

ПРАВИЛЬНЫ ЛИ НАШИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МОДУЛЯЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ГЕЛИОСФЕРЕ?

Стожков Ю.И., Махмутов В.С., Свиржевская А.К.,
Свиржевский Н.С.

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
37 ВККЛ, Москва, stozhkovyi@lebedev.ru*

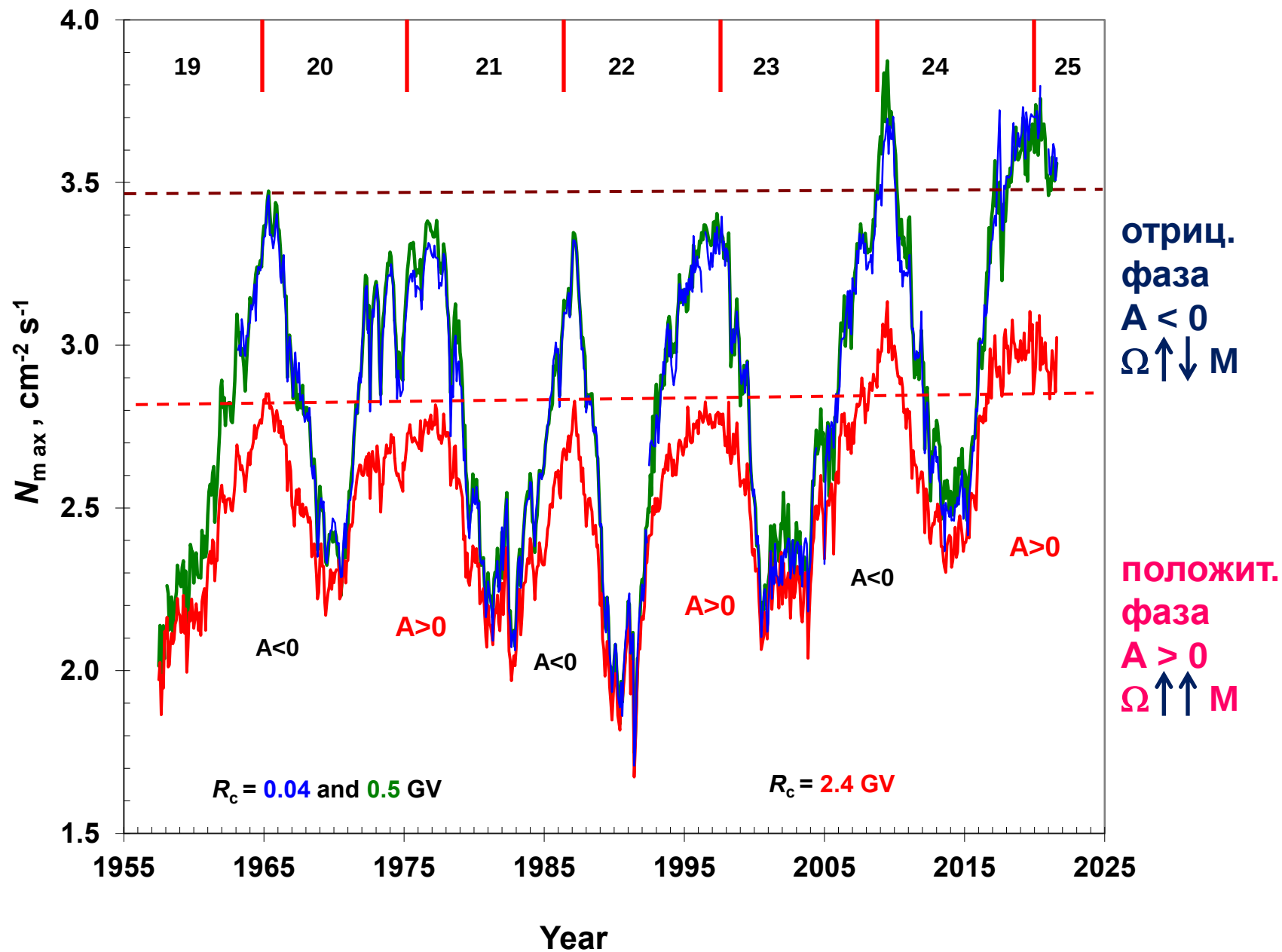
37 Всероссийская конференция по космическим лучам
НИИЯФ МГУ, 27 июня - 2 июля, 2021

