

Вклад звезд в гало (короне) галактик в оптическое фоновое космическое излучение

Contribution of stars in the halo (corona) of galaxies to the optical cosmic background radiation

Поройков С.Ю.

Канд. физ.-мат. наук МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва
e-mail: sporoykov@mail.ru

Poroykov S.Yu.

Ph. D. (Phys.-Math.) Lomonosov Moscow State University, Moscow
e-mail: sporoykov@mail.ru

Аннотация

Население II гало (короны) Галактики (КГ) составляют в основном старые маломассивные звезды. Микролинзирование выявило в КГ объекты массой $0,15 - 0,9 M_{\odot}$, которая соответствует массе звезд низкой светимости $\leq 10^{-2} L_{\odot}$ – красных карликов $0,15 - 0,5 M_{\odot}$ и белых карликов $0,6 - 0,9 M_{\odot}$ (суммарной массой $\sim 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$). Звезды в КГ радиусом $\sim 0,1$ Мпк могут образовать изотропное излучение на удалении $\sim 10^3$ Мпк ($z \sim 0,3$). Показано, что старые звезды в КГ с учетом стадии красных гигантов могут формировать фоновое космическое излучение (ФКИ) с плотностью энергии от $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ в видимой области до $\sim 10^{-2}$ эВ/см³ в ИК области ~ 1 мкм. Газовые оболочки красных гигантов в КГ, образуемые звездным ветром, могут вносить вклад в ФКИ в УФ области с плотностью энергии $\sim 10^{-3}$ эВ/см³.

Ключевые слова: корона Галактики, белые карлики, красные карлики, красные гиганты, фоновое космическое излучение.

Abstract

The population of the II halo (corona) of the Galaxy (CG) consists mainly of old low-mass stars. Microlensing revealed objects in the CG with a mass of $0.15 - 0.9 M_{\odot}$, which corresponds to the mass of low-luminosity stars $\leq 10^{-2} L_{\odot}$ – red dwarfs $0.15 - 0.5 M_{\odot}$ and white dwarfs $0.6 - 0.9 M_{\odot}$ (total mass $\sim 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$). Stars in the CG with a radius of ~ 0.1 Mpc can produce isotropic radiation at a distance of $\sim 10^3$ Mpc ($z \sim 0.3$). It is shown, that old stars in the CG, accounting the red giant stage, can form cosmic background radiation (CBR) with an energy density of $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ eV/cm³ in the visible region up to $\sim 10^{-2}$ eV/cm³ in the IR region $\sim 1 \mu\text{m}$. The gaseous shells of red giants in the CG formed by the stellar wind can contribute to the CBR in the UV region with an energy density of $\sim 10^{-3}$ eV/cm³.

Keywords: corona of Galaxy, white dwarfs, red dwarfs, red giants, cosmic background radiation.

Введение

В гало (короне) Галактики (КГ) преобладают старые маломассивные звезды массой $\leq 0,85 M_{\odot}$ [1, с. 387] (M_{\odot} – масса Солнца), что близко к массе красных карликов (КК) $\leq 0,8 M_{\odot}$ [2, с. 489] – звезд главной последовательности. В КГ также наблюдаются звезды массой $\sim 1 M_{\odot}$ на

более поздней стадии эволюции – красные гиганты, в том числе переменные (пульсирующие) звезды [1, с. 387]; [3, с. 1210].

КГ может содержать продукты эволюции звезд массой $>0,9 M_{\odot}$. Звезды массой $0,8 - 8 M_{\odot}$ эволюционируют в *белые карлики* (БК) массой $0,6 - 1,39 M_{\odot}$ [4, с. 492]. Микролинзирование выявило в КГ объекты массой $0,15 - 0,9 M_{\odot}$ [5], что соответствует массе старых звезд низкой светимости $\leq 10^{-2} L_{\odot}$, включая КК массой $0,15 - 0,5 M_{\odot}$ и БК массой $0,6 - 0,9 M_{\odot}$. Суммарная масса звезд в КГ $\sim 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ сравнима с массой Галактики. Светимость звезд в Галактике и ее короне также может быть сравнима (§ 1).

Постепенно разрушающиеся в межгалактической среде КГ карликовые галактики – спутники [6], образующие звездные потоки [7], могут являться источником звезд в КГ (§ 2).

Расчеты показывают, что звезды в КГ радиусом $\sim 0,1$ Мпк сформируют изотропное излучение при красном смещении $z \sim 0,3$. При этом звезды в КГ могут вносить вклад в *фоновое космическое излучение* (ФКИ) в видимой области с плотностью энергии $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ (§ 3).

КК средней массой $\sim 0,3 M_{\odot}$ светимостью $\sim 10^{-2} L_{\odot}$, как неразрешенные объекты в короне нашей Галактики, могут вносить вклад в флуктуации ФКИ в ИК области ~ 1 мкм с плотностью энергии $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ (§ 4).

Энерговыделение звезд массой $1 M_{\odot}$ на главной последовательности $W_{\odot} \sim 1,2 \cdot 10^{51}$ эрг в $W_s/W_{\odot} \approx 7$ раз меньше, чем за все время их жизни $W_s \sim 8,2 \cdot 10^{51}$ эрг, что может приводить к «покраснению» интегрального спектра старых звезд в КГ в сравнении с более молодыми звездами в галактиках (§ 5).

Расчеты показывают, что старые звезды в фазе красных гигантов в КГ могут формировать ФКИ в ИК области ~ 1 мкм с плотностью энергии $\sim 10^{-2}$ эВ/см³ (§ 6).

Газовые оболочки, образуемые звездным ветром звезд в фазе красных гигантов в КГ, могут вносить вклад в ФКИ в УФ области $\geq 0,15$ мкм с плотностью энергии $\sim 10^{-3}$ эВ/см³ (§ 7).

1. Население гало (короны) Галактики

Население II сферической подсистемы Галактики – ее гало (короны) составляют преимущественно старые маломассивные звезды массой $\leq 0,85 M_{\odot}$ низкой металличности, чей возраст сравним с возрастом галактик (~ 10 млрд лет) [1, с. 387]. В КГ также могут находиться продукты эволюции более массивных, т.е. короткоживущих звезд. Звезды массой $>0,8 M_{\odot}$ (M_{\odot} – масса Солнца) эволюционируют в БК массой $>0,6 M_{\odot}$ с образованием планетарных туманностей [4, с. 492]. Планетарные туманности также относятся к населению II гало галактики [1, с. 387]. Тем самым, КГ содержит продукты эволюции звезд – БК (§ 2).

Микролинзирование выявило в КГ объекты массой $0,15 - 0,9 M_{\odot}$ – *массивные астрофизические космические объекты гало* (МАСНО) [5]. Данный диапазон включает массу КК $0,1 - 0,8 M_{\odot}$ [2, с. 489] и БК $0,6 - 0,9 M_{\odot}$ [4, с. 492]. Ограничение $\leq 0,9 M_{\odot}$ удовлетворяет пределу Чандрасекара $M_w \sim 1,4 M_{\odot}$ для углеродно-кислородного ядра звезд (БК) [20, с. 434] и соответствует массе БК $\sim 0,9 M_{\odot}$, в которые могли эволюционировать первые короткоживущие массивные звезды [8] (§ 2). Так, события микролинзирования связываются, в том числе с БК [9].

КГ содержит различные звезды массой $0,6 - 0,85 M_{\odot}$ светимостью $0,1 - 0,5 L_{\odot}$. Например, у звезд массой $\sim 0,8 M_{\odot}$ (КК) светимость $\sim 0,4 L_{\odot}$ [2, с. 489]. Напомним, светимость звезд главной последовательности резко падает со снижением массы:

$$L \approx L_{\odot} (M/M_{\odot})^4, \quad (1)$$

где M – масса звезды; M_{\odot} – масса Солнца; L_{\odot} – светимость Солнца [2, с. 68].

Средняя масса составляющих МАСНО $\sim 0,5 M_{\odot}$ [5]. Альтернативная модель исходит из того, что средняя масса звезд в Галактике и ее гало сравнима и равна $\sim 0,3 M_{\odot}$ [10]; [11]. Так, средняя масса звезд в Галактике $\sim 0,3 M_{\odot}$ [12]. Масса звезд $0,3 - 0,5 M_{\odot}$ соответствует массе КК. Согласно зависимости (1) светимость КК такой массы $(1 - 6) \cdot 10^{-2} L_{\odot}$.

Модель распределения звезд по массам, используемая в работах [10] и [11], не учитывает присутствие в КГ продуктов эволюции первых звезд. Так, КГ может содержать БК массой $\sim 0,9 M_{\odot}$, чья доля может достигать $\sim 0,12$ массы КГ [8], т.е. сравнима с массовой долей КК в КГ. Данный фактор может занижать долю МАСНО в работах [10] и [11] почти вдвое относительно данных [5].

У старых БК светимость $\leq 10^{-3} L_{\odot}$ [1, с. 185] на порядок меньше, чем у типичных КК $\sim 10^{-2} L_{\odot}$ согласно оценке (1). Такие тусклые звезды светимостью $\leq 10^{-2} L_{\odot}$ в гало (короне) нашей Галактики являются неразрешенными объектами. Таким образом, *МАСНО могут включать красные карлики массой $0,15 - 0,5 M_{\odot}$ и белые карлики массой $0,6 - 0,9 M_{\odot}$.*

Оценим массу МАСНО исходя их данных микролинзирования:

$$M_m = \delta m M_k, \quad (2)$$

где M_k – масса короны Галактики; δm – доля МАСНО в ее массе.

Доля МАСНО в массе гало (короны) $\delta m \sim 20\%$ [5]; $M_k \sim 1,1 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ [3, с. 1215]; *масса МАСНО $M_m \approx 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, что сравнимо с массой нашей Галактики $2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ [1, с. 389].*

Число звезд в КГ по данным микролинзирования:

$$N_s = \delta m M_k / m_s, \quad (3)$$

где m_s – средняя масса составляющих МАСНО.

