

РККЛ – 2020

О природе КЛ: Почему это явление универсально во Вселенной? Когда оно возникло? Прямое взаимодействие Макро- и Микро-миров и перекачка энергии в КЛ

Лев Дорман (ИЗМИРАН, Moscow and CR&SW Israel)

THE MATTER OF THE PROBLEM

We will show that Solar Cosmic Rays (SCR), Solar Energetic Particles (SEP), energetic particles generated in Heliosphere, in magnetospheres of the Earth, Jupiter, Saturn and other planets, in interplanetary space, and in atmospheres of stars have the same nature as Galactic and Intergalactic CR: they are all runaway particles from the Maxwell-Boltzmann distribution of background plasma where they were generated. Energy of these run-away particles is much higher than average energy of background thermal particles. We will show in our report that the energy of all these run-away particles have the same general nature: it is always transfer energy from the Macro-objects and Macro-processes directly to charged particles, to Micro-objects.

THE MATTER OF THE PROBLEM

This transfer energy is formatted in dynamic plasma with frozen in magnetic fields: really magnetic fields 'glues' thermal background particles in Macro-objects and Macro-processes involved billions thermal particles. Through magnetic fields runaway particles can interact not only with thermal background particles (and loose energy), but also directly with Macro-objects and Macro-processes with very high macro-energy (many order higher than energy of run-away particles) with energy increasing of runaway particles (CR, Astroparticles).

THE MATTER OF THE PROBLEM

We come to conclusion that the main cause of origin of all types of Cosmic Rays in any objects and processes in the Universe is the transform energy from Macro-world directly to Micro-world through frozen in magnetic fields in plasmas. Let us outline that without frozen in magnetic fields run-away particles cannot interact with whole macro objects or macro-processes, but only with objects of Micro-world (ions, electrons, atoms, molecules, and so on, and mostly with loosing energy). At the stage when in early Universe were formatted exited small density plasmas objects with frozen in magnetic fields, where formatted also Cosmic Rays of different types. We consider also the problem of formatting energy spectrum of different types of CR.

Internal and external CR; multiple origin of CR

It is natural to define cosmic rays (CR) as run-away charged particles with energies at least several orders of magnitude higher than the average energy of thermal particles of background plasma. There is internal CR, generated inside the background plasma of object considered, and external CR generated in other objects and propagated to the considered object. There are CR of different origin: **Extragalactic or Metagalactic CR (ECR), Galactic CR (GCR), different types of Stellar CR (StCR), Solar CR or Solar Energetic Particles (SCR or SEP), Heliospheric CR (HCR), Interplanetary CR (ICR), Magnetospheric CR (MCR).**

Extragalactic or Metagalactic CR (ECR)

ECR of very high energy (up to 10^{21} eV or even up to 10^{22} eV) are generated in radio-galaxies, quasars and other powerful objects in the Universe and come through intergalactic space to our Galaxy, to the Heliosphere and into the Earth's atmosphere. Therefore, they are internal for Metagalaxy and external relative to our Galaxy and our Heliosphere.

Galactic CR (GCR)

GCR, with energy at least up to 10^{15} - 10^{16} eV (may be up to 10^{17} eV), are generated mainly by shock waves in supernova explosions and supernova remnants, in magnetospheres of pulsars and double stars, reaccelerated by shock waves in interstellar space and other possible objects in the Galaxy. These CR are internal relative to our Galaxy and external to our Heliosphere and the Earth's magnetosphere.

Solar CR (SCR)

SCR, with energy up to 15-30 GeV, generated in the solar corona in periods of powerful solar flares, are internal CR for the Sun's corona and external for interplanetary space and the Earth's magnetosphere. SCR play important role in Heliosphere, and Earth's magnetosphere/atmosphere, but they role in general balance of GCR in the Galaxy (together with other stars) is expected negligible.

Different types of Stellar CR (StCR)

Stellar flares and shock waves in stellar winds are powerful sources for generation **StCR** with upper energy much bigger than Solar CR (may be up to 10^{11} - 10^{12} eV). The role of **StCR** is important in the region not far from the corresponding star, but in general balance of GCR in the Galaxy the summary role of all **StCR** is expected negligible.