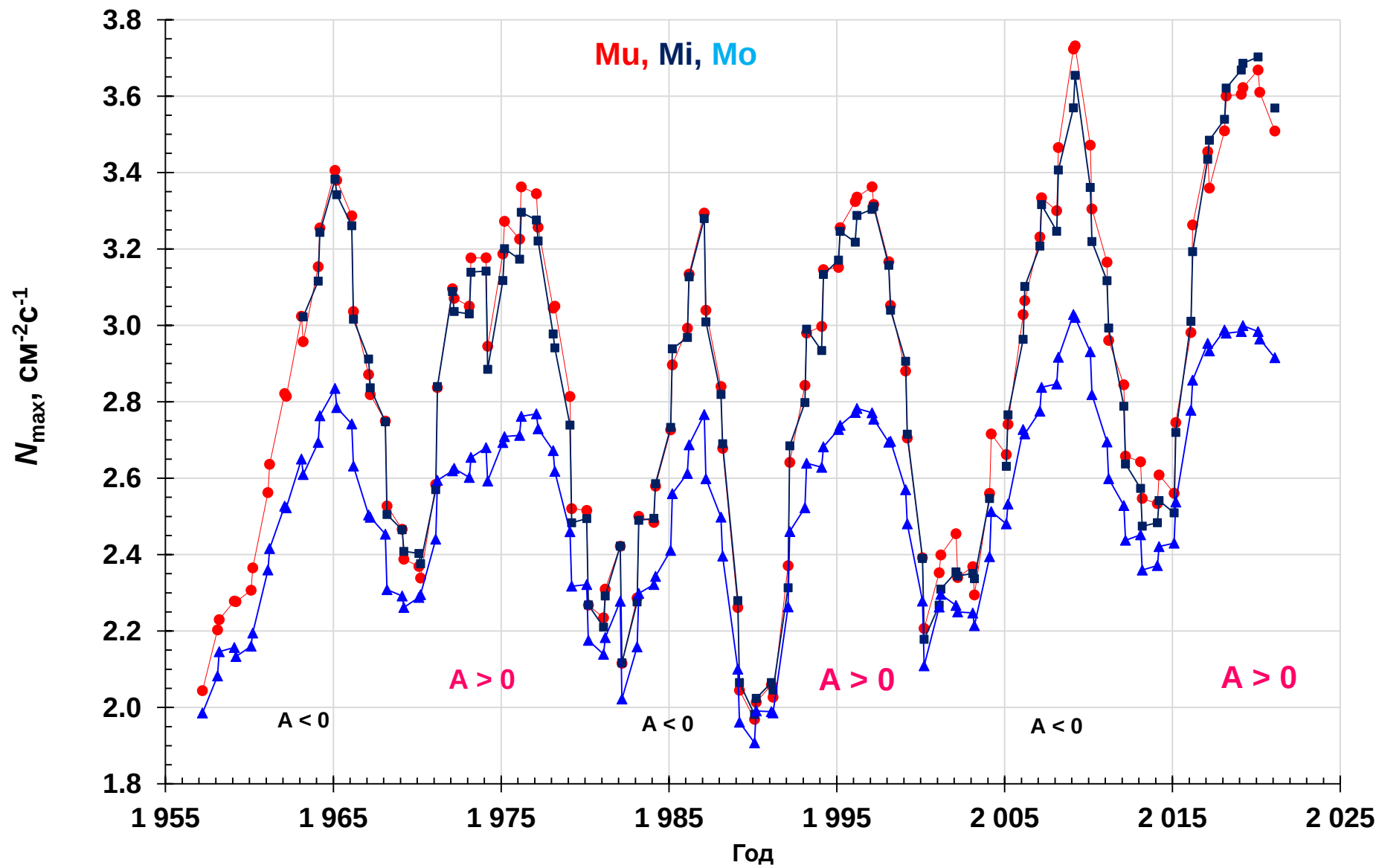
Абстракт

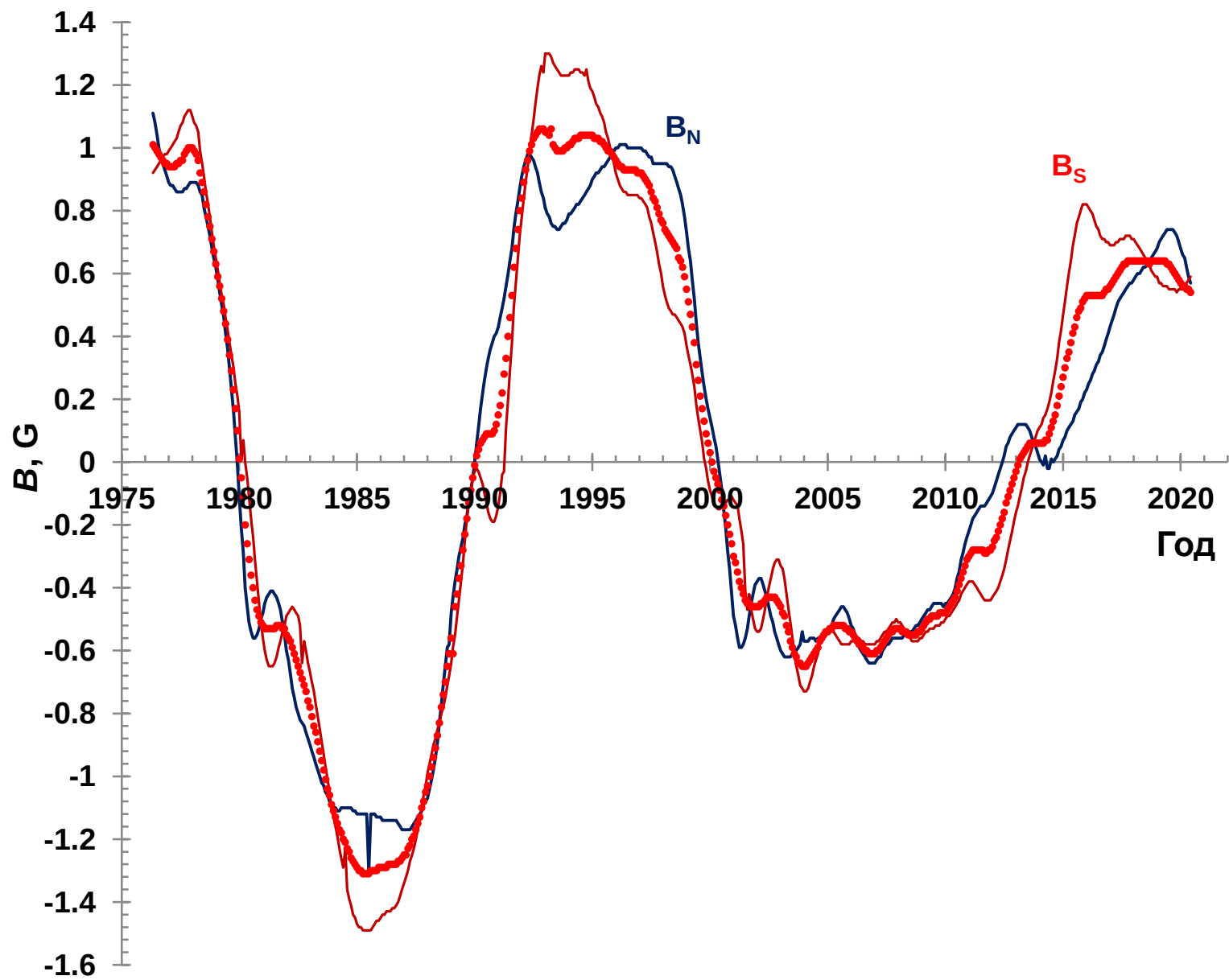
Модуляция КЛ в гелиосфере включает себя диффузию частиц из галактического пространства в гелиосферу, конвективный вынос частиц солнечным ветром, адиабатические потери энергии частиц, а также дрейфы частиц в неоднородном магнитном поле. От знака заряда частицы зависит направление скорости дрейфа.

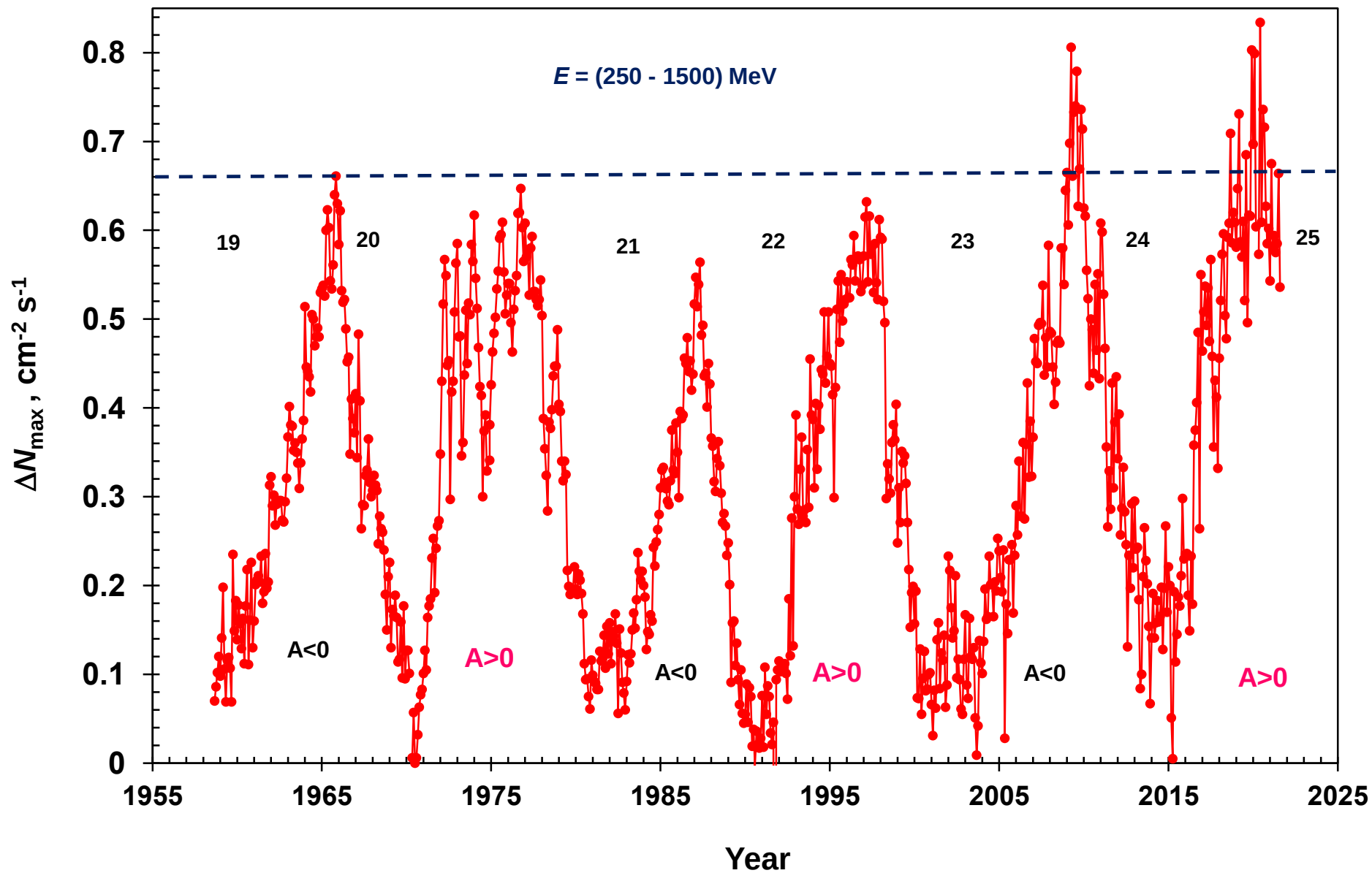
В 22-летнем солнечном магнитном цикле наблюдаются пикообразные и платообразные временные зависимости потоков ГКЛ. Для протонов и ядер пикообразные зависимости наблюдаются в отрицательные фазы 22-летнего солнечного магнитного цикла, когда $\Omega \uparrow \downarrow M$, где Ω - вектор угловой скорости сращения Солнца, M – направление вектора магнитного момента Солнца. Платообразные временные зависимости для p и ядер наблюдаются в положительные фазы, когда $\Omega \uparrow \uparrow M$. Согласно общепринятой теории для электронов картина должна меняться на противоположную.