При $m_s \sim 0,5 M_{\odot}$; $\delta m \sim 20\%$ [5] *число звезд в короне Галактики $N_s \approx 4 \cdot 10^{11}$.*

Оценим число БК и КК в КГ. При равномерном распределении звезд по массам в КГ (в первом приближении) в диапазонах $0,15 - 0,5 M_{\odot}$ для КК $0,6 - 0,9 M_{\odot}$ для БК, масса МАСНО $M_m \sim 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ (2) ограничит суммарную массу БК в КГ $\Sigma M_w = M_m / 2 \approx 10^{11} M_{\odot}$; *число белых карликов в короне Галактики $N_w = \Sigma M_m / m_w \approx 10^{11}$.*

Для сравнения, средняя масса звезд (КК) в Галактике $\sim 0,3 M_{\odot}$ [12]. Если средняя масса КК в ее короне аналогична $m_r \sim 0,3 M_{\odot}$ при их суммарной массе в КГ $\Sigma M_r = M_m / 2 \approx 10^{11} M_{\odot}$; *число красных карликов в короне Галактики $N_r = \Sigma M_r / m_r \approx 3 \cdot 10^{11}$. Данная оценка КК в КГ (3) сравнима с суммарным числом КК в Галактике $N_r \sim 3 \cdot 10^{11}$ [2, с. 489].*

Оценим число звезд в КГ, завершивших эволюцию. Распределение звезд по массам описывает начальная функция масс Солпитера:

$$N(M) \sim 1/M^{\gamma}, \quad (4)$$

где γ – показатель функции масс Солпитера.

Показатель функции Солпитера $\gamma = 2,35$ по Крупе сохраняется для звезд массой $\geq 0,5 M_{\odot}$; для КК массой $\leq 0,5 M_{\odot}$ параметр $\gamma \sim 1,3$ [13].

С учетом распределения Солпитера (4) в эпоху оседания карликовых галактик в короне молодой Галактики число звезд массой $M \geq 0,9 M_{\odot}$ могло составлять $N \approx 3 \cdot 10^{10}$; их суммарная масса $NM \sim 3 \cdot 10^{10} M_{\odot}$.

Звезды массой $M_s \sim 1 M_{\odot}$ эволюционируют в БК массой $\sim 0,6 M_{\odot}$ [4, с. 492]. Суммарная масса БК массой $\geq 0,6 M_{\odot}$, образованных звездами в КГ, может достигать $N_w m_w \approx 2 \cdot 10^{10} M_{\odot}$, т.е. ок. 10% массы МАСНО и 20% суммарной массы старых БК, образованных первыми звездами (гигантами), которая может достигать в КГ $\Sigma M_w \sim 10^{11} M_{\odot}$ (§ 2). Тем самым, *среди белых карликов в короне Галактики могут преобладать звезды массой $\sim 0,9 M_{\odot}$.*

При массе КГ $M_k \sim 1,1 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ [3, с. 1215] и суммарной массе БК в КГ $\Sigma M_w \sim 10^{11} M_{\odot}$ вклад БК в массу КГ $\delta w = \Sigma M_w / M_k \approx 0,1$.

Соответственно, вклад КК в массу КГ сравним: $\delta r = \Sigma M_r / M_k \approx 0,1$.

В гало (короне) Галактики присутствуют старые звезды массой $M_s \sim 0,85 M_{\odot}$ [1, с. 387] светимостью $L_s \sim 0,5 L_{\odot}$ согласно зависимости (1). С учетом распределения Солпитера (4) их число $N_s \sim 3 \cdot 10^{10}$. Суммарная светимость таких звезд $N_s L_s \sim 1,5 \cdot 10^{10} L_{\odot}$. Данная оценка сравнима со светимостью звезд нашей Галактики $\sim 1,3 \cdot 10^{10} L_{\odot}$ [3, с. 1214]. Тем самым, *светимость звезд в Галактике и ее короне может быть сравнима.*

В гало (короне) Галактики, помимо старых маломассивных звезд массой $<0,85 M_{\odot}$ главной последовательности, также присутствуют звезды средней массой $\sim 1 M_{\odot}$ на более поздней стадии эволюции, такие как красные гиганты, короткопериодические цефеиды [1, с. 387], пульсирующие звезды типа RR Лиры и RV Тельца [3, с. 1210] (§ 6).

2. Образование населения гало (короны) Галактики

КГ содержит старые звезды и продукты их эволюции (§ 1). Источником звезд в КГ могут являться карликовые галактики – спутники, постепенно распадающиеся в межгалактической среде [6] с образованием звездных потоков [7], насыщающих КГ звездами. Также КГ могут содержать продукты эволюции первых короткоживущих массивных звезд [8]. Наблюдаемое распределение звезд по массам в КГ может указывать на завершение фазы активного выброса звезд из разрушающихся галактик – спутников.

Корона нашей галактики Млечный путь содержит как достаточно крупные галактики – Магеллановы Облака массой $\sim 10^{11} M_{\odot}$ [14], так и карликовые галактики – спутники низкой светимостью $< 10^5 L_{\odot}$, которые могут являться остатками самых ранних галактик, на что указывает их низкая металличность – обедненность *тяжелыми элементами* (ТЭ) [15]. КГ содержит десятки карликовых галактик – спутников [3, с. 1224]; [15], формирующих звездные потоки галактических масштабов [16]. По состоянию на 2023 г. выявлено ок. 60 карликовых галактик – спутников и более 30 связанных с ними звездных потоков.

К населению II также относятся звездные шаровые скопления [1, с. 387]. Шаровые скопления массой $(10^4 - 10^6) \cdot M_{\odot}$ светимостью $(10^4 - 10^6) \cdot L_{\odot}$ – самые старые объекты в галактиках, содержащие преимущественно старые маломассивные звезды, бедные ТЭ [2, с. 65].

Галактики – спутники могут распадаться при взаимодействии (столкновении) между собой, а также звездами в диске Галактики и ее гало (короне). Разрушение галактик – спутников может коррелировать со вспышками звездообразования [7], что может быть обусловлено уплотнением газа, вызванного столкновением межгалактического газа, содержащегося в их гало. Так, при столкновении скоплений галактик часть межгалактического газа, разогретого ударной волной, остается в центре масс системы [17].

В эпоху формирования галактик доля карликовых галактик могла быть выше современной [8]. Так, среди галактик с $z > 3 - 4$ много галактик малого размера с интенсивным звездообразованием [18, с. 458]. Согласно одной из известных моделей крупные галактики могут образовываться при слиянии карликовых галактик [1, с. 390]. Например, при слиянии мелких ранних галактик могли образоваться галактики с низкой поверхностной яркостью [7]. Таким образом, *оседание карликовых галактик в коронах более крупных, сопровождающееся интенсивным звездообразованием и формированием звездных потоков, может насыщать их гало (короны) звездами.*

Выброс звезд из галактик – спутников может происходить в процессе их взаимодействия со звездами в Галактике, а также ее гало (короне). Наибольшая плотность звезд наблюдается в центре Галактики, которая снижается к периферии. Наименьшая плотность звезд в КГ. В данных условиях наиболее интенсивно могут разрушаться галактики – спутники, пролетающие сквозь диск и центральную область материнской галактики.

Вероятность столкновения звезд при столкновении галактик пропорциональна квадрату концентрации в них звезд $\rho \sim n^2$. Плотность звезд в скоплении в центре Галактики примерно обратно пропорциональна его радиусу $n \sim 1/R^2$ [1, с. 390], как и в гало (коронах) галактик в условиях линейного возрастания их массы с радиусом [1, с. 342]. Так, характер вращения далеких периферических областей галактик указывает на наличие у них массивных корон [1, с. 389]. В условиях зависимости $\rho \sim 1/R^4$ *при столкновении галактик звезды могут выбрасываться преимущественно из их центров*, где звездообразование протекает наиболее активно. При этом МАСНО, образующие скрытую массу КГ, при столкновении галактик (их скоплений) слабо взаимодействуют друг с другом [17].

В процессе выброса звезд из центров галактик – спутников может оставаться обедненное видимыми звездами гало, образующее скрытую массу. Например, в короне Галактики обнаружена ультраслабая карликовая галактика Тукан II, обладающая малой массой видимых звезд $\sim 3 \cdot 10^3 M_{\odot}$. Масса ее протяженного темного гало $\geq 10^7 M_{\odot}$. Гало Тукан II радиусом до ≤ 1 кпк в 9 раз больше ее оптического радиуса. У галактики низкая металличность (обилие ТЭ в тысячу раз ниже солнечного) [15], т.е. она может содержать продукты эволюции звезд первого поколения.

Соотношение масса – светимость Тукана II с учетом гало $M/L \approx 3 \cdot 10^{-4} M_{\odot}/L_{\odot}$ [15] характерно для старых БК светимостью $L \leq 10^{-3} L_{\odot}$ [1, с. 185], т.е. *гало карликовых галактик может содержать белые карлики*. Карликовые галактики – спутники низкой светимостью могут являться остатками самых ранних галактик [15], содержащих продукты эволюции первых звезд. Первыми звездами могли быть короткоживущие массивные звезды, чье УФ излучение ионизовало первичный межзвездный газ в эпоху $z \sim 17 \pm 2$ согласно радиолинии водорода [19]. Период ионизации газа Δz ограничивает массу первых звезд $(6 \pm 1) M_{\odot}$; такие гиганты эволюционируют в БК массой $\sim 0,9 M_{\odot}$; массовая доля таких БК может достигать $\Omega_w \sim 0,12$ Ω_b [8]. Микролинзирование выявило в КГ объекты подобной массы $\sim 0,9 M_{\odot}$ [5] с долей $\delta w \sim 0,1$ массы КГ (§ 1), т.е. *корону Галактики могут формировать барионы*.

Завершение эволюции старых звезд массой $\geq 0,9 M_{\odot}$, выброшенных из галактик – спутников, также может насыщать КГ продуктами их эволюции – БК. БК, вращающиеся в КГ, могут постепенно разрушать карликовые галактики – спутники, движущиеся на значительном удалении от Галактики, а также других галактик – спутников, при котором приливные силы не столь велики. На присутствие БК в КГ, а также в гало карликовых галактик – спутников указывает ряд факторов.

Во-первых, присутствие БК в КГ подтверждает химический состав межгалактического газа. Так, присутствие ТЭ в КГ связывают со взрывами сверхновых [21, с. 81]; [22], обогащающих межгалактическую среду ТЭ и разогревающих ее. БК в двойных звездах эволюционируют в сверхновые Ia типа [4, с. 110]; [20, с. 433]. В БК эволюционируют углеродно-кислородные ядра звезд массой $0,8 - 8 M_{\odot}$ [4, с. 488]; линия кремния наблюдается в спектрах сверхновых Ia [20, с. 433]. КГ содержат углерод, кислород, кремний [22], что подтверждает присутствие БК. Действительно, сверхновые Ia в эллиптических галактиках вспыхивают в основном на периферии, а в спиральных галактиках не коррелируют со спиральными рукавами [20, с. 433], т.е. они могут быть связаны, в том числе с БК в гало (коронах) галактик.