Heliospheric CR (HCR) and Interplanetary CR (ICR)

Heliospheric CR (HCR), with energy up to ~ 100 MeV, are generated by the terminal shock at the boundary of the Heliosphere (when they are discovered at about 1960s they were called Anomaly CR or ACR). HCR are internal to our Heliosphere and external to the Earth's magnetosphere.

Interplanetary CR (ICR) also with energy up to ~ 100 MeV are generated by CME (Coronal Mass Ejections) and by powerful interplanetary shock waves from solar flares and CME. They are internal to our Heliosphere and external to the Earth's magnetosphere.

Magnetospheric CR (MCR)

MCR, with energy up to 10 -20 MeV are generated in magnetospheres of Jupiter and Saturn, and up to 1-2 MeV in the magnetosphere of the Earth. MCR are generated inside the magnetospheres of all rotating magnetized planets interacted with solar or stellar winds. MCR are internal CR in the corresponding magnetosphere and external relative to Heliosphere and Stellar-spheres.

Two maxima in particle energy distribution in magnetized space plasma

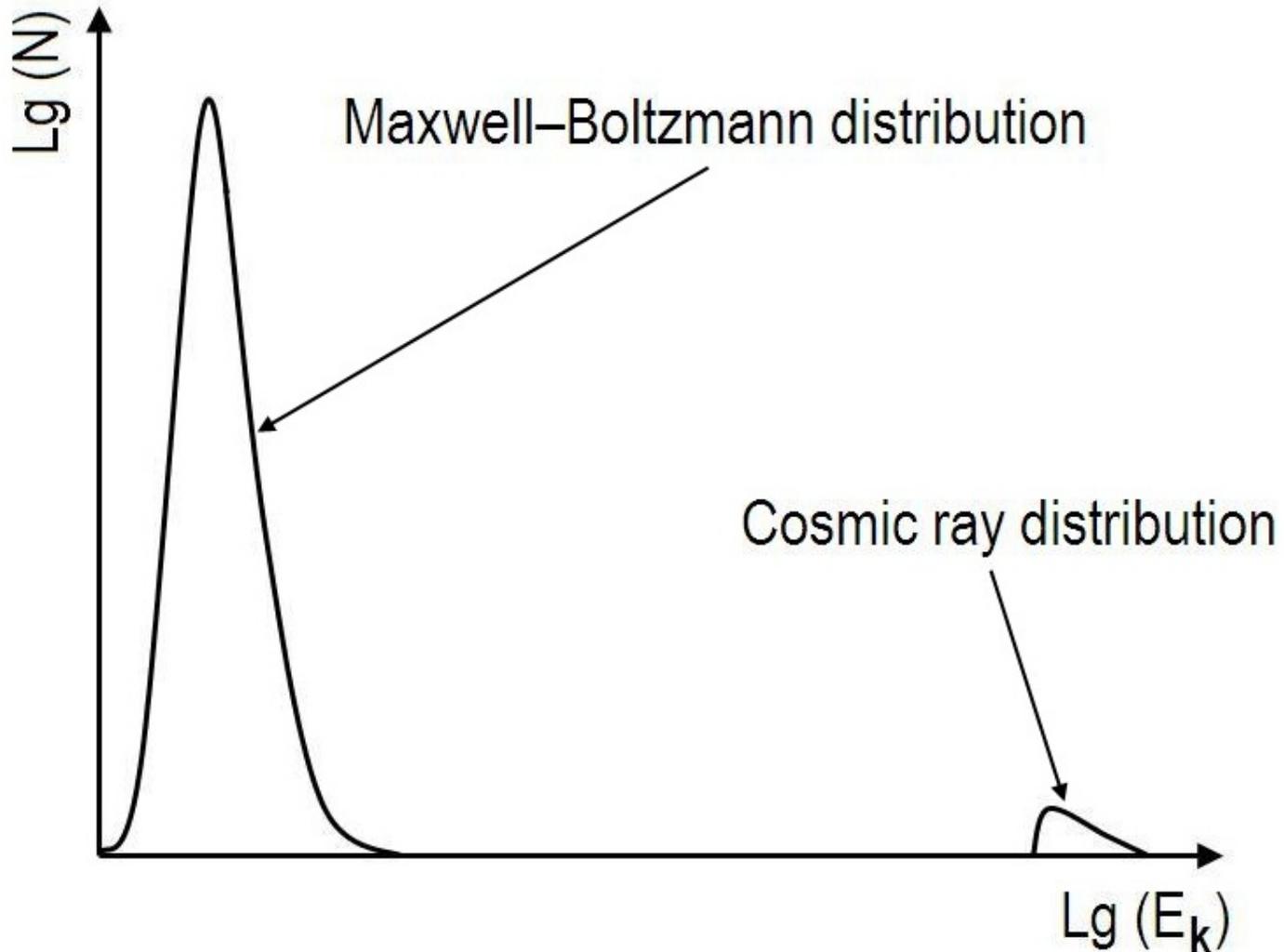
Let us consider the particle energy distribution in any magnetized dynamic space plasma. We can see that there are always two maxima in this distribution, with a great difference in average energies (many orders of magnitude). $D_M(E_k) \propto E_k \exp(-E_k/kT)$