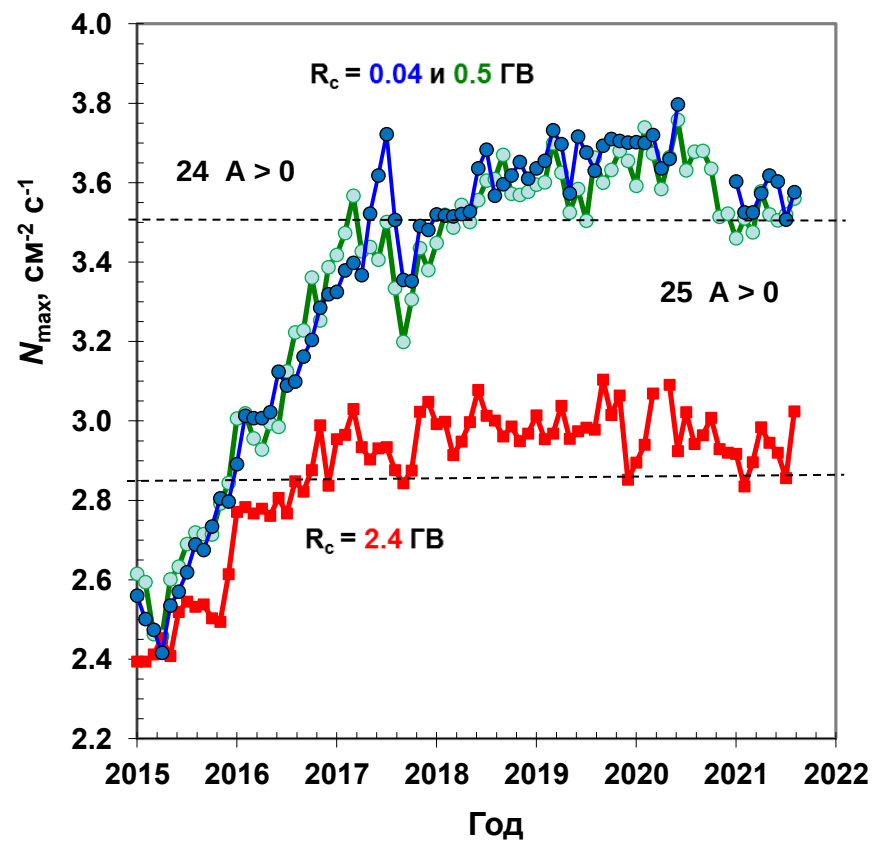
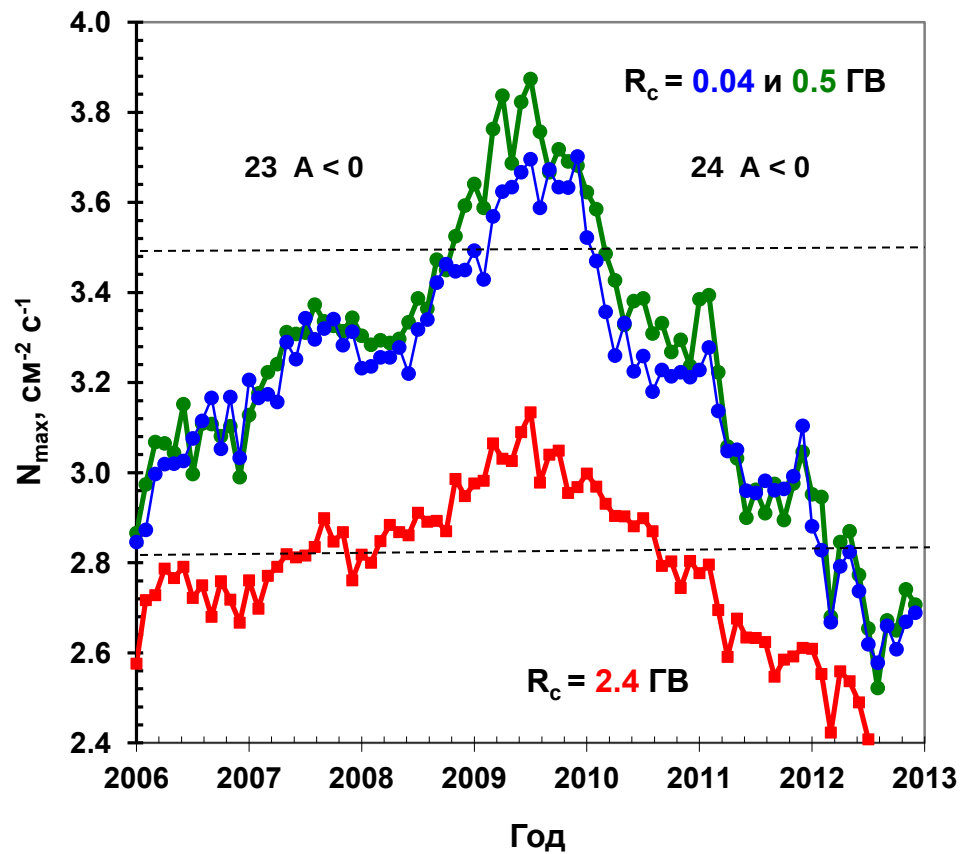
К настоящему времени имеются данные о временном ходе потока e^- в разные фазы 22-летнего солнечного магнитного цикла. Временные зависимости потоков e^- и p практически совпадают. Наблюдается явное противоречие теории и эксперимента. Объяснение: в отрицательные фазы 22-летнего солнечного магнитного цикла происходит пересоединение силовых линий солнечного и галактических магнитных полей («открытая гелиосфера»). p , ядра и e^- свободно попадают из галактической среды в гелиосферу и их временные зависимости имеют пикообразную форму. В положительные фазы пересоединение магнитных силовых линий отсутствует и на границе «гелиосфера – галактическая среда» образуется магнитный барьер («закрытая гелиосфера»), который ответственен за наблюдаемую платообразную временную зависимость для частиц с разными по знаку электрическими зарядами.

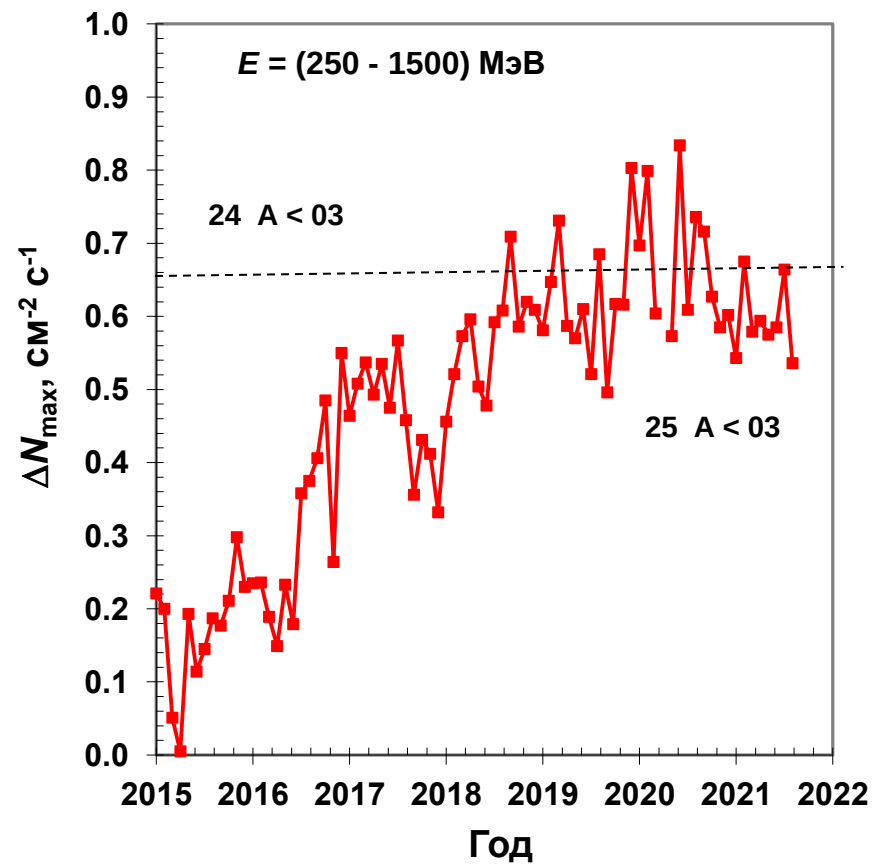
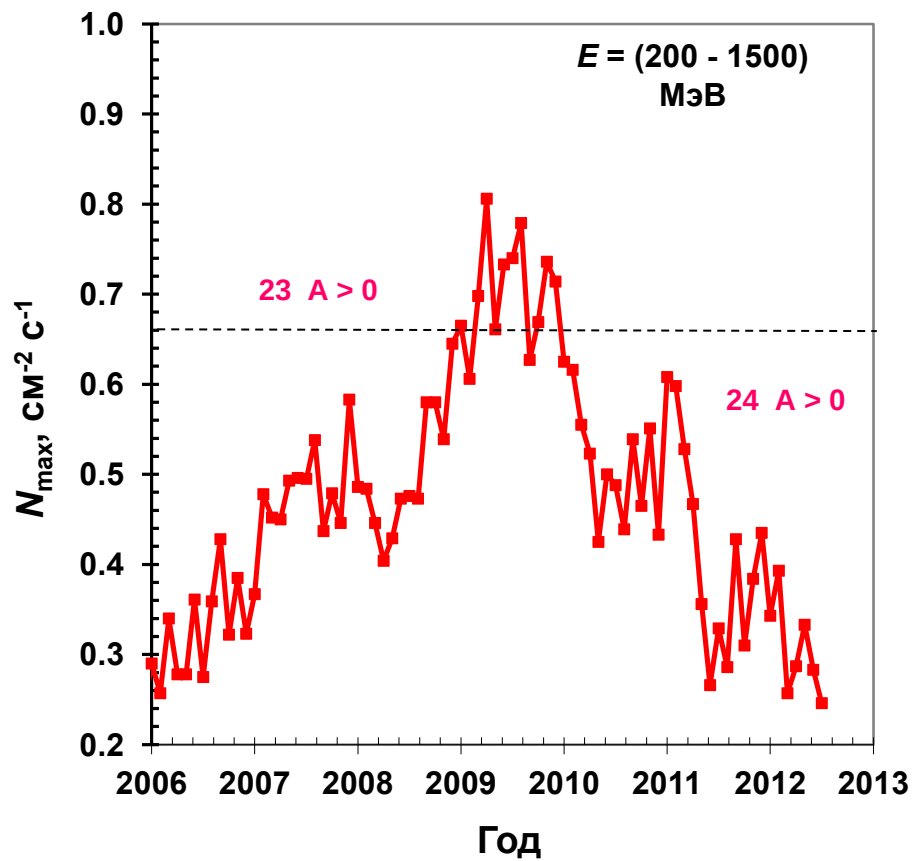












Какие физические процессы ответственны за модуляцию КЛ?