Во-вторых, при радиусе БК $R \sim 10^{-2} R_{\odot}$ [1, с. 185], в том числе максимальном радиусе маломассивных БК $R = 2,9 \cdot 10^{-2} R_{\odot}$ [4, с. 492], их сечение столкновения $\sigma_w \sim R^2$ в $\sigma_s/\sigma_w \sim 10^3$ раза меньше, чем у обычных звезд радиусом $\sim R_{\odot}$. Сверхновые Ia в 80% случаев обусловлены столкновением двух БК; в $\sim 20\%$ случаев – аккрецией на БК вещества обычной звезды [23]. В условиях низкого сечения столкновений БК между собой, их число в гало галактик – спутников может быть выше числа обычных звезд в пропорции $1 : 10^3$, что сравнимо с соотношением массы видимых звезд и темного гало $1 : 3 \cdot 10^3$ в Тукан II. У старых БК светимость $\leq 10^{-3} L_{\odot}$ [1, с. 185], т.е. гало таких карликовых галактик могут формировать преимущественно БК.

В КГ, в т.ч. при столкновении галактик – спутников, возможно образование БК кратных систем с массой несколько масс Солнца. Так, микролинзирование выявило в КГ объекты массой $\sim 4 M_{\odot}$ (ассоциируемые с черными дырами) при их вкладе в массу КГ $\sim 2\%$ [11].

3. Вклад света звезд в коронах галактик в оптический фон

Фоновое космическое излучение (ФКИ) в видимом диапазоне обычно связывается с излучением звезд, в том числе входящих в карликовые галактики [4, с. 337]. Обнаружение большого числа карликовых галактик позволяет связать ФКИ в ближней ИК области с их излучением в условиях интенсификации звездообразования в эпоху $z \sim 2 - 3$ [24].

Вместе с тем, галактики, в отличие от их корон, не покрывают всю небесную сферу, т.е. свет звезд в галактиках не изотропен, подобно ФКИ. Кроме того, плотность энергии излучения карликовых галактик на порядок меньше, чем у ФКИ в видимом диапазоне. Расчеты показывают, что ФКИ в оптическом диапазоне может формировать свет звезд в КГ.

Оценим расстояние, при котором свет галактик перекроют оптические диски других галактик, формируя изотропное излучение:

$$D \approx 1/\pi n r r^2, \quad (5)$$

где r – радиус галактик; n – концентрация галактик.

Радиус типичных галактик $r \sim 10$ кпк [1, с. 389]. При $n \sim 0,01$ Мпк⁻³ [18, с. 457] галактики перекроются на удалении $D \approx 3 \cdot 10^5$ Мпк, что на порядок больше радиуса Вселенной $R_v \sim 1,2 \cdot 10^4$ Мпк [1, с. 347]. Тем самым, типичные галактики могут покрыть $(D/R_v)^2 \approx 0,2\%$ небесной сферы.

В данных условиях определяющим фактором различения галактик является разрешение телескопов на длинах волн, соответствующих красному смещению света звезд. По данным на 2022 г. у наиболее удаленной галактики HD1 красное смещение $z = 13,27$ [26]; сравнимое красное смещение у UDFj-39546284 ($z = 11,9$) и GN-z11 ($z = 11,09$), что подтверждено данными спектроскопии для спектральных линий.

Напомним, излучение звезд в галактиках из-за красного смещения z смещается в длинноволновую область:

$$\lambda = \lambda_0(z + 1), \quad (6)$$

где λ_0 – длина волны испускаемого излучения; λ – принимаемого излучения.

При $\lambda_0 \sim 0,45$ мкм для света звезд типа Солнца в области максимума энергетического спектра [20, с. 594] спектр указанных выше галактик смещается в среднюю ИК область $\lambda \approx 5,4 - 6,4$ мкм.

Карликовые галактики способны вносить вклад во флуктуации ФКИ в диапазоне, соответствующем красному смещению их спектра. Так, согласно функции масс Холмберга число (концентрация) карликовых галактик массой $<10^9$ М_☉ на порядок больше, чем типичных галактик массой $10^{10} - 10^{11}$ М_☉ [25, с. 444], т.е. $n \sim 0,1$ Мпк⁻³. Доля галактик малого размера повышена при $z > 3 - 4$ [18, с. 458]. Однако данное красное смещение в несколько раз выше $z \leq 0,65$, при котором свет галактик сохраняется в видимом диапазоне.

Кроме того, у карликовых галактик радиус ~ 1 кпк на порядок меньше, чем у типичных галактик ~ 10 кпк [1, с. 389]. При зависимости $D \sim 1/\pi n r^2$ (5) параметр $D \approx 3 \cdot 10^6$ Мпк, что на порядок выше, чем для типичных галактик $D \approx 3 \cdot 10^5$ Мпк (5). В данных условиях карликовые галактики способны покрыть лишь $(D/R_v)^2 \approx 2 \cdot 10^{-5}$ небесной сферы, что противоречит условию формирования изотропного излучения $(D/R_v)^2 \approx 1$.

Так, галактики небольшого размера различимы при $z > 3 - 4$ (с учетом поправки на красное смещение спектра), на фоне которых выделяются массивные галактики [18, с. 458]. Тем самым, *звезды в пределах оптических дисков галактик (включая карликовые) не могут формировать изотропное излучение как в видимой области, так и ближнем ИК диапазоне.*

Для сравнения, радиус КГ $\sim 0,1$ Мпк [21, с. 81]; по уточненным данным $r \sim 0,15$ Мпк [22]. Согласно формуле (5) КГ перекроются на удалении $D \approx 1,4 \cdot 10^3$ Мпк, что на порядок меньше радиуса Вселенной $R_v \sim 1,2 \cdot 10^4$ Мпк.

Оценим красное смещение, при котором излучение КГ перекрывается, формируя изотропное излучение. При $D \ll R_v$ красное смещение:

$$z \approx HD/c, \quad (7)$$

где H_0 – постоянная Хаббла; c – скорость света [13, с. 488].

При $H_0 \sim 70$ км·с⁻¹·Мпк⁻¹ [18, с. 467] и $D \sim 1,4 \cdot 10^3$ Мпк (5) красное смещение $z \approx 0,3$.

При данном z свет звезд типа Солнца на длине волны $\lambda_0 \sim 0,45$ мкм [20, с. 594] согласно зависимости (6), сдвинется в область $\lambda \approx 0,6$ мкм, т.е. останется в видимом диапазоне. Тем

самым, свет звезд в коронах галактик сформирует изотропное излучение в видимой области на удалении $z \sim 0,3$.

Свет звезд, излучаемый на длине волны $\lambda_0 \sim 0,45$ мкм с учетом зависимости (6) останется в видимом диапазоне $\lambda \leq 0,74$ мкм при $z = \lambda/\lambda_0 - 1 \leq 0,65$, что вдвое больше оценки $z \sim 0,3$ (7).

Оценим красное смещение, соответствующее времени жизни звезд типа Солнца. Стандартная космологическая модель определяет возраст нестационарной Вселенной в эпоху, определяемую красным смещением z :

$$T_0 = T_V/(z + 1)^{3/2}, \quad (8)$$

где T_V – возраст Вселенной [18, с. 491].

Возраст Вселенной $T_V \sim 13$ млрд. лет [1, с. 347]. При $z = 0,65$ возраст расширяющейся Вселенной $T_0 \approx 7$ млрд. лет, чему соответствует возраст звезд $t = T_V - T_0 \approx 6$ млрд лет, что не превышает время жизни звезд типа Солнца $t_0 \sim 10$ млрд. лет [2, с. 68]. Для сравнения $t = t_0$ возможно при $z \sim 1,7$. Соответственно, звезды массой $1 M_\odot$ могут формировать изотропное излучение в эпоху $z \sim 0,3$ (7), если они образовались в эпоху $z \leq 2$.

Свет звезд в области максимума спектра для звезд типа Солнца $\lambda \sim 0,45$ мкм, излученных в КГ в эпоху $z \sim 1,7$ за счет красного смещения согласно (6) сдвинется в ближнюю ИК область $\lambda_{ir} \approx 1,2$ мкм. В спектре ФКИ плотность энергии в оптическом диапазоне с ростом длины волны возрастает, достигая максимума в области ИК длины волны $\sim 1,2$ мкм [3, с. 1228] (§ 6). *Свет звезд в коронах галактик может вносить вклад в ФКИ в оптической области.*

Оценим плотность энергии излучения звезд в галактиках, усредненную по всему пространству Вселенной:

$$\varepsilon_\Gamma \approx \eta \rho_c L_\odot \Omega_s T_\Gamma / M_\odot, \quad (9)$$

где ρ_c – критическая плотность Вселенной; Ω_s – доля звезд в ее массе; T_Γ – возраст галактик; η – параметр, учитывающий светимость звезд в галактиках.

Соотношение масса-светимость большинства галактик $M/L \sim (5 - 10) M_\odot/L_\odot$, что обусловлено высокой долей звезд малой массы (невысокой светимости) [1, с. 389] при $\eta = LM_\odot/L_\odot M \approx 0,1 - 0,2$, т.е. среднее $\eta \sim 0,15$.

Возраст галактик $T_\Gamma \sim 10$ млрд. лет [1, с. 387]. Параметры $L_\odot \sim 3,9 \cdot 10^{26}$ Вт; $M_\odot \sim 2 \cdot 10^{30}$ кг [20, с. 589]. При $H_0 \sim 70$ км·с⁻¹·Мпк⁻¹ [18, с. 467] $\rho_c \sim 9 \cdot 10^{-30}$ г/см³. Массовая доля барионов в звездах (типа Солнца) $\Omega_s \sim 0,005$ [18, с. 496].

Согласно формуле (9), усредненная по всему пространству Вселенной плотность энергии излучения звезд в галактиках $\varepsilon_\Gamma \approx 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³.

Плотность энергии излучения галактик также можно оценить исходя из их средней концентрации во Вселенной:

$$\varepsilon_\Gamma = \delta_\Gamma L_\Gamma n_\Gamma T_\Gamma, \quad (10)$$

где L_Γ – средняя светимость галактик; δ_Γ – их массовая доля.

Оценим светимость типичных галактик исходя из их средней массы. Так, светимость галактик пропорциональна массе содержащихся в них звезд $L_\Gamma \sim M_\Gamma$ [1, с. 389]. Средняя масса звезд в галактиках:

$$M_\Gamma = \rho_c \Omega_b / n_\Gamma, \quad (11)$$

где Ω_b – массовая доля барионов в галактиках.

Концентрация галактик во Вселенной $n_\Gamma \sim 0,01$ Мпк⁻³ [18, с. 457]; $\Omega_b \sim 0,048$ [27, с. 496]; $\rho_c \sim 9 \cdot 10^{-30}$ г/см³; средняя масса галактик $M_\Gamma \approx 6 \cdot 10^{10} M_\odot$.

