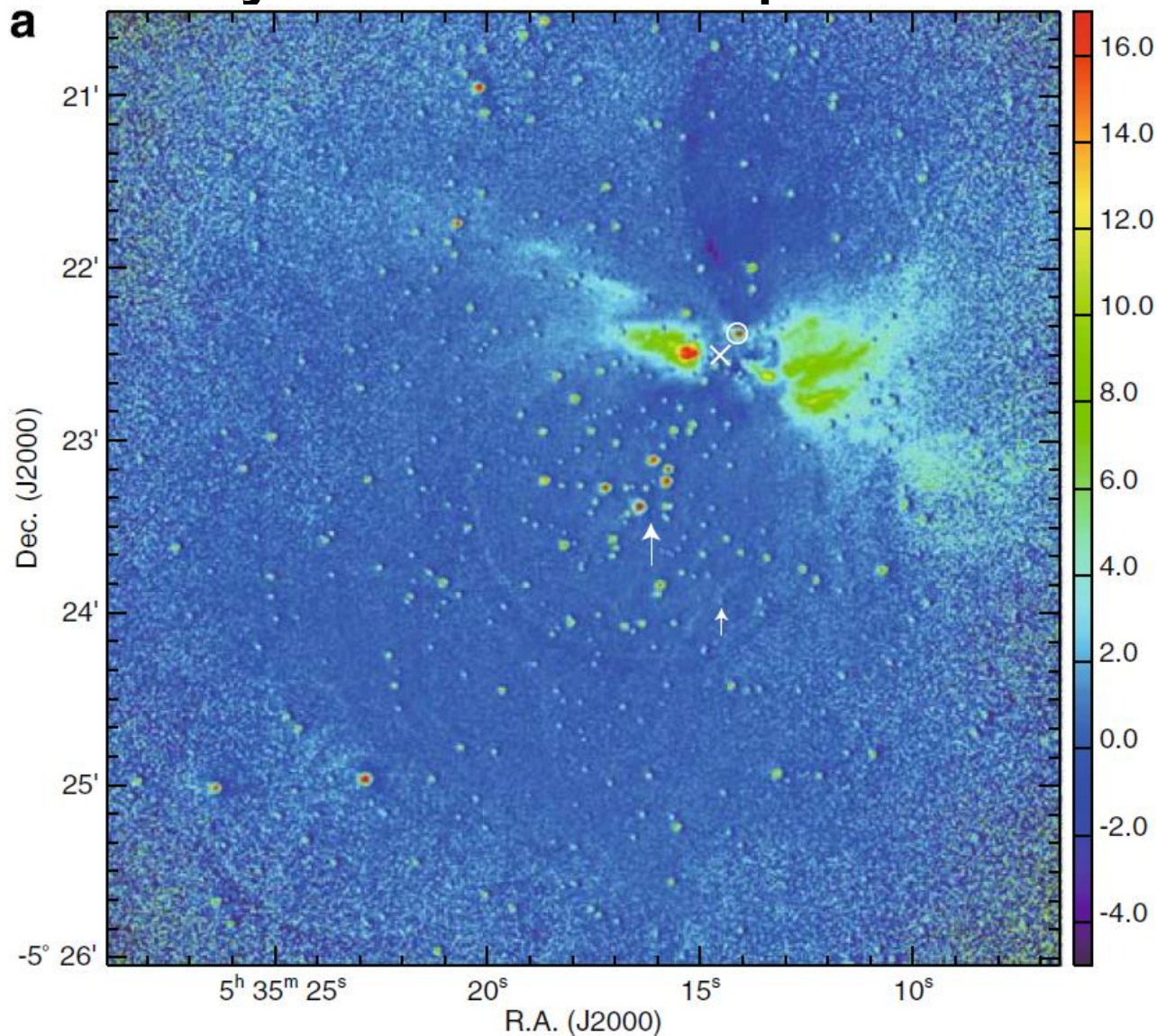


- За последние 5 млрд. лет наша Галактика не испытывала сильных мерджингов.
- Поглощение Магеллановых облаков Галактикой завершится через 4 млрд. лет.
- Столкновение с галактикой M31 (туманность Андромеды) – через 5 млрд. лет.

Круговая поляризация излучения массивных протозвезд и проблема гомохиральности

Причина возникновения гомохиральности жизни на Земле до сих пор не выяснена (см., напр., [16, 17]). Недавно появились новые наблюдательные данные, которые, возможно, помогут решить эту проблему. Впервые удалось измерить распределение по картинной плоскости круговой поляризации ближнего ИК излучения (2 мкм) в ближайшей к нам области интенсивного звездообразования -- туманности Ориона. Около массивной протозвезды BN/KL обнаружен примыкающий к нему протяженный участок неба размером $0.4 \text{ пк} = 1.2 \text{ св. года}$, излучение которого имеет значительную круговую поляризацию достигающую $\sim 10\%$ [18].

Круговая поляризация ИК (2 мкм) излучения центральной части туманности Ориона



Круговая поляризация излучения массивных протозвезд и проблема гомохиральности -- 2

Этот результат указывает на возможный источник происхождения гомохиральности жизни на Земле.

Действительно, изотопный состав солнечной системы говорит о том, что на раннем этапе ее формирования рядом произошел взрыв массивной сверхновой.

Это в свою очередь означает, что за несколько миллионов лет до взрыва протопланетный диск, из которого сформировалась Солнечная система, должен был испытать сильное облучение излучением той же звезды, когда она еще только формировалась.

Если эта протозвезда испускала свет со степенью круговой поляризации характерной для протозвезды BN/KL, то подвергнутый такому облучению рацемический набор молекул протопланетного диска приобретает небольшую преимущественную хиральность [19].

Последующие химические реакции могут усилить ее [20], в том числе в условиях протопланетного диска.

Спасибо за внимание