1. Диффузия
2. Конвекция
3. Адиабатическое охлаждение
4. Дрейф частиц

Градиентный дрейф

$$\omega_B = qB/\gamma mc$$

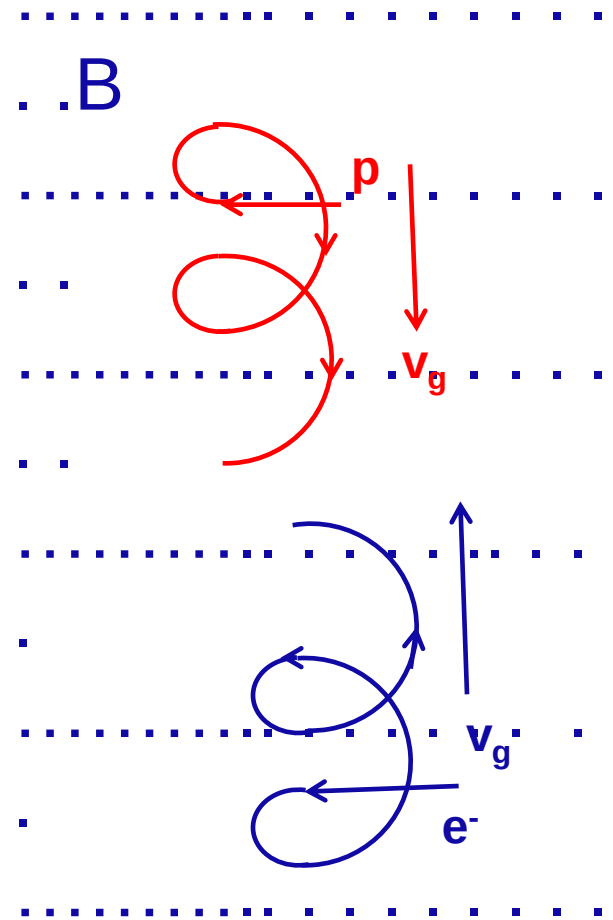
$$\mathbf{v}_g = [(\alpha^2 \omega_B)/(2B^2)] \cdot [\mathbf{B} \times \nabla_{\perp} B]$$

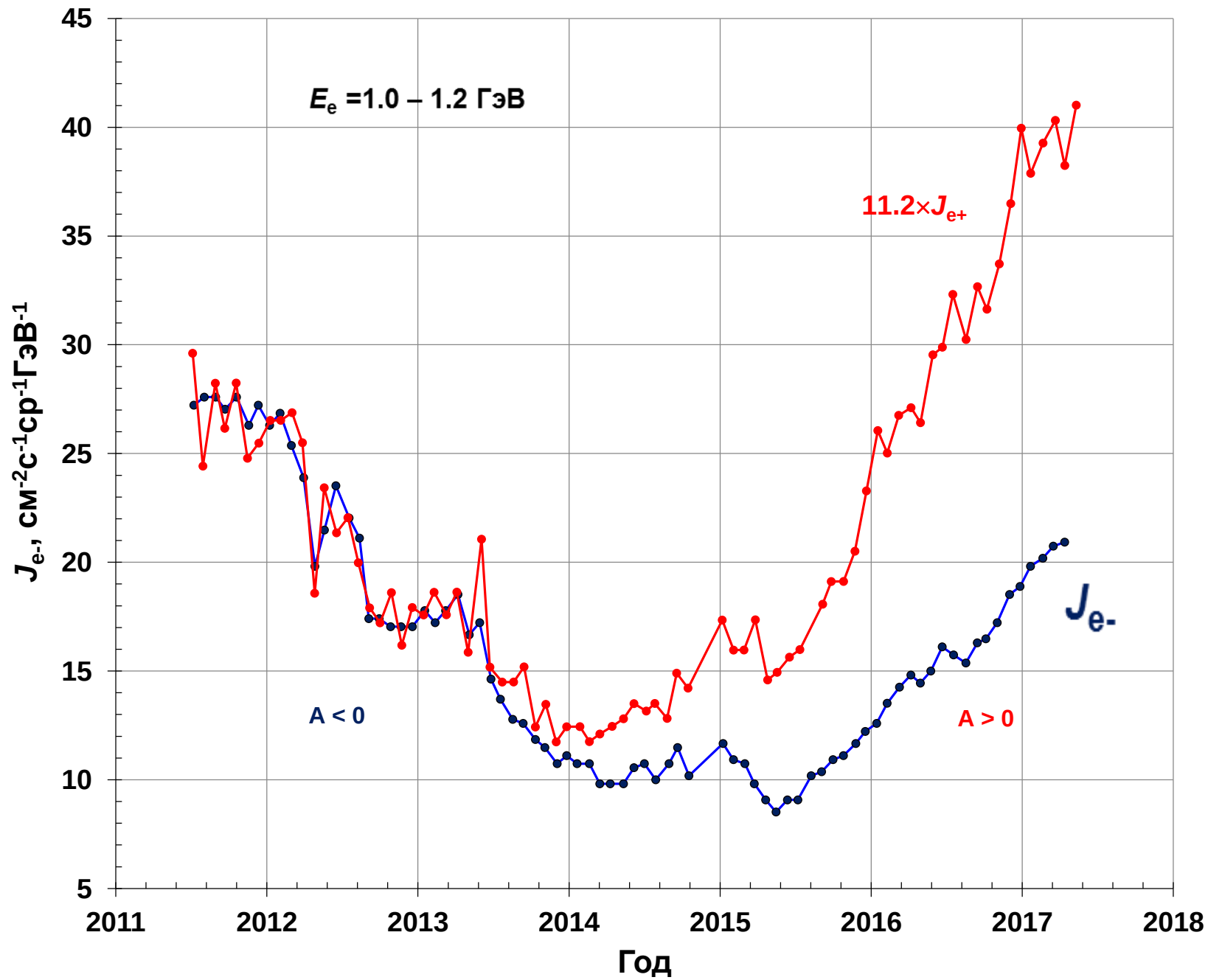
$$r = p_{\perp} c/(qB)$$

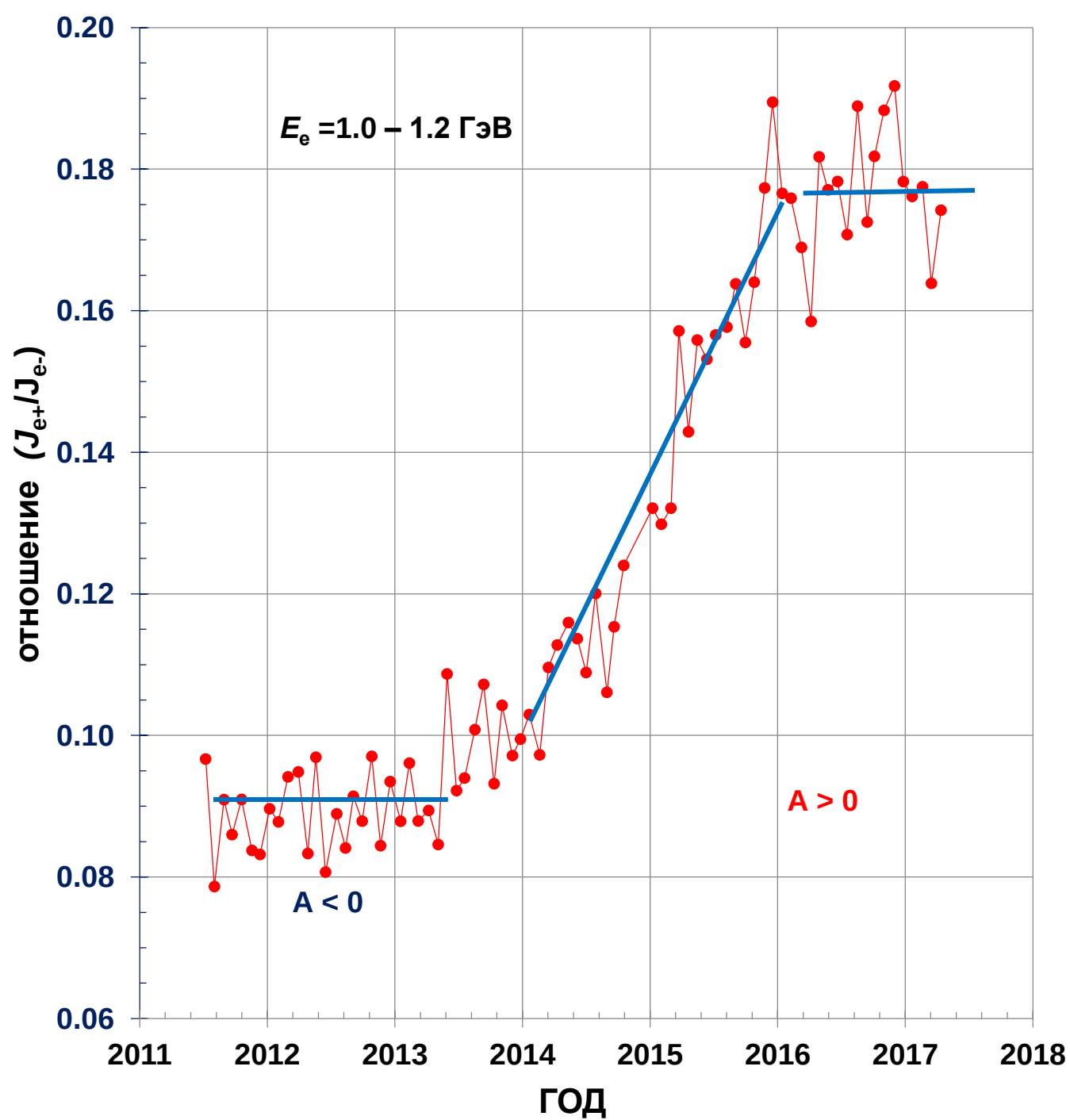
Центробежный дрейф

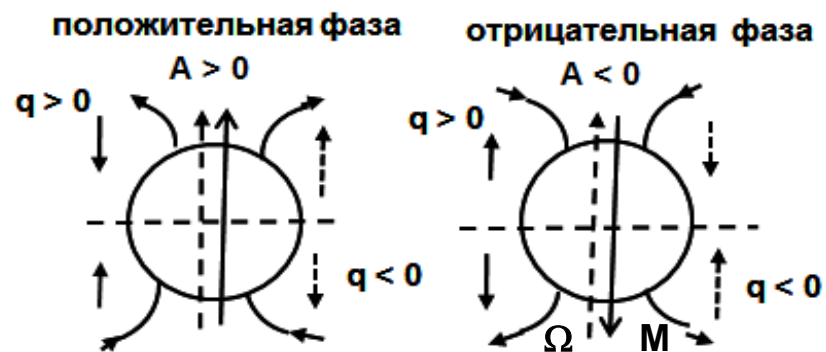
$$\mathbf{v}_c = (c\gamma m/q) \cdot v_{\parallel} \cdot [\mathbf{R} \times \mathbf{B}]/(R^2 B^2)$$