При среднем $\eta \sim 0,15$ по предыдущей оценке, исходя из соотношения масса-светимость галактик, средняя светимость галактик $L_\Gamma \approx 10^{10} L_\odot$.

Действительно, светимость нормальной спиральной галактики $L_\Gamma \sim 4 \cdot 10^{43}$ эрг/с [1, с. 390], т.е. $L_\Gamma \sim 10^{10} L_\odot$ при светимости Солнца $L_\odot \sim 4 \cdot 10^{33}$ эрг/с [20, с. 589]. Так, к типичным галактикам относят Млечный путь [18, с. 24], имеющий массу диска $M = 7,7 \cdot 10^{10} M_\odot$ [3, с. 1215] светимостью $5 \cdot 10^{43}$ эрг/с ($L \sim 1,25 \cdot 10^{10} L_\odot$) [3, с. 1214] при $\eta \sim 0,16$ (для диска).

К типичным также относят спиральные галактики массой $\sim 10^{10} M_{\odot}$ [21, с. 85]. Согласно функции масс Холмберга массовая доля типичных галактик массой $10^{10} - 10^{11} M_{\odot}$ составляет $\delta g \sim 0,4$ [25, с. 444]. Поскольку светимость галактик пропорциональна массе содержащихся в них звезд $L_g \sim M_g$ [1, с. 389], суммарная светимость галактик определяется их суммарной массой при вкладе всех галактик $\delta g = 1$.

При данных параметрах, согласно формуле (10), усредненная плотность энергии видимого излучения звезд во всех галактиках $\epsilon_g \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ эВ/см}^3$, что сравнимо с предыдущей оценкой $\epsilon_g \sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ эВ/см}^3$ (9).

Исходя из данных микролинзирования, число звезд в Галактике и ее короне сравнимо, как и их суммарная светимость (§ 1). Тем самым, *плотность энергии излучения звезд в коронах галактик* $\epsilon_k \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ эВ/см}^3$, что соответствует плотности энергии ФКИ в видимой области $\epsilon_0 \sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ эВ/см}^3$ [3, с. 1228]; [4, с. 336].

Напомним, что по оценкам (5) и (7) звезды в КГ могут формировать изотропное излучение в видимой области. Согласно оценкам (9) и (10) плотность энергии света звезд в коронах галактик и ФКИ в видимой области сравнима. Тем самым, *свет звезд в коронах окружающих галактик может вносить вклад в ФКИ в видимой области*.

Отметим, что оценки (9) и (10) учитывают время жизни звезд, сравнимое с возрастом галактик $T_g \sim 10$ млрд лет, однако не учитывают соответствующее падение энергии фотонов с ростом красного смещения $E \sim E_0/(z + 1)$. Вместе с тем, энерговыделение звезд типа Солнца возрастает при переходе в фазу красных гигантов (§ 5), что может как компенсировать падение энергии фотонов с ростом z , так и обеспечить более высокую плотность энергии ФКИ в ИК области ~ 1 мкм (§ 6).

Для сравнения, оценим плотность энергии света карликовых галактик. Согласно функции Холмберга вклад карликовых галактик массой $< 10^9 M_{\odot}$ в массу всех галактик $\delta d \sim 3\%$ [25, с. 444]. Согласно (10) плотность энергии света карликовых галактик $\epsilon_d \sim 10^{-4} \text{ эВ/см}^3$, что составляет $\epsilon_d/\epsilon_0 \approx 3\%$ плотности энергии ФКИ в видимой области $\epsilon_0 \sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ эВ/см}^3$ [4, с. 336].

Тем самым, *карликовые галактики не могут формировать ФКИ*. Напомним, что аналогичный вывод следует из оценки (5), согласно которой карликовые галактики не могут формировать изотропное излучение. В данных условиях карликовые галактики могут вносить вклад во флуктуации ФКИ в оптической области на уровне 3% плотности его энергии.

В КГ наряду со звездами массой $\leq 0,85 M_{\odot}$ могут присутствовать продукты эволюции звезд – БК, чье число сравнимо с числом звезд в Галактике $\sim 10^{11}$ (§ 1). У старых БК светимость $\leq 10^{-3} L_{\odot}$ [1, с. 185] на 3 порядка меньше светимости звезд $\leq 0,5 L_{\odot}$ массой $\leq 0,85 M_{\odot}$. Вклад старых БК в коронах окружающих галактик в плотность энергии ФКИ $\leq 0,2\%$, т.е. не существенен, равно как и вклад БК в короне нашей Галактики в ФКИ (§ 4).

4. Вклад звезд в короне Галактики в флуктуации оптического фона

Тусклые звезды – КК и БК низкой светимости $\leq 10^{-2} L_{\odot}$ в короне нашей Галактики являются неразрешенными объектами. Расчеты показывают, что плотность энергии света подобных звезд в КГ меньше плотности энергии ФКИ в соответствующих диапазонах. При этом КК в короне Галактики могут вносить вклад во флуктуации ФКИ в ИК области ~ 1 мкм.

Так, плотность энергии излучения звезд в короне нашей Галактики, образуемая внутри нее: $\epsilon_k = L_{kt}/V$, где $V = 4\pi R_k^3/3$ – объем КГ; время распространения света в КГ $t = R_k/c$, т.е. плотность энергии излучения:

$$\epsilon_0 \approx 3N\Delta_k L / 4\pi c R_k^2, \quad (12)$$

где R_k – радиус короны Галактики; N – число в ней звезд; L – светимость звезд; Δ_k – доля излучения звезд, остающегося в пределах короны галактики.

За время $t = R_k/c$ объемное излучение сферической КГ распространится в пределах расстояния $2ct = 2R_k$ относительно ее центра. При этом в пределах радиуса КГ останется $\Delta k \sim (1/2)^3 \approx 13\%$ излучения, т.е. большая часть света звезд в КГ выйдет за ее пределы.

Типичный радиус горячих газовых КГ $\sim 0,1$ Мпк [21, с. 81]. В короне спиральной галактики Андромеды (чья масса вдвое выше массы нашей Галактики) теплый газ динамичен на удалении $\leq 0,15$ Мпк, что связывается с взрывами сверхновых [22], т.е. звезды в короне нашей Галактики могут находиться в пределах $R_k \sim 0,1$ Мпк.

Напомним, по данным микролинзирования в КГ присутствуют объекты массой $0,15 - 0,9 M_\odot$ [5]. Распределение маломассивных звезд (КК) по массе в Галактике и ее короне может быть сравнимо. По данным обсерватории Gaia наибольшая доля звезд в Галактике ($\sim 75\%$) относится к классам М3 – М5 [12], что соответствует массе КК $0,14 - 0,35 M_\odot$ [28]. При равных массовых долях КК и БК суммарной массой $\sim 2 \cdot 10^{11} M_\odot$, КГ может содержать $N_r \sim 3 \cdot 10^{11}$ КК средней массой $\sim 0,3 M_\odot$ светимостью $L_r \sim 10^{-2} L_\odot$, а также $N_w \sim 10^{11}$ старых БК массой $0,6 - 0,9 M_\odot$ (§ 1) светимостью $L_w \leq 10^{-3} L_\odot$ [1, с. 185].

Тусклые КК малой массы $\sim 0,15 M_\odot$ имеют светимость $L_r \sim 10^{-3} L_\odot$ [2, с. 489], что на порядок меньше, чем у КК средней массы $\sim 0,3 M_\odot$. По данным Gaia КК массой $\sim 0,15 M_\odot$ составляют $\delta \sim 13\%$ числа всех звезд [12]. Их число в КГ может достигать $\delta N_r \sim 4 \cdot 10^{10}$, что почти на порядок меньше суммарного числа КК в КГ $N_r \sim 3 \cdot 10^{11}$ средней массой $\sim 0,3 M_\odot$ (§ 1).

Длину волны излучения звезд в области максимума энергетического спектра определяет закон Вина:

$$\lambda = b/T, \quad (13)$$

где b – постоянная Вина; T – температура звезд.

У КК массой $\sim 0,15 M_\odot$ температура $T \sim 2800$ К [28]. При $b = 0,29$ см·К [1, с. 279] КК излучают на ИК длине волны $\lambda = b/T \approx 1,1$ мкм. Вклад таких КК в ФКИ ок. 2%, вклада прочих КК, что меньше погрешности расчетов $\pm 10\%$.

КК массой $\sim 0,3 M_\odot$ светимостью $L_r \sim 10^{-2} L_\odot$ (§ 1) имеют температуру $T \sim 3100$ К [28] и в области максимума энергетического спектра излучают на ИК длине волны $\lambda = b/T \approx 0,9$ мкм.

Согласно (12) плотность энергии излучения $N_r \sim 3 \cdot 10^{11}$ КК массой $\sim 0,3 M_\odot$ в КГ $\epsilon_r \approx 3 \cdot 10^3$ эВ/см³, т.е. $\epsilon_r/\epsilon_{ir} \approx 1/3$ плотности энергии ФКИ $\epsilon_{ir} \sim 10^{-2}$ эВ/см³ в области ИК спектра ~ 1 мкм [3, с. 1228]; [29]; [30]. Тем самым, *красные карлики в короне Галактики могут вносить вклад в флуктуации ФКИ в ИК области ~ 1 мкм на уровне 1/3 плотности его энергии.*

Оценим разрешение, при котором $N_r \sim 3 \cdot 10^{11}$ КК средней массой $\sim 0,3 M_\odot$ в КГ сформируют изотропное излучение, подобно ФКИ. При среднем расстоянии между КК в КГ r они покроют всю небесную сферу в пределах радиуса $R_k \sim 0,1$ Мпк при соотношении $N_r r^2 \approx 4\pi R_k^2$. Из чего следует угловое разрешение КК $\phi \sim r/R_k$ (при малых углах $\sin \phi \sim \phi$), а именно $\phi \sim (4\pi/N_r)^{1/2} \approx 6 \cdot 10^{-6}$, что сравнимо с разрешением ИК телескопов $\sim 10^{-5}$ [2, с. 177]. В данных условиях типичные для КГ КК низкой светимости могут вносить вклад в флуктуации ФКИ в ближней ИК области ~ 1 мкм.

Для сравнения, старые БК с температурой $T \sim 5000$ К светимостью $L_w \leq 10^{-3} L_\odot$ [1, с. 185] согласно закону Вина (13) излучают в области видимой длины волны $\lambda = b/T \approx 0,6$ мкм.