$$\langle E_k \rangle_M = (3/2)kT \approx 1 \div 100 \text{ eV} \quad D_{GCR}(E_k) \propto E_k^{-\gamma(E_k)}$$

$$\langle E_k \rangle_{GCR} \approx 10^{10} \text{ eV} \quad N_{GCR} \approx 10^{-10} \text{ cm}^{-3}$$

$$\langle E_k \rangle_{GCR} N_{GCR} \approx \langle E_k \rangle_M N_I \approx H_I^2 / 8\pi \approx 1 \text{ eV} \cdot \text{cm}^{-3}$$

Two maxima in particle energy distribution in magnetized space plasma



Comparison of macroscopic and microscopic energies

- magnetic cloud (or shock wave connected with this cloud) in the interplanetary space

$$u \approx 500 \text{ km/s} = 5 \times 10^7 \text{ cm/s}$$

$$\rho \approx 5 \text{ cm}^{-3} \quad W_k = L^3 \rho u^2 / 2 \approx 10^{28} \text{ erg} \approx 10^{40} \text{ eV}$$

$$L \approx 1 \text{ pc} = 3 \times 10^{18} \text{ cm} \quad u \approx 10 \text{ km/s} = 10^6 \text{ cm/s} \quad \rho \approx 1 \text{ cm}^{-3}$$

$$W_k = L^3 \rho u^2 / 2 \approx 10^{43} \text{ erg} \approx 10^{55} \text{ eV}$$

Formation of CR spectrum and upper energy limit

The thermodynamic equilibrium between macroscopic magnetized plasma motion and CR charged particles can not be reached, since the energy increase is hardly limited and the formation of the energy spectrum is determined by the following three important factors :

- 1. The rate of energy increase** during the acceleration process (as determined by the details of the acceleration mechanisms)
- 2. The energy loss of accelerating particles** by ionization and nuclear interactions (important for small and middle energy), on interactions with the magnetic field (synchrotron radiation; important for electrons), interactions with photons (especially with relict photons at 2.7°K , important for high energy particles with $E > 10^{18}\text{-}10^{19}$ eV).