← grad B

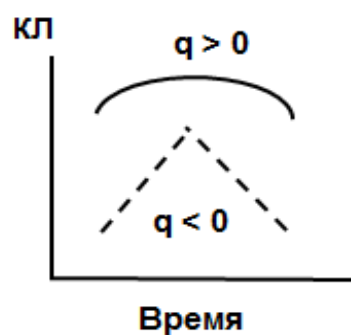




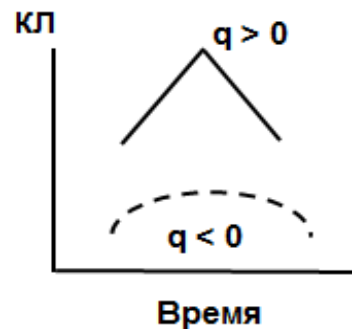




$A > 0$ или $\Omega \uparrow \uparrow M$

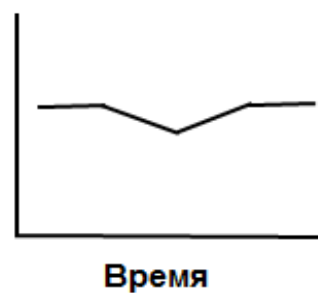


$A < 0$ или $\Omega \uparrow \downarrow M$



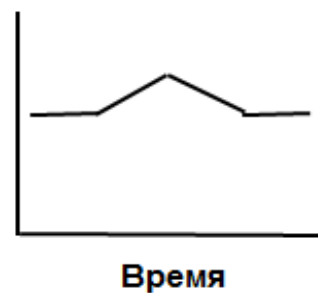
$\Omega \uparrow \uparrow M$

отношение $[N(q>0)/N(q<0)]$



$\Omega \uparrow \downarrow M$

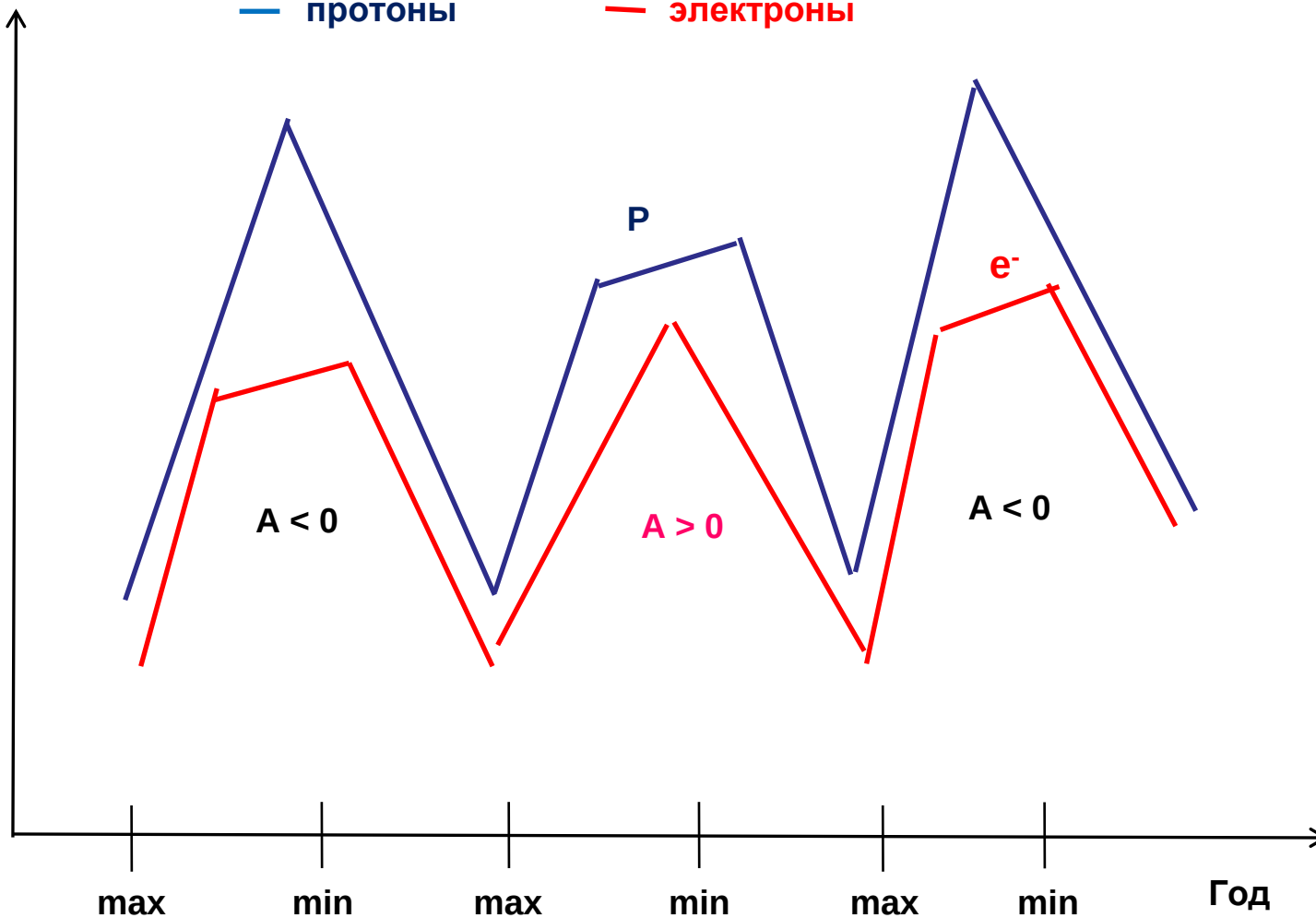
отношение $[N(q>0)/N(q<0)]$

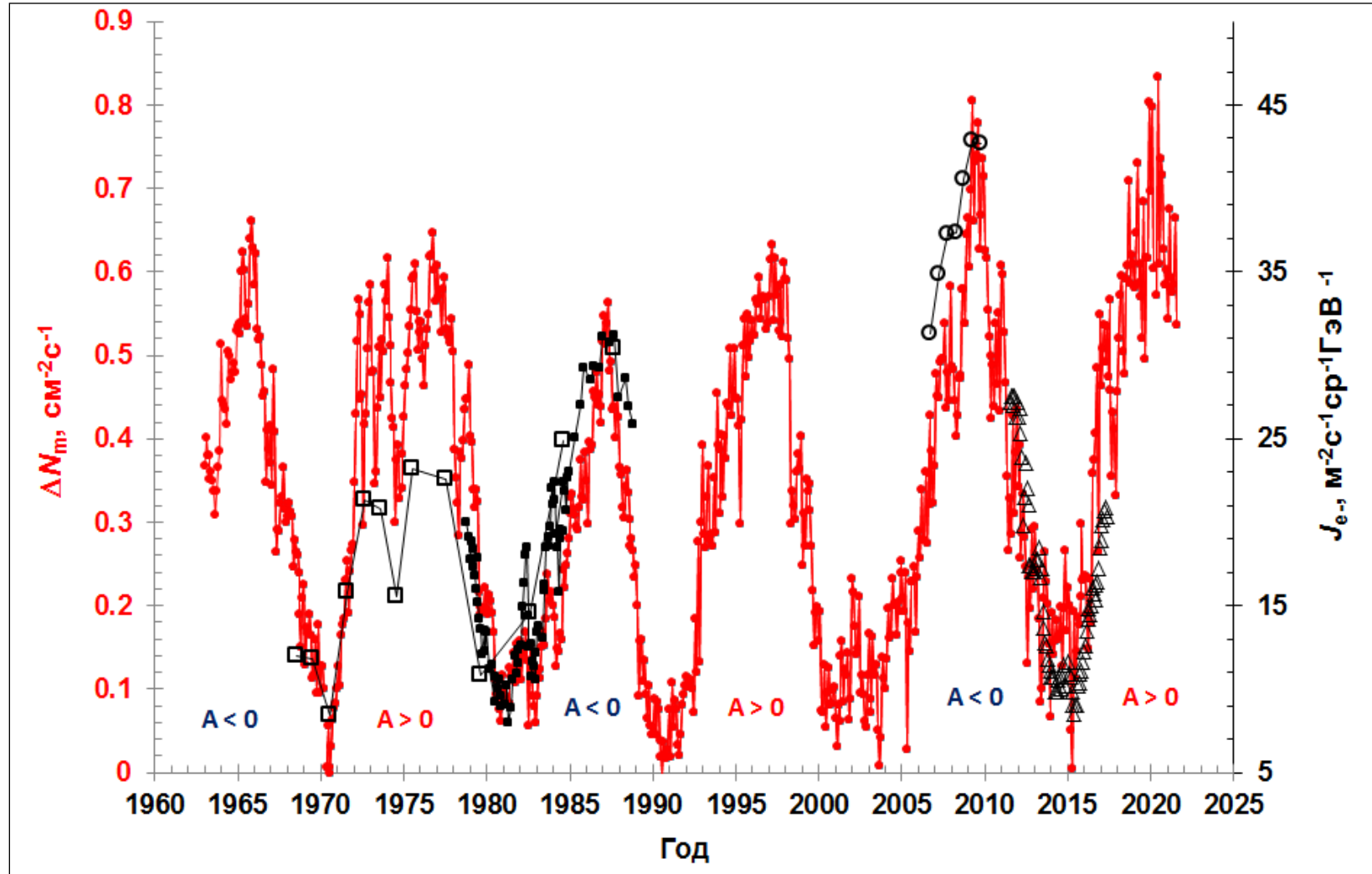


КЛ

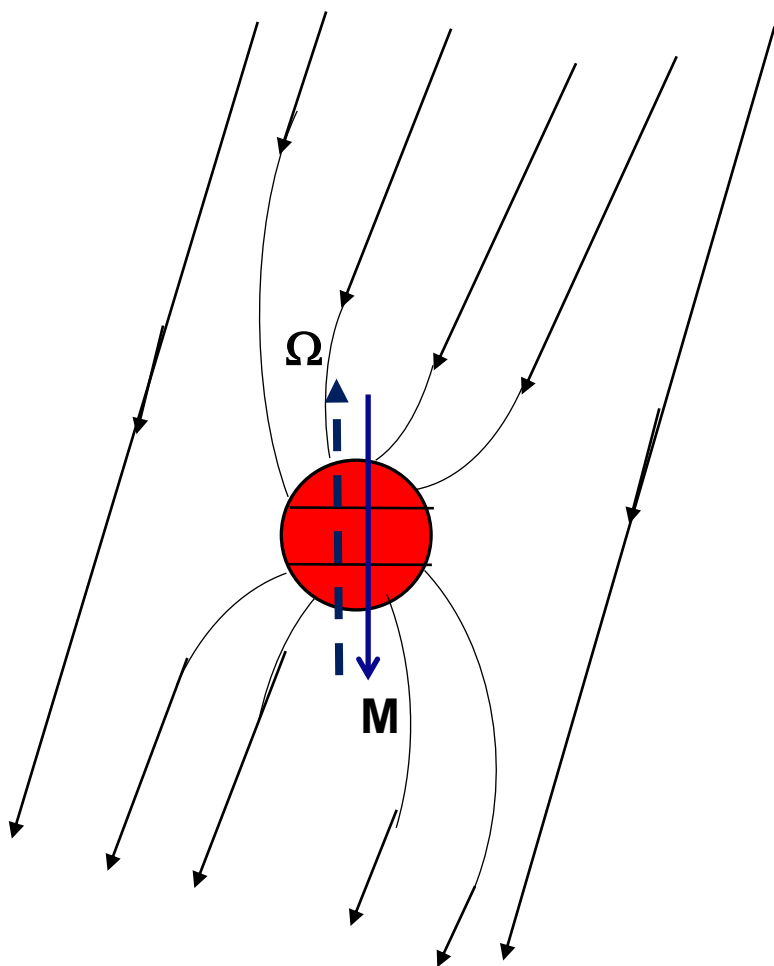
— протоны

— электроны

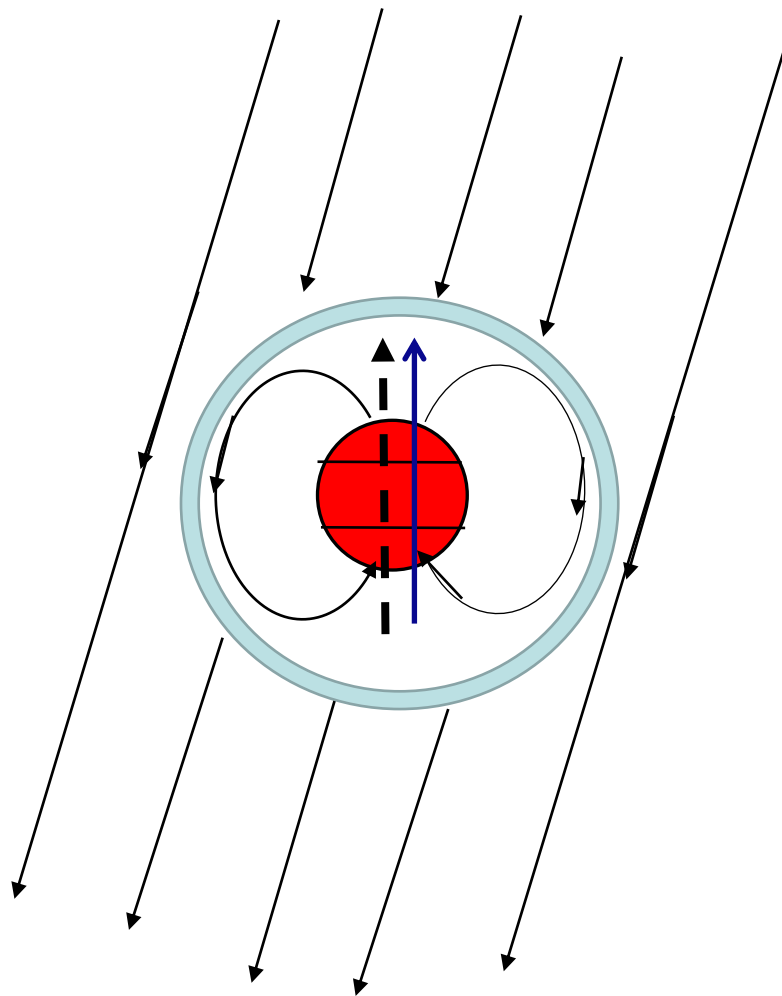




Временной ход потока вторичных частиц в атмосфере, образованных первичными протонами с энергиями (250 – 1500) МэВ с 1962 г. по настоящее время (среднемесячные значения, красные точки, левая ось) и поток электронов (темные значки, правая ось): $\square$ - электроны с $E_e = (0.9 - 1.1)$ ГэВ на баллонах; $\bullet$ - электроны с энергией с $E_e = (0.9 - 1.1)$ ГэВ на спутнике; $\circ$ - электроны с энергией с $E_e = (0.9 - 1.1)$ ГэВ (эксперимент ПАМЕЛА); Δ - электроны с энергией с $E_e = (1.0 - 1.2)$ ГэВ (эксперимент на МКС, спектрометр AMS-02).



а) открытая гелиосфера



б) закрытая гелиосфера

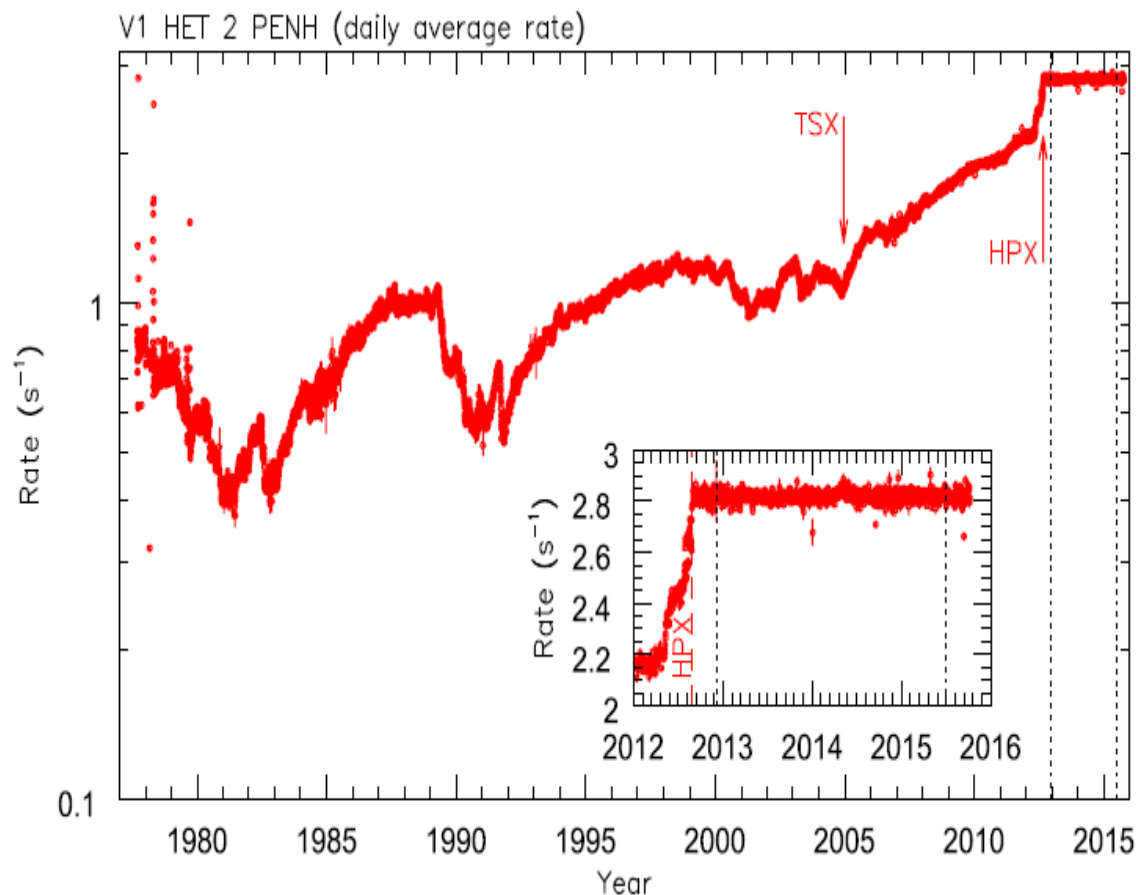


Figure shows the counting rate of GCRs from the High Energy Telescope 2 on the V1 Cosmic Ray Subsystem (CRS) instrument (Stone et al. 1977) from day 251 of 1977 to day 280 of 2015 (1977/251–2015/280). The crossing of the solar wind termination shock is labeled by TSX (~ 85 a.e.) and that of the heliopause by HPX (~ 120 a.e.) It is an integral counting rate of GCR nuclei with energy ≥ 170 MeV and of electrons ≥ 15 MeV (dominated by protons).