Согласно (12) плотность энергии света $N_w \sim 10^{11}$ старых БК в КГ (§ 1) $\epsilon_w \leq 10^{-4}$ эВ/см³, т.е. $\epsilon_w/\epsilon_o \leq 3\%$ плотности энергии ФКИ в видимой области $\epsilon_o \sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ [3, с. 1228]; [29], что меньше погрешности расчетов.

Заметим, что интегральные спектры звезд в Галактике и ее короне в видимой области могут быть подобны. В то же время, интегральный спектр старых звезд в КГ может содержать большую долю излучения в ближнем ИК диапазоне в сравнении с галактиками, содержащими молодые звезды (§ 5).

Так, в гало (короне) Галактики преобладают звезды массой $\leq 0,85 M_\odot$ [1, с. 387]. В Галактике преобладают КК массой $\leq 0,8 M_\odot$ [2, с. 489], находящиеся на главной последовательно-

сти. Светимость звезд главной последовательности резко падает со снижением их массы согласно зависимости $L \sim M^4$ (1). При этом их число в Галактике возрастает согласно зависимости $N \sim 1/M^{2,35}$ (4), т.е. со снижением массы звезд их суммарное энерговыделение падает: $\Sigma L = LN \sim M^{1,65}$.

При сравнимой средней массе звезд (КК) в Галактике и ее гало (короне) $\sim 0,3 M_{\odot}$ их светимость $L/L_{\odot} \approx 1\%$ звезд типа Солнца (§ 1). Согласно распределению звезд по массам Солпитера (4) число КК массой m преобладает над числом звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$ в пропорции $N/N_{\odot} = (M_{\odot}/m)^{\gamma}$. Отношение энерговыделения распространенных КК и звезд типа Солнца:

$$W/W_{\odot} \approx (L/L_{\odot}) \cdot (M_{\odot}/m)^{\gamma}, \quad (14)$$

где L – светимость звезд.

При $\gamma = 2,35$ для звезд массой $M \geq 0,5 M_{\odot}$ и $\gamma \sim 1,3$ для КК массой $M \leq 0,5 M_{\odot}$ [13] отношение $W/W_{\odot} \approx 0,15$.

Так, несмотря на количественное преобладание КК над звездами типа Солнца в Галактике, их суммарная светимость примерно на порядок меньше. Напомним, высокое отношение масса – светимость спиральных галактик $M/L \approx (5 - 10) \cdot M_{\odot}/L_{\odot}$ обусловлено высокой долей маломассивных звезд [1, с. 389].

5. Энерговыделение звезд на стадии красных гигантов

Основная энергия звезд типа Солнца излучается в фазе красных гигантов, когда их температура падает вдвое с $T_{\odot} \sim 6000$ К до $T_{ir} \sim 3000$ К (рис. 1). При этом длина волны в области максимума энергетического спектра, согласно закону Вина (13), смещается из видимой области $\lambda \sim 450$ нм для Солнца [20, с. 594] в ближнюю ИК область $\lambda_{ir} = \lambda T_{\odot}/T_{ir} \approx 0,9$ мкм.

Энерговыделение звезд типа Солнца массой $1 M_{\odot}$ за время нахождения на *главной последовательности* (ГП):

$$W_{\odot} \approx L_{\odot} t_{\odot}, \quad (15)$$

где t_{\odot} – время жизни Солнца.

При $t_{\odot} \sim 10$ млрд. лет [2, с. 68]; $L_{\odot} \sim 4 \cdot 10^{33}$ эрг/с *энерговыделение звезд типа Солнца на главной последовательности* $W_{\odot} \approx 1,2 \cdot 10^{51}$ эрг.

Оценим энерговыделение звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$ за все время их жизни исходя из массы ТЭ, синтезируемых в их недрах. В звездах массой $1 - 8 M_{\odot}$ ядерное горение гелия заканчивается после образования углеродного ядра с примесью кислорода [4, с. 488]. Углерод загорается в ядрах гигантов массой $\geq 8 M_{\odot}$ [4, с. 492], т.е. звезды массой $\sim 1 M_{\odot}$ синтезируют преимущественно углерод. Полное энерговыделение звезд начальной массой $\sim 1 M_{\odot}$:

$$W_s = W M_w / m_p, \quad (16)$$

где m_p – масса протона; M_w – масса углеродного ядра звезд; W – энерговыделение на один протон при синтезе углерода из водорода.

В общем случае в формуле (16) следует учесть поправку на долю гелия (космологического) в газе, участвующего в формировании углеродных ядер звезд, обусловленную разницей в энерговыделении на протон при синтезе углерода из гелия и при синтезе гелия из водорода.

Так, на этапе слоевых источников энергии горение водорода в звездных оболочках приводит к синтезу гелия, а также (из-за сильной конвекции) его выносу в межзвездную среду звездным ветром и гелиевыми вспышками [1, с. 423]. Современная фракция ${}^4\text{He}$ включает гелий, образованный первичным нуклеосинтезом (космологический), а также гелий, образованный звездами:

$$Y_0 = Y_p + \Delta Y, \quad (17)$$

где Y_p – доля космологического гелия; ΔY – доля гелия, образованного звездами [59, с. 920].

Наблюдаемое обилие гелия (по массе) $Y_0 \sim 0,25$ [31, с. 916] превышает обилие гелия, которое могло образоваться при первичном нуклеосинтезе в горячей Вселенной $Y_p \sim 0,22$ [21, с. 364] на величину $\Delta Y = Y_0 - Y_p \approx 0,03$, что составляет $\Delta Y/Y_0 \approx 12\%$ обилия гелия. Звезды в Галактике могли произвести до $\Delta Y/Y_0 \sim 10\%$ гелия [31, с. 919] при $\Delta Y \approx 0,025$, что сравнимо

по величине. С учетом обоих факторов, доля космологического гелия в ядрах звезд может быть сравнима с долей синтезированного гелия, выброшенного звездами в межзвездную среду, т.е. в первом приближении формула (16) корректна.

В водородном цикле ($4p \rightarrow {}^4\text{He}$) энерговыделение на один протон (без учета энергии нейтрино) $W_{\text{He}} = 6,55$ МэВ; в гелиевом цикле ($3{}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C}$) $W_{\text{c}} = 0,61$ МэВ; при синтезе более тяжелых элементов энерговыделение резко падает [32, с. 759]. Суммарное энерговыделение в расчете на протон в недрах звезд с углеродным ядром $W \sim W_{\text{He}} + W_{\text{c}} \approx 7,16$ МэВ.

Звезды массой $\sim 1 M_{\odot}$ эволюционируют в БК массой $M_w \sim 0,6 M_{\odot}$ [4, с. 492]. Согласно формуле (16), полное энерговыделение звезд типа Солнца $W_s \approx 8,2 \cdot 10^{51}$ эрг, что в $W_s/W_{\odot} \approx 6,8$ раз больше, чем при нахождении на ГП $W_{\odot} \sim 1,2 \cdot 10^{51}$ эрг (15). Соответственно, доля излучения звезд начальной массой $\sim 1 M_{\odot}$ типа Солнца на ГП $\delta_0 = W_{\odot}/W_s \approx 0,15$.

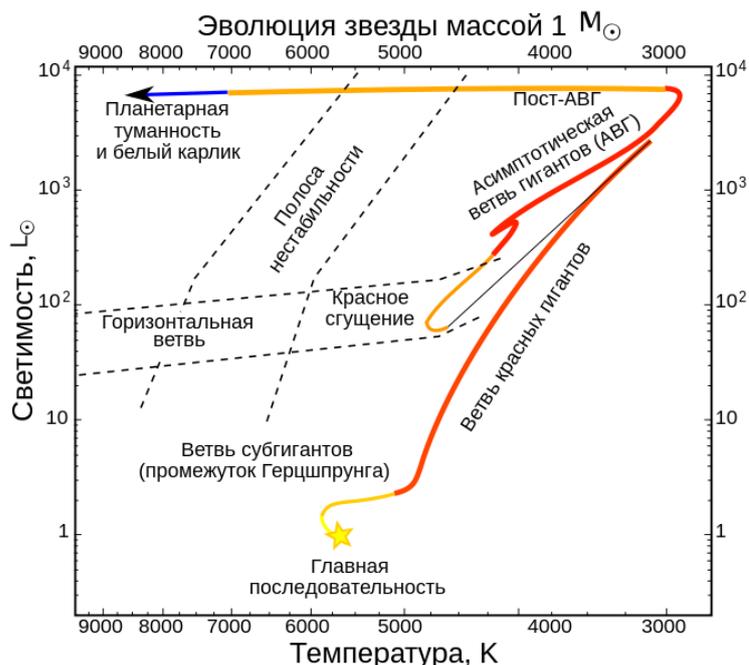


Рис. 1. Эволюционный трек звезд массой $1 M_{\odot}$

Звезды находятся на стадии красных гигантов $\delta t \sim 10\%$ времени жизни [1, с. 444]. Время жизни звезд массой $1 M_{\odot}$ в фазе красных гигантов $t_r = \delta t \tau_0 \approx 1$ млрд. лет при $\tau_0 \sim 10$ млрд лет для Солнца [2, с. 68]. Средняя светимость таких звезд в фазе красных гигантов $L_r = W_s/\delta t \tau_0 \approx 70 L_{\odot}$ (рис. 1).

Оценим долю излучения звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$ в период отхода от ГП исходя из массы гелия, накопленного в ее ядре:

$$\delta_0 = M_{\text{He}} W_{\text{He}} / M_w W, \quad (18)$$

где M_{He} – масса гелиевого ядра звезды; M_w – масса углеродного ядра звезды; W_{He} – энерговыделение на один протон при синтезе гелия из водорода.

Звезда массой $\sim 1 M_{\odot}$ отходит от ГП при накоплении в ее ядре гелия массой $M_{\text{He}} \sim 0,1 M_{\odot}$ [4, с. 490]. При $M_w \sim 0,6 M_{\odot}$; $W_{\text{He}} = 6,55$ МэВ; $W = 7,16$ МэВ искомый параметр $\delta_0 \approx 0,15$, что согласуется с предыдущей оценкой.

Доля излучения звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$ на ветви красных гигантов (ВКГ):

$$\delta_{\text{ВКГ}} = \Delta M_{\text{He}} W_{\text{He}} / M_w W, \quad (19)$$

где ΔM_{He} – приращение массы гелиевого ядра звезды.

Звезда переходит с ВКГ на ГВГ (рис. 1) при достижении ее гелиевым ядром массы $M_{\text{He}}' \sim 0,5 M_{\odot}$ [4, с. 491]. При $\Delta M = M_{\text{He}}' - M_{\text{He}} = 0,4 M_{\odot}$ искомый параметр $\delta_{\text{ВКГ}} \approx 0,6$.