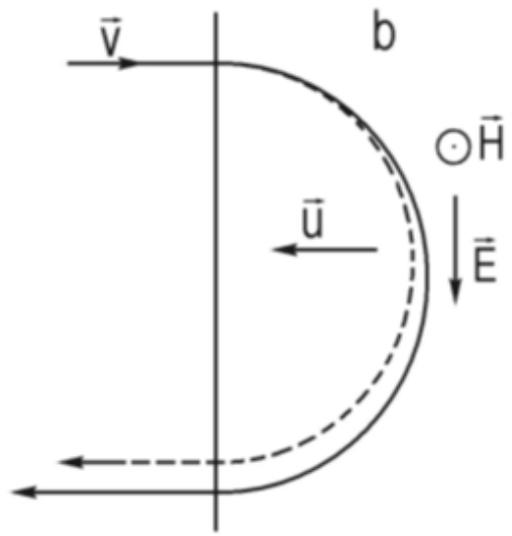
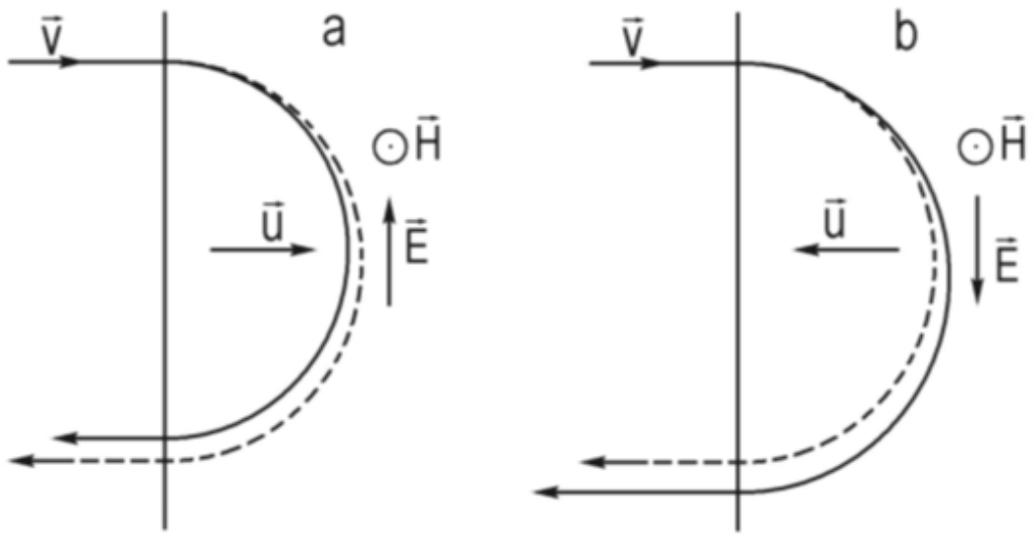
Formation of CR spectrum and upper energy limit

3. Particle escape from the acceleration region: for the energy interval in which the escape probability is proportional to the time of a particle's acceleration and does not depend on the energy of particles, the power index γ is constant (for galactic CR, the range is $10^{10} - 10^{15}$ eV). When the probability of escape starts to increase with increasing particle energy, the power index γ starts to increase with increasing E_k . This gives a gradual upper cut off for the energy spectrum: for galactic CR generated in supernova remnants it is expected to be about 10^{16} eV and for solar CR generated in solar flare events it was observed from 100 MeV up to about 20-30 GeV (in different cases) and for stellar CR generated in much greater stellar flare events upper energy limit expected to be several order higher. For interplanetary CR generated by terminal shock wave and interplanetary shock waves the observations give a cut off energy of about 10–100 MeV, for magnetospheric CR generated in planetary magnetospheres direct measurements gave for upper energy limit from 1-2 MeV for the Earth and up to 10-20 MeV for Jupiter and Saturn.

Comment to the Fermi (1949) acceleration mechanism

$$(\Delta E/E)_{\pm} = \pm 2uv/c^2 \quad v_{\pm} = (v \pm u)/2\lambda$$

$$dE/dt = (\Delta E)_{+} v_{+} + (\Delta E)_{-} v_{-} = \alpha E \quad \alpha = 2u^2v/\lambda c^2$$