The new Voyager observations in the LISM reported here show that the gradient of protons is very low, consistent with zero with a 1σ upper limit of $0.06\% / \text{AU}$. The total energy density among the models ranges from 0.83 to 1.02 eV cm^{-3} .

A.C. Cummings, E. C. Stone, B. C. Heikkila, N. Lal, et al. **GALACTIC COSMIC RAYS IN THE LOCAL INTERSTELLAR MEDIUM: VOYAGER 1 OBSERVATIONS AND MODEL RESULTS.** Ap.J., 831:18 (21pp), 2016 November 1 doi:10.3847/0004-637X/831/1/1

Выводы

Модуляция КЛ в гелиосфере включает себя диффузию частиц из галактического пространства в гелиосферу, конвективный вынос частиц солнечным ветром, адиабатические потери энергии частиц, а также дрейфы частиц в неоднородном магнитном поле. От знака заряда частицы зависит направление скорости дрейфа.

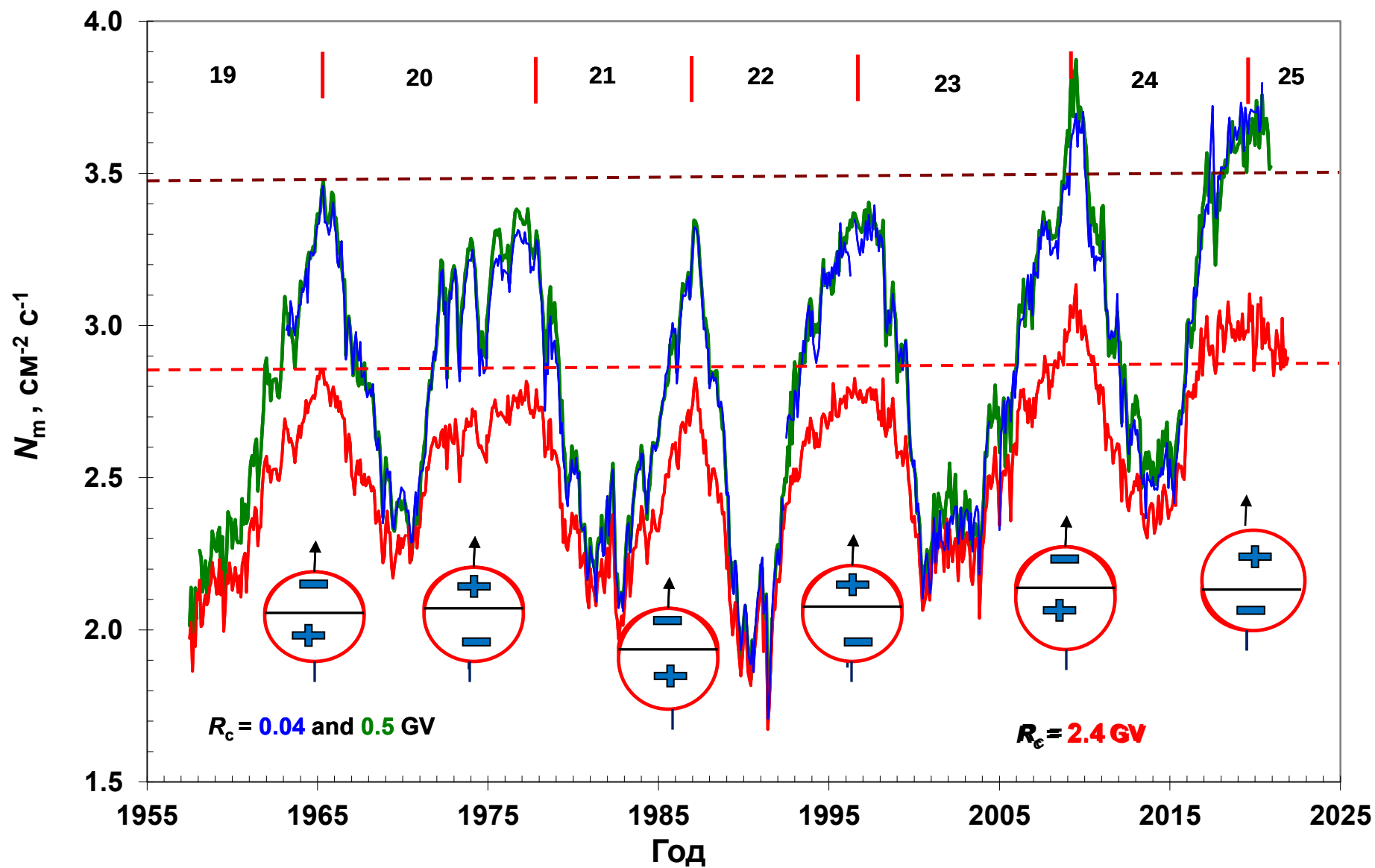
Согласно теории дрейфы определяют платообразную временную зависимость для P и ядер и пикообразную зависимость для e^- в положительную фазу 22-летнего магнитного цикла когда $\Omega \uparrow \uparrow M$, где Ω - вектор угловой скорости вращения Солнца, M – направление вектора магнитного момента Солнца. В отрицательную фазу $\Omega \downarrow \downarrow M$ картина меняется на противоположную.

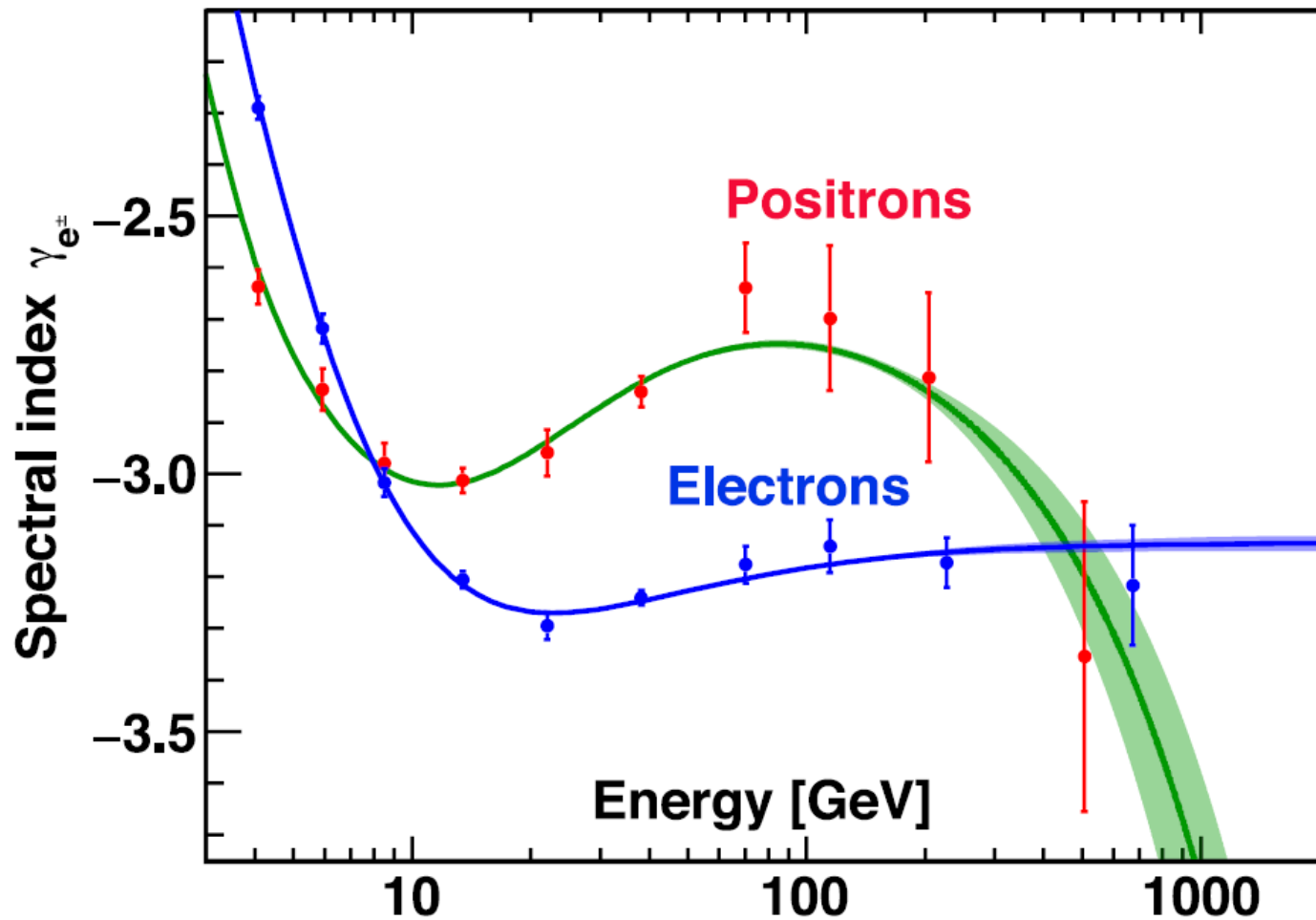
Эксперименти: Временные зависимости потоков e^- и p практически совпадают. Наблюдается явное противоречие теории и эксперимента.