Температура звезд типа Солнца $T_{\odot} \sim 6000$ К; длина волны в области максимума энергетического спектра $\lambda \sim 450$ нм [20, с. 594]. Температура звезды типа Солнца на ВКГ падает до $T_{i\Gamma} \sim 3000$ К (Рис. 1). Длина волны в области максимума спектра, согласно закону Вина (13), смещается из видимой области в ИК область $\lambda_{i\Gamma} = b/T_{i\Gamma} \approx 0,9$ мкм.

Доля излучения звезд на *горизонтальной ветви гигантов* (ГВГ):

$$\delta_{гвг} \approx MW_c/M_w W + \Delta M_c/M_w, \quad (20)$$

где W_c – энерговыделение на один протон при синтезе углерода из гелия; ΔM_c – приращение массы углеродного ядра звезды.

Звезды на ГВГ представляют собой гелиевые ядра массой $M_{He'} \sim 0,5 M_{\odot}$ [4, с. 491]. Гелиевое ядро звезды на ГВГ превращается в углеродное ядро массой $M = 0,53 M_{\odot}$ [4, с. 492]. Параметр $\Delta M = M - M_{He'} = 0,03 M_{\odot}$. При $W_c = 0,61$ МэВ искомый параметр $\delta_{гвг} \approx 0,125$.

Температура звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$ на ГВГ меняется в диапазоне 4200 – 4800 К (Рис. 1). Длина волны в области максимума энергетического спектра звезд на ГВГ $\lambda_{гвг} \approx 0,6 - 0,7$ мкм.

Доля излучения звезд на *асимптотической ветви гигантов* (АВГ):

$$\delta_{авг} \approx \Delta M/M_w. \quad (21)$$

После выгорания гелия массой $M = 0,53 M_{\odot}$ начинаются гелиевые вспышки [4, с. 492] вплоть до формирования углеродного ядра массой $M_w \sim 0,6 M_{\odot}$ [4, с. 492]. При $\Delta M = M_w - M = 0,07 M_{\odot}$ параметр $\delta_{авг} \approx 0,115$.

Температура звезды массой $\sim 1 M_{\odot}$ на АВГ меняется в диапазоне 4200 – 3000 К (Рис. 1); ИК длина волны в области максимума энергетического спектра $\lambda_{авг} \approx 0,7 - 0,9$ мкм.

Температура ядра звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$, близких к финальной стадии *пост-АВГ* достигает ~ 9000 К (Рис. 1). В области максимума спектра свет звезд на *пост-АВГ* достигает УФ длины волны $\lambda_{авг} \approx 0,3$ мкм.

По завершении стадии *пост-АВГ* звезда является БК массой $\sim 0,6 M_{\odot}$ [4, с. 492]. БК окружен планетарной туманностью с электронной температурой $T \sim (1 - 1,5) \cdot 10^4$ К [21, с. 619], излучающей в далекой УФ области $\lambda_{uv} \sim 0,1$ мкм [21, с. 620]. В течение последних 10 гелиевых вспышек при массе оставшейся газовой оболочки $3 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$ температура БК поднимается с $\sim 10^4$ К до $\sim 10^5$ К [4, с. 492]. При $\Delta M \sim 3 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$ параметр $\delta_{п-авг} \approx 5 \cdot 10^{-3}$.

Таким образом, звезды массой $\sim 1 M_{\odot}$, находясь на ГП, излучают лишь до $\sim 0,15$ энергии (18). Соответственно, $(1 - \delta_{\odot}) \approx 0,85$ энергии звезд излучается в фазе красных гигантов. При этом ок. $(\delta_{вкг} + \delta_{авг}) \approx 0,7$ света излучается на стадии, когда температура звезд падает до ≥ 3000 К (Рис. 1) в области ИК длин волн $\lambda_{i\Gamma} \leq 0,9$ мкм, что в $\delta_{i\Gamma} = (\delta_{вкг} + \delta_{авг})/\delta_{\odot} \approx 4,6$ раза больше, чем излучают звезды типа Солнца на ГП в видимой области.

Тем самым, *интегральный спектр старых звезд в КГ должен содержать большую долю излучения в ближнем ИК диапазоне*, что может приводить к «покраснению» их интегрального спектра в сравнении со спектром галактик. Так, существенный вклад в светимость спиральных S- и неправильных Ir-галактик вносят молодые массивные голубые звезды; звездообразованию в подобных галактиках способствует их насыщенность газом [1, с. 387].

В гало также присутствуют переменные звезды на стадии ГВГ, включая пульсирующие звезды массой $\sim 1 M_{\odot}$, у которых меняется эффективная температура, определяющая вариации светимости; их спектр динамически меняется от УФ до ИК диапазона (§ 6). Звезды на ГВГ излучают $\delta_{гвг} \sim 0,125$ всей энергии (20), что ограничивает сглаживающий характер спектра излучения пульсирующих звезд в пределах $< 0,1$ суммарного излучения звезд (за все время их жизни).

Звезды поздних спектральных классов (на АВГ), близких к финальной стадии, излучают преимущественно в ИК области $\lambda_{i\Gamma} > 1$ мкм за счет рассеяния света пылевыми оболочками [2, с. 178]. Звезды на АВГ излучают $\delta_{авг} \sim 0,115$ всей энергии (21), что ограничивает долю их излучения в ИК области длин волн > 1 мкм в пределах $< 0,1$ суммарного излучения звезд.

6. Вклад красных гигантов в коронах галактик в фоновое ИК излучение

В спектре ФКИ в области ИК длины волны $\lambda_{\text{иг}} \sim 1,2$ мкм наблюдается подъем [29]; [30]. Высказывается предположение, что данный пик связан с активизацией звездообразования в карликовых галактиках в эпоху $z \sim 2 - 3$ [24]. Действительно, свет звезд в видимой области максимума спектра для звезд типа Солнца $\lambda \sim 0,45$ мкм, излученных в эпоху $z \sim 2$, за счет красного смещения согласно (6) сдвинется в ближнюю ИК область $\lambda_{\text{иг}} \approx 1,35$ мкм (§ 3).

Вместе с тем, оптические диски галактик, включая карликовые, покрывают до $\sim 0,2\%$ небесной сферы, т.е. звезды в галактиках не могут формировать изотропное излучение; кроме того, плотность энергии света карликовых галактик на порядок меньше, чем у ФКИ в видимом диапазоне. ФКИ в оптической области может быть связано с излучением звезд в КГ (§ 3). При этом присутствие в КГ старых звезд массой $\sim 0,85 M_{\odot}$ (§ 1) в отсутствии короткоживущих звезд может приводить к «покраснению» интегрального спектра старых звезд в КГ в сравнении со спектром звезд в галактиках, содержащих молодые звезды (§ 5).

С учетом «покраснения» старых звезд при переходе в фазу красных гигантов они могут формировать изотропное излучение в ИК области. Так, после ухода звезд типа Солнца массой $\sim 1 M_{\odot}$ с ГП на стадию красных гигантов длина волны их излучения смещается с $\sim 0,45$ мкм в ИК область $\lambda \leq 0,9$ мкм (§ 5). Звезды в КГ могут формировать изотропное излучение при красном смещении $z \geq 0,3$ (§ 3). При данном z свет звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$ на ГП сохранится в видимом диапазоне, а излучение звезд в фазе красных гигантов в КГ сместится в ИК область $\lambda_{\text{иг}} = \lambda(z + 1) \approx 1,2$ мкм. Данная область соответствует подъему в ИК спектре ФКИ при $\lambda_{\text{иг}} \sim 1,2$ мкм [29]; [30].

Оценим плотность энергии, которую могут сформировать звезды в КГ на стадии красных гигантов. Время жизни старых звезд массой $1 M_{\odot}$ в фазе красных гигантов $t_{\text{г}} \sim 1$ млрд. лет (§ 5) с учетом формулы (8) соответствует длительностью эпохи $\Delta z \sim 0,1$, что не превышает величину красного смещения $z \sim 0,3$.

Звезды в КГ могут формировать изотропное излучение; при этом старые звезды массой $1 M_{\odot}$ достигнут фазы красных гигантов в эпоху $z \sim 0,3$, если они сформировались в эпоху $z \sim 2$ (§ 3). В условиях зависимости (8) при зависимости $E \sim E_0/(z + 1)$, плотность энергии света звезд с ростом z будет падать. Например, при $z \sim 0,3$ энергия фотонов падает в $\Delta = (z + 1) \approx 1,3$ раза; при $z \sim 2$ параметр $\Delta' = (z + 1) \approx 3$. Звезды типа Солнца в КГ (находящиеся на ГП) сформируют изотропное излучение в видимой области с плотностью энергии $2\epsilon_k/(\Delta + \Delta') \approx 1,4 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ при оценке $\epsilon_k \sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ без учета падения энергии фотонов с ростом красного смещения (§ 3).

Энерговыведение старых звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$ в фазе красных гигантов в ИК области $\leq 0,9$ мкм в $\delta_{\text{иг}} \sim 4,6$ раза больше, чем на ГП в видимой области спектра (§ 5). При переходе звезд в КГ в фазу красных гигантов в эпоху $z \sim 0,3$ при параметре $\Delta \sim 1,3$ за время нахождения в данной фазе 1 млрд. лет при длительности эпохи $\Delta z \sim 0,1$ по предыдущим оценкам, звезды сформируют излучение в ИК области $\lambda_{\text{иг}} \sim 1,2$ мкм с плотностью энергии $\delta_{\text{иг}}\epsilon_k/\Delta \approx 10^{-2}$ эВ/см³. В спектре ФКИ в области ИК длины волны $\sim 1,2$ мкм сравнимая плотность энергии $\epsilon_{\text{иг}} \sim 10^{-2}$ эВ/см³ [3, с. 1228]; [29]; [30].

Приведенные оценки позволяют предполагать, что *свет старых звезд на стадии красных гигантов в КГ может формировать подъем в спектре ФКИ в ИК области ~ 1 мкм.*

Плотность энергии ФКИ в ИК области $\geq 1,3$ мкм монотонно снижается относительно пика 1,2 мкм вплоть до 3 мкм [29]; [30]. Данную область ФКИ могут формировать звезды в КГ в условиях падения энергии фотонов с ростом z . Так, звезды массой $1 M_{\odot}$ достигнут фазы красных гигантов в эпоху $z > 0,3$, если они сформировались в более раннюю эпоху $z > 2$. Например, звезды в КГ на стадии красных гигантов (излучающие в области $\leq 0,9$ мкм), сформируют ФКИ в области 3 мкм, если они вошли в данную фазу при $z \sim 2$.