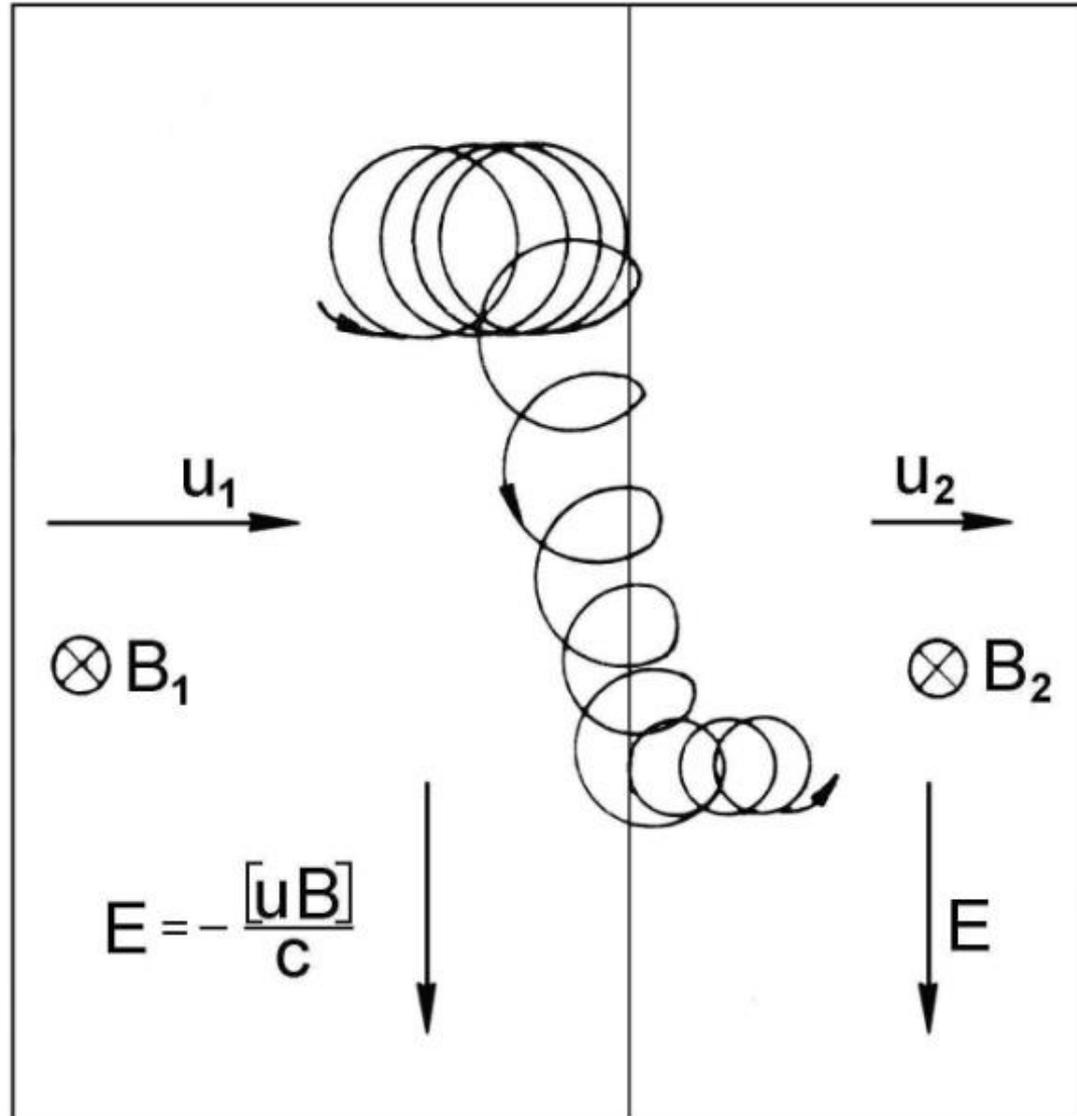


$$(\Delta E/E)_{\pm} = \pm 2uv/c^2 + 2u^2/c^2$$

$$\alpha = 4u^2v/\lambda c^2$$

Dorman, 1983; see in Dorman, M2006, Section 4.3

Single interaction of charged particles with shock wave: drift acceleration



Single interaction of charged particles with shock wave: drift acceleration

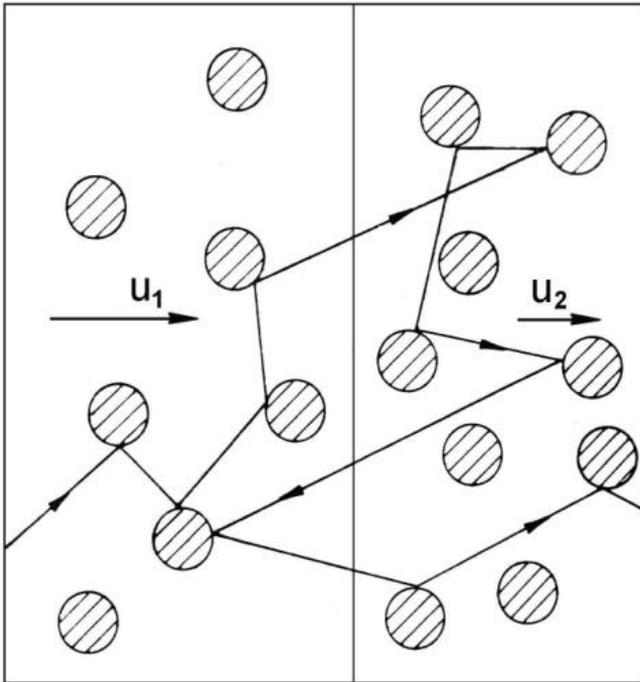
If the shock wave propagated in plasma with charged particles frozen in magnetic fields near the shock front, there will be drift along the electric field and acceleration (drift acceleration). This mechanism was supposed by Dorman and Freidman (1959) for explaining the effect of galactic CR pre-increase before the start of big magnetic storms with sudden commencement (caused by interplanetary shock waves from the Sun). In this case $u_1 H_1 = u_2 H_2$ and $E_1 = E_2$; the increasing energy E of accelerating particle will be $\Delta E = ZeE_1 L = ZeE_2 L$, where Ze is the charge of accelerated particle. Later this mechanism was developed in detail by Shabansky (1961, 1966), Schatzman (1963), Alekseev and Kropotkin (1970), Alekseev et al. (1970), Vasilyev et al. (1978).

Multiple interactions of charged particles with a shock wave: regular or diffusive acceleration; application to CR generation in Supernova remnants

$$n(p) \propto p^{-\gamma}; \quad \gamma = \frac{u_1 + 2u_2}{u_1 - u_2} = \frac{\sigma + 2}{\sigma - 1},$$

$$\sigma = u_1 / u_2 = \rho_2 / \rho_1 = H_2 / H_1$$

developed by Krymsky (1977), Axford et al. (1977), Bell (1978a,b), and Blandford and Ostriker (1978)



Мысленные путешествия на протонах КЛ различной энергии во Вселенной.