Доля излучения звезд на пост-АВГ (БК) в далекой УФ области $\sim 0,1$ мкм $\delta\text{п-авг} \sim 5 \cdot 10^{-3}$ в 30 раз ниже, чем Солнца на ГП $\delta_0 \sim 0,15$ (§ 5). Их вклад в ФКИ в УФ области $\sim 0,1$ мкм составит $\epsilon_{\text{кдп-авг}} \approx 10^{-4}$ эВ/см³.

В спектр ФКИ в оптической (видимой и ИК) области 0,4 – 2 мкм могут вносить вклад переменные (пульсирующие) звезды на стадии красных гигантов (ГВГ), составляющие население II гало (корон) галактик. Расчеты показывают, что пульсирующие звезды могут сглаживать спектр ФКИ в оптическом диапазоне с плотность энергии до $< 10^{-3}$ эВ/см³.

Так, в гало присутствуют переменные звезды на ГВГ массой $\sim 1 M_{\odot}$, включая короткопериодические цефеиды [1, с. 387], пульсирующие звезды типа RR Лиры [3, с. 1209] (спектральных классов А – F) и RV Тельца (спектральных классов G, K) [3, с. 1210] с эффективной температурой в диапазоне $5 \cdot 10^3 - 9 \cdot 10^3$ К [20, с. 611]. Меняющаяся эффективная температура пульсирующих звезд определяет вариации их светимости. Минимальная температура цефеид и пульсирующих звезд типа RR Лиры достигает $\geq 1,5 \cdot 10^3$ К [20, с. 183], что близко к температуре фотосферы красных гигантов, близких к финальной стадии $\sim 2 \cdot 10^3$ К [2, с. 178] (находящихся на АВГ).

Длина волны в области максимума излучения звезд с температурой $T \geq 1,5 \cdot 10^3$ К по закону Вина (13) приходится на ИК область $\lambda = b/T \leq 1,8$ мкм. В горячей фазе с температурой $T \leq 9 \cdot 10^3$ К пульсирующие звезды излучают вблизи УФ длине волны $\lambda \geq 0,3$ мкм. Тем самым, у пульсирующих звезд спектр меняется от УФ до ИК диапазона. С учетом красного смещения $z \sim 0,3$ при котором звезды в КГ сформируют изотропное излучение (§ 3), свет пульсирующих звезд сместится в диапазон $\lambda' = \lambda(z + 1) \approx 0,4 - 2$ мкм.

Доля излучения звезд на ГВГ $\delta_{\text{гвг}} \sim 0,125$ не превышает долю излучения звезд типа Солнца на ГП $\delta_0 \sim 0,15$ (§ 5). Лишь часть звезд на ГВГ массой $\sim 1 M_{\odot}$ является пульсирующими звездами, т.е. доля излучения пульсирующих звезд вблизи УФ области $\geq 0,4$ мкм $\delta\text{п} < \delta_{\text{гвг}}/2\delta_0 \approx 0,4$ вклада звезд на ГП. Это ограничит вклад в плотность энергии ФКИ $\epsilon_{\text{кдп}} < 10^{-3}$ эВ/см³ при $\epsilon_{\text{к}} \sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ (§ 3). Действительно, плотность энергии ФКИ в оптическом диапазоне ≤ 1 мкм падает со снижением длин волн (включая УФ область) [29]; [30].

Доля излучения звезд на АВГ в ИК области ≥ 1 мкм $\delta_{\text{авг}} \sim 0,115$ не превышает долю излучения звезд типа Солнца на ГП $\delta_0 \sim 0,15$ (§ 5). Доля излучения пульсирующих звезд в ИК области ≤ 2 мкм менее $\delta\text{п} < \delta_{\text{авг}}/2\delta_0 \approx 0,4$ вклада звезд на ГП, что ограничит вклад в плотность энергии ФКИ в данной ИК области $\epsilon_{\text{кдп}} < 10^{-3}$ эВ/см³. Напомним, что плотность энергии ФКИ в ИК области ≤ 3 мкм снижается относительно пика в области 1,2 мкм [29]; [30].

Тем самым, *пульсирующие звезды в коронах галактик могут вносить вклад в ФКИ в оптической области 0,4 – 2 мкм с плотностью энергии до $< 10^{-3}$ эВ/см³, сглаживая его спектр.*

7. Вклад газовых оболочек красных гигантов в фоновое УФ излучение

В гало (короне) соседней галактики Андромеды (М31), подобной нашей Галактике, помимо горячего газа ($T \sim 5 \cdot 10^5$ К) присутствует фракция теплого газа, на что указывают линии поглощения ионов в спектрах квазаров на УФ длинах волн $\lambda_{\text{ув}} = 1140 - 1800 \text{ \AA}$ [22]. Согласно закону Вина (13) температура теплой фракции газа в КГ $T = b/\lambda \approx (2 \pm 0,4) \cdot 10^4$ К.

В короне М31 в пределах $\leq 0,15$ Мпк межгалактический газ динамичен и имеет многофазную структуру, что связывается со сверхновыми, которые могли обогатить его ТЭ; несколько поглотителей излучения в линиях ТЭ пространственно и кинематически близки к карликовым галактикам – спутникам М31 [22], образующим звездные потоки (§ 2). Часть старых звезд в КГ, в том числе в звездных потоках, находится на стадии красных гигантов (§ 5), т.е. их газовые оболочки могут вносить вклад в ФКИ в УФ диапазоне.

В силу высокой средней светимости звезд в фазе красных гигантов $L_{\text{г}} \sim 70 L_{\odot}$ для звезд типа Солнца (§ 5) они образуют сильный звездный ветер. Взаимодействие звездного ветра

звезд высокой светимости с межзвездным газом приводит к образованию сферических оболочек, состоящих из вещества звездного ветра и нагретого вещества [2, с. 67]. При этом в окрестности сферических оболочек формируются облака теплого атомарного водорода (H I).

Так, у звезд на ГВГ, движущихся в межзвездной среде, протяженный турбулентный хвост нейтрального водорода, излучающий в УФ диапазоне. Например, у относящейся к населению II (гало) переменной звезды (на ГВГ) Миры А Кита массой $\sim 1,2 M_{\odot}$ светимостью $10 L_{\odot}$ [33], летящей со скоростью 130 км/с, радиус газовой сферической оболочки, образованной звездным ветром $\sim 0,5$ пк; протяженность газового хвоста ~ 4 пк (рис. 2).



Рис. 2. Газовый хвост Миры А Кита, телескоп GALEX (2007 г.)

В атмосферах звезд с конвективными оболочками (включая красные гиганты) доля нетеплового потока энергии достигает $\delta i \sim 10\%$ полного потока излучения; значительная его часть уносится звездным ветром [2, с. 67]. Кинетическая энергия звездного ветра может трансформироваться в УФ излучение газовых оболочек.

Излучение звезд на стадии красных гигантов в КГ может вносить вклад в ФКИ в ИК области ~ 1 мкм с плотностью энергии $\epsilon_k \sim 10^{-2}$ эВ/см³ (§ 6). Соответственно, излучение их газовых оболочек может вносить вклад в ФКИ в УФ области с плотностью энергии $\epsilon_{uv} \sim \delta i \epsilon_k \approx 10^{-3}$ эВ/см³. Данная оценка сравнима с плотностью энергии изотропного УФ излучения $\sim 10^{-3}$ эВ/см³ в области длин волн $\geq 0,16$ мкм, связываемого с ФКИ [18, с. 55]; [29]. Выделение метагалактического УФ излучения на меньших длинах волн затруднено [4, с. 337] в условиях сильного рассеяния межпланетной и межзвездной пылью УФ излучения [21, с. 85] Солнца и звезд соответственно.

С учетом красного смещения $z \geq 0,3$, при котором звезды в КГ могут формировать изотропное излучение (§ 3), длины волн излучения ионов в КГ $\lambda_{uv} = 1140 - 1800 \text{ \AA}$ [22] сместятся в УФ область $\lambda = \lambda_{uv}(z + 1) \geq 0,15 - 0,23$ мкм. Сильная α -линия Лаймана атомарного водорода $L\alpha = 1216 \text{ \AA}$ [1, с. 147] за счет красного смещения сместится в область $\lambda \geq 0,16$ мкм [4, с. 337]. Данные границы близки к УФ диапазону $\geq 0,16$ мкм, для которого выделено ФКИ [18, с. 55]. Тем самым, *газовые оболочки, образуемые звездным ветром звезд на стадии красных гигантов в коронах галактик, могут вносить вклад в ФКИ в УФ диапазоне с плотностью энергии $\sim 10^{-3}$ эВ/см³, соответствующей плотности энергии ФКИ в данной области.*

8. Выводы

1. По данным микролинзирования в гало (короне) Галактики (КГ) есть объекты массой $0,15 - 0,9 M_{\odot}$. Данный диапазон соответствует массе звезд низкой светимости ($\leq 10^{-2} L_{\odot}$) – красных карликов (КК) массой $0,15 - 0,5 M_{\odot}$ и белых карликов (БК) массой $0,6 - 0,9 M_{\odot}$.

2. Оценено число звезд в КГ $\sim 4 \cdot 10^{11}$, включая КК $\sim 3 \cdot 10^{11}$ и БК $\sim 10^{11}$. Суммарная масса звезд в КГ $\sim 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ сравнима с массой Галактики. Показано, что светимость звезд в Галактике и ее короне также может быть сравнима.

3. Источником звезд в КГ могут являться разрушающиеся карликовые галактики – спутники, образующие звездные потоки.

4. Соотношение масса – светимость карликовых галактик – спутников типа Тукан II с учетом гало $M/L \approx 3 \cdot 10^{-4} M_{\odot}/L_{\odot}$ характерно для старых БК светимостью $L \leq 10^{-3} L_{\odot}$, т.е. гало карликовых галактик (которые могут являться остатками ранних галактик) может содержать продукты эволюции первых звезд – БК.

5. Присутствие БК в КГ подтверждает состав межгалактического газа (содержащего углерод, кислород и кремний), связываемый со сверхновыми. Так, линия кремния наблюдается в спектрах сверхновых Ia, в которые эволюционируют БК в двойных звездах. В свою очередь, в БК эволюционируют углеродно-кислородные ядра звезд.

6. Показано, что свет оптических дисков галактик покрывает до 0,2% небесной сферы, т.е. звезды в галактиках (включая карликовые) не могут формировать изотропное излучение в оптической области.

7. Оценено удаление $\sim 10^3$ Мпк, соответствующее красному смещению $z \sim 0,3$, при котором звезды в КГ сформируют изотропное излучение в видимой области.