Лев Дорман (ИЗМИРАН, Moscow and
CR&SW Israel)

1. Необходимые условия

Предположим, что наша Цивилизация сумела избежать самоуничтожения из-за возможных термоядерных войн. В этом случае можно ожидать через несколько сотен лет решения проблемы управляемого термо-ядерного синтеза и создания мощных ионных двигателей для космических кораблей с релятивистскими скоростями, сравнимыми с теми, которые наблюдаются у протонов КЛ. Тогда то, что мы рассматриваем сейчас как мысленные путешествия могут стать реальными.

2. Примеры протонов с разными энергиями

- Мы рассматриваем разные энергии протонов, но особенно впечатляющим является случай самых высоких энергий: протон с энергией 10^{19} эВ. В этом случае он пересечет нашу Галактику (размером около ста тысяч световых лет) всего за 5 минут своей жизни. При этом он увидит фантастическую картину: на встречу будут лететь звёзды и планеты со скоростью близкой к скорости света, сильно сжатые в направлении движения (в 10^{10} раз) и неизменные в поперечных направлениях (например для Солнца 10 см и около миллиона км; для Земли соответственно 1мм и 17 тысяч км).

3. Протон с энергией 10^{19} эВ в Галактике и во Вселенной

- Протон с энергией 10^{19} эВ пересечет нашу Галактику размером около 10^5 световых лет всего за 5 минут своей жизни ($\Delta = 10^{-10} \times 10^5$ световых лет = 10^{-5} года = 300 с). За один год своей жизни такой протон преодолевает путь в 10 миллиардов световых лет: это означает, что он может за несколько лет своей жизни приблизиться к границе Вселенной и изучить ситуацию в ранней Вселенной вскоре после Биг Бэнга.**

4. Могут ли мысленные полеты стать реальными ?

Я не думаю, что описанный вариант с протоном 10^{19} эВ может быть реализован даже в ближайшие миллионы лет, но варианты с космическими кораблями, которые соответствуют энергиям протонов КЛ с энергиями 2, 10 и 100 биллионов эВ (сжатие в направлении движения в 2, 10 и 100 раз) вполне реальны в ближайшие тысячелетия. В докладе мы рассматриваем также возможности ускорения и радиационную опасность для релятивистских космических кораблей со скоростями, соответствующих различным энергиям протонов КЛ.

- БОЛЬШОЕ СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ

Мысленные путешествия на протонах КЛ различной энергии во Вселенной.

Лев Дорман (ИЗМИРАН, Moscow and
CR&SW Israel)

1. Необходимые условия

Предположим, что наша Цивилизация сумела избежать самоуничтожения из-за возможных термоядерных войн. В этом случае можно ожидать через несколько сотен лет решения проблемы управляемого термо-ядерного синтеза и создания мощных ионных двигателей для космических кораблей с релятивистскими скоростями, сравнимыми с теми, которые наблюдаются у протонов КЛ. Тогда то, что мы рассматриваем сейчас как мысленные путешествия могут стать реальными.

Мысленные путешествия на протонах КЛ различной энергии во Вселенной.

Лев Дорман (ИЗМИРАН, Moscow and
CR&SW Israel)

1. Необходимые условия

Предположим, что наша Цивилизация сумела избежать самоуничтожения из-за возможных термоядерных войн. В этом случае можно ожидать через несколько сотен лет решения проблемы управляемого термо-ядерного синтеза и создания мощных ионных двигателей для космических кораблей с релятивистскими скоростями, сравнимыми с теми, которые наблюдаются у протонов КЛ. Тогда то, что мы рассматриваем сейчас как мысленные путешествия могут стать реальными.

Мысленные путешествия на протонах КЛ различной энергии во Вселенной.

Лев Дорман (ИЗМИРАН, Moscow and
CR&SW Israel)

1. Необходимые условия

Предположим, что наша Цивилизация сумела избежать самоуничтожения из-за возможных термоядерных войн. В этом случае можно ожидать через несколько сотен лет решения проблемы управляемого термо-ядерного синтеза и создания мощных ионных двигателей для космических кораблей с релятивистскими скоростями, сравнимыми с теми, которые наблюдаются у протонов КЛ. Тогда то, что мы рассматриваем сейчас как мысленные путешествия могут стать реальными.

2. Примеры протонов с разными энергиями

- Мы рассматриваем разные энергии протонов, но особенно впечатляющим является случай самых высоких энергий: протон с энергией 10^{19} эВ. В этом случае он пересечет нашу Галактику (размером около ста тысяч световых лет) всего за 5 минут своей жизни. При этом он увидит фантастическую картину: на встречу будут лететь звёзды и планеты со скоростью близкой к скорости света, сильно сжатые в направлении движения (в 10^{10} раз) и неизменные в поперечных направлениях (например для Солнца 10 см и около миллиона км; для Земли соответственно 1мм и 17 тысяч км).

3. Протон с энергией 10^{19} эВ в Галактике и во Вселенной

- Протон с энергией 10^{19} эВ пересечет нашу Галактику размером около 10^5 световых лет всего за 5 минут своей жизни ($\Delta = 10^{-10} \times 10^5$ световых лет = 10^{-5} года = 300 с). За один год своей жизни такой протон преодолевает путь в 10 миллиардов световых лет: это означает, что он может за несколько лет своей жизни приблизиться к границе Вселенной и изучить ситуацию в ранней Вселенной вскоре после Биг Бэнга.**

4. Могут ли мысленные полеты стать реальными ?

Я не думаю, что описанный вариант с протоном 10^{19} эВ может быть реализован даже в ближайшие миллионы лет, но варианты с космическими кораблями, которые соответствуют энергиям протонов КЛ с энергиями 2, 10 и 100 биллионов эВ (сжатие в направлении движения в 2, 10 и 100 раз) вполне реальны в ближайшие тысячелетия. В докладе мы рассматриваем также возможности ускорения и радиационную опасность для релятивистских космических кораблей со скоростями, соответствующих различным энергиям протонов КЛ.

- БОЛЬШОЕ СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