8. Оценена плотность энергии света звезд в коронах окружающих галактик $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³, что соответствует плотности *фонового космического излучения* (ФКИ) в видимой области.

9. Оценена плотность энергии света карликовых галактик $\sim 10^{-4}$ эВ/см³, что более чем на порядок меньше плотности ФКИ в видимой области, т.е. карликовые галактики могут вносить вклад во флуктуации ФКИ в оптической области на уровне 3% плотности его энергии.

10. Оценена плотность энергии излучения БК в коронах окружающих галактик $\leq 0,2\%$ плотности энергии ФКИ в видимой области, что не существенно.

11. Оценена плотность энергии излучения БК в короне Галактики $\leq 3\%$ плотности энергии ФКИ в видимой области, что не существенно.

12. Показано, что КК средней массой $\sim 0,3 M_{\odot}$ светимостью $\sim 10^{-2} L_{\odot}$, являясь неразрешенными объектами в короне нашей Галактики, сформируют плотность энергии излучения $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ в ИК области ~ 1 мкм, т.е. они могут вносить в флуктуации ФКИ на уровне 1/3 плотности его энергии.

13. У звезд массой $\sim 1 M_{\odot}$ типа Солнца за время нахождения на главной последовательности энерговыделение $W_{\odot} \sim 1,2 \cdot 10^{51}$ эрг, что в $W_s/W_{\odot} \approx 7$ раз меньше, чем за все время их жизни $W_s \sim 8,2 \cdot 10^{51}$ эрг с учетом нахождения на стадии красных гигантов. Это может приводить к «покраснению» интегрального спектра старых звезд в КГ в сравнении с более молодыми звездами в галактиках.

14. Показано, что с учетом «покраснения» старых звезд в КГ при переходе на стадию красных гигантов, они могут формировать излучение в оптической области на длинах волн 0,4 – 0,9 мкм. С учетом красного смещения, при котором формируется изотропное излучение звезд в КГ $z \sim 0,3$ данный диапазон сместится в оптическую область 0,5 – 1,2 мкм.

15. Оценена плотность энергии излучения звезд в коронах окружающих галактик с учетом перехода на стадию красных гигантов $3 \cdot 10^{-3} - 10^{-2}$ эВ/см³ в диапазоне 0,5 – 1,2 мкм, что соответствует плотности энергии ФКИ $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³ в видимой области, а также $\sim 10^{-2}$ эВ/см³ в ИК области $\sim 1,2$ мкм.

16. Показано, что из-за падения энергии фотонов с ростом красного смещения старые звезды, достигшие фазы красных гигантов в КГ в период $2 > z > 0,3$ могут формировать ФКИ в ИК диапазоне 1,2 – 3 мкм, чья плотность энергии монотонно снижается вплоть до длин волн ≤ 3 мкм.

17. Оценена плотность энергии излучения звезд на стадии пост-АВГ (БК) в коронах окружающих галактик в далекой УФ области $\sim 0,1$ мкм на уровне $\sim 10^{-4}$ эВ/см³.

18. Показано, что переменные (пульсирующие) звезды в коронах окружающих галактик могут вносить вклад в ФКИ в оптической области 0,4 – 2 мкм с плотностью энергии до $< 10^{-3}$ эВ/см³, сглаживая его спектр.

19. Показано, что КК в короне нашей Галактики суммарной массой $\sim 10^{11} M_{\odot}$ при их средней массе $\sim 0,3 M_{\odot}$ светимостью $\sim 10^{-2} L_{\odot}$ (как неразрешенные объекты) могут вносить вклад в флуктуации ФКИ в ИК области ~ 1 мкм с плотностью энергии $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ эВ/см³, что составляет ок. 1/3 плотности энергии ФКИ в данной области.

20. Показано, что БК в короне нашей Галактики суммарной массой $\sim 10^{11} M_{\odot}$ светимостью $\leq 10^{-3} L_{\odot}$ (как неразрешенные объекты) могут вносить вклад в ФКИ в видимой области с плотностью энергии до $\leq 10^{-4}$ эВ/см³, что составляет менее 3% плотности энергии ФКИ, что не существенно.

21. Показано, что газовые оболочки, образуемые сильным звездным ветром звезд на стадии красных гигантов в КГ, могут вносить вклад в ФКИ в УФ диапазоне $\geq 0,15$ мкм с плотностью энергии $\sim 10^{-3}$ эВ/см³, что сравнимо с плотностью энергии ФКИ в данной области.

Литература

1. *А.М. Прохоров.* Физическая энциклопедия, т. 1. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия». – 1988. – 704 с.
2. *А.М. Прохоров.* Физическая энциклопедия, т. 2. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия». – 1998. – 703 с.
3. *И.С. Григорьев, Е.З. Мейлихов.* Физические величины. Справочник. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 1232 с.
4. *А.М. Прохоров.* Физическая энциклопедия, т. 5. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия». – 1998. – 784 с.
5. C. Alcock, et al. The MACHO Project: Microlensing Results from 5.7 Years of Large Magellanic Cloud Observations // *The Astrophysical Journal*. – 2000. – V. 542. – № 1. – P. 281-307.
6. F. Hammer, Y. Yang, F. Arenou, C. Babusiaux, J. Wang, M. Puech, H. Flores. Galactic Forces Rule the Dynamics of Milky Way Dwarf Galaxies // *The Astrophysical Journal*. – 2018. – V. 860:76. – № 1. – 19 pp.
7. *А.В. Тутуков, С.В. Верещагин, М.Д. Сизова.* Разрушение галактик как причина появления звездных потоков // *Астрономический журнал*. – 2021. – Т. 98. – № 11. – С. 883-900.
8. *С.Ю. Поройков.* Характеристики первых звезд и продуктов их эволюции // *Журнал естественнонаучных исследований*. – 2023. – Т. 8. – № 1. – С. 22-48.
9. D. S. Graff, G. Laughlin, K. Freese. MACHOs, White Dwarfs, and the Age of the Universe // *The Astrophysical Journal*. – 1998. – V. 499. – № 1. – P. 7-19.
10. P. Tisserand, et al. Limits on the Macho content of the Galactic Halo from the EROS-2 Survey of the Magellanic Clouds // *Astronomy & Astrophysics*. – 2007. – V. 469. – № 2. – P. 387-404.
11. L. Wyrzykowski, et al. The OGLE view of microlensing towards the Magellanic Clouds – IV. OGLE-III SMC data and final conclusions on MACHOs // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2011. – V. 416. – Is. 4. – P. 2949-2961.
12. M. Kilic, N.C. Hambly, P. Bergeron, C. Genest-Beaulieu, N. Rowell. Gaia Reveals Evidence for Merged White Dwarfs // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*. – 2018. – V. 479. – Is. 1. – P. L113–L117.
13. P. Kroupa. On the variation of the initial mass function // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2001. – V. 322. – Is. 2. – P. 231-246.
14. D. Krishnarao, et al. Observations of a Magellanic Corona // *Nature*. – 2022. – V. 609. – P. 915–918.
15. A. Chiti, A. Fre, et al. An extended halo around an ancient dwarf galaxy // *Nature Astronomy*. 2021. – V. 5. – P. 392–400.

16. M.E. Putman, L. Staveley-Smith, K.C. Freeman, B.K. Gibson, D.G. Barnes. The Magellanic Stream, High-Velocity Clouds, and the Sculptor Group. *The Astrophysical Journal*. – 2003. – V. 586. – № 1. – P. 170-194.
17. D. Clowe, M. Bradač, A.H. Gonzalez, M. Markevitch, S.W. Randall, C. Jones, D. Zaritsky. A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter // *The Astrophysical Journal Letters*. – 2006. – V. 648. – № 2. – L109-L113.
18. *А.В. Засов, К.А. Постнов.* Общая астрофизика. 2-е изд. испр. и дополн. Фрязино: Век 2. – 2011. – 576 с.
19. J.D. Bowman, A.E.E. Rogers, R.A. Monsalve, T.J. Mozdzen, N. Mahesh. An absorption profile centred at 78 megahertz in the sky-averaged spectrum // *Nature*. – 2018. – V. 555. – P. 67-70.
20. *А.М. Прохоров.* Физическая энциклопедия, т. 4. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия». – 1994. – 704 с.
21. *А.М. Прохоров.* Физическая энциклопедия, т. 3. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия». – 1992. – 672 с.
22. N. Lehner, et al. Project AMIGA: The Circumgalactic Medium of Andromeda // *The Astrophysical Journal*. – 2020. – V. 900:9 – N 1. – 44 pp.
23. J.I.G. Hernández, et al. No surviving evolved companions of the progenitor of SN 1006 // *Nature*. – 2012. – V. 489. – P. 533–536.
24. C.J. Conselice, A. Wilkinson, K. Duncan, A. Mortlock. The evolution of galaxy number density at $Z < 8$ and its implications // *The Astrophysical Journal*. – 2016. – V. 830:83. – № 2. – 17pp.
25. *Я.Б. Зельдович, Н.Д. Новиков.* Строение и эволюция Вселенной. – М.: Наука. – 1975. – 736 с.
26. Yu. Harikane et al. A Search for H-Dropout Lyman Break Galaxies at $z \sim 12-16$ // *The Astrophysical Journal*. – 2022. – V. 929. – № 1. – 15pp.
27. R. Adam, et al. Planck 2015 results. I. Overview of products and scientific results // *Astronomy and Astrophysics*. – 2016. – V. 594. – A1. – 38 pp.
28. L. Kaltenegger, W.A. Traub. Transits of Earth-like Planets // *The Astrophysical Journal*. – 2009. – V. 698. – № 1. – P. 519-527.
29. R.C. Henry. Diffuse background radiation // *The Astrophysical Journal Letters*. – 1999. – № 516. – № 2. – L49-L52.
30. M.G. Hauser, E. Dwek. The Cosmic Infrared Background: Measurements and Implications // *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. – 2001. – V. 39. – P. 249-307.
31. *В.А. Бедняков.* О происхождении химических элементов // *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. – 2002. – Т. 33. – № 4. – С. 915-963.
32. *А.М. Прохоров.* Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия. – 1983. – 928 с.
33. H.C. Woodruff, M. Eberhardt, T. Driebe, K.-H. Hofmann, K. Ohnaka, A. Richichi, D. Schert, M. Schöller, M. Scholz, G. Weigelt, M. Wittkowski, P. R. Wood. Interferometric observations of the Mira star α Ceti with the VLTI/VINCI instrument in the near-infrared // *Astronomy and Astrophysics*. – 2004. – V. 421. – № 2. – P. 703-714.