Объяснение: в отрицательные фазы 22-летнего солнечного магнитного цикла происходит пересоединение силовых линий солнечного и галактического магнитных полей («открытая гелиосфера»). P , ядра и e^- свободно попадают из галактической среды в гелиосферу и их временные зависимости имеют пикообразную форму. В положительные фазы пересоединение магнитных силовых линий отсутствует и на границе «гелиосфера – галактическая среда» образуется магнитный барьер («закрытая гелиосфера»), который ответственен за наблюдаемую платообразную временную зависимость для частиц с разными по знаку электрическими зарядами.

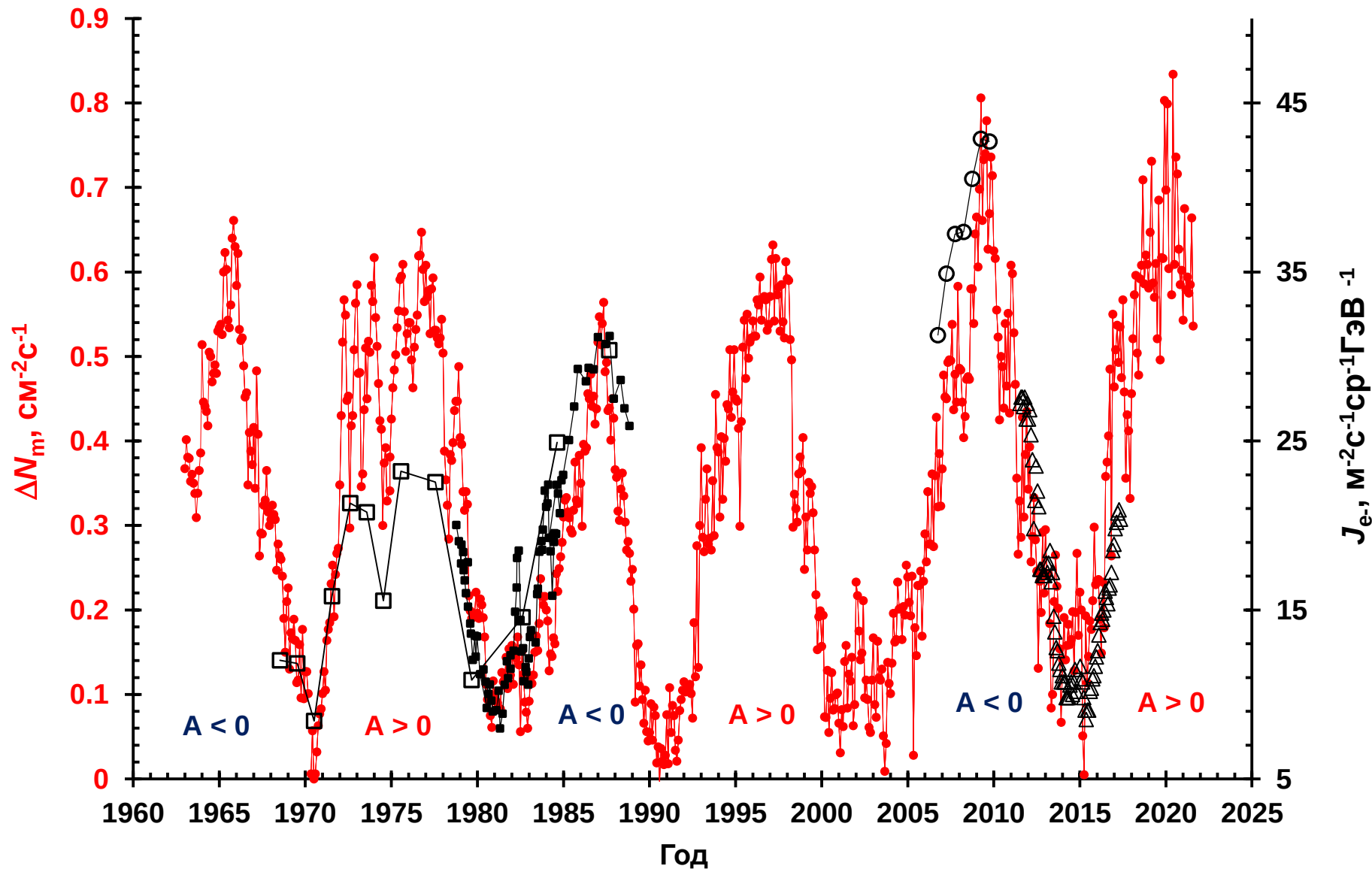
СПАСИБО





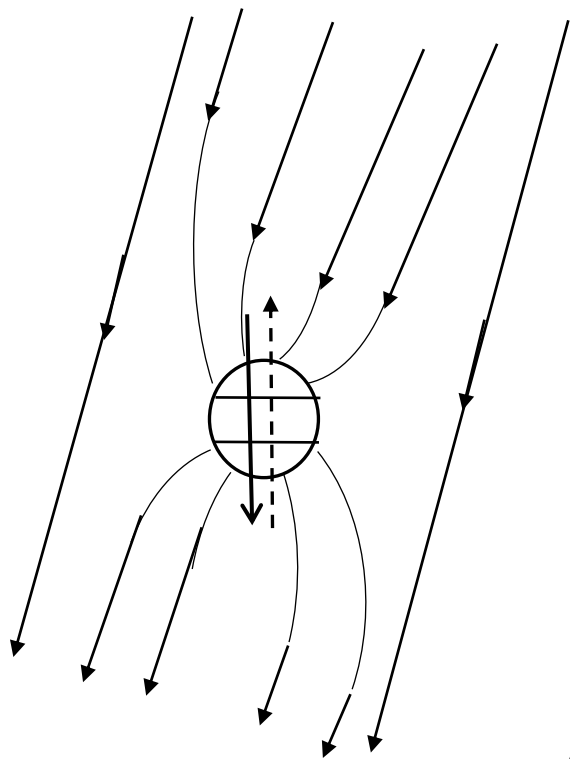


The spectral indices of the electron flux Φ_{e^-} and of the positron flux Φ_{e^+} as a function of energy. The models (Eqs. (5) and (10)) that fit the positron and electron data are represented by the green line and the blue line, respectively. The corresponding bands are at 68% C.L. of the model parameters. (M. Aguilar, L. Ali Cavazonza, G. Ambrosi et al. The Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) on the international space station: Part II— Results from the first seven years. Physics Reports, 2021, 894, 1 - 116).

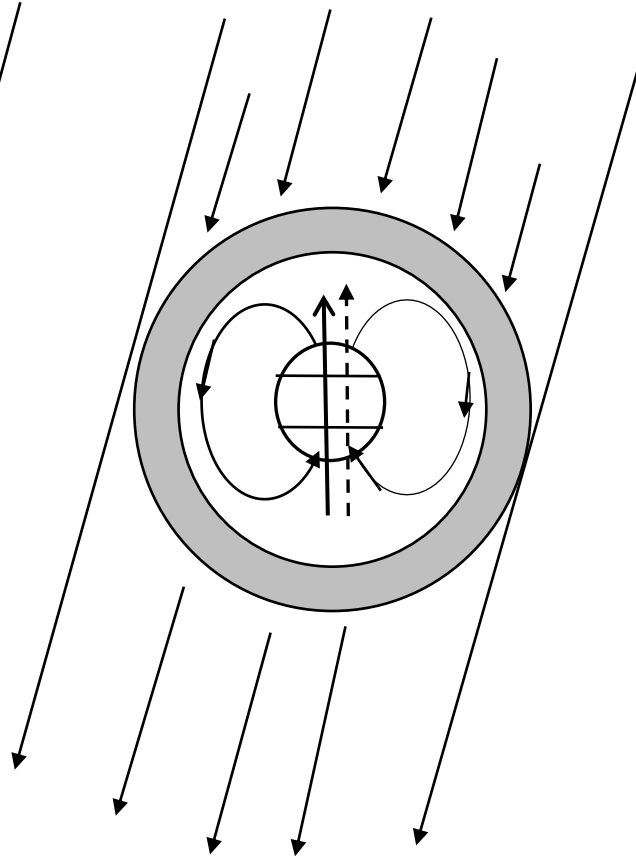


• - cosmic rays with $E = 0.2 - 1.5$ GeV (FIAN); $\square$ - balloons (e-); $\blacksquare$ - LEE instrument (e-) ; $\circ$ - electrons with $E = 0.9 - 1.1$ GeV (PAMELA); $\triangle$ - AMS-02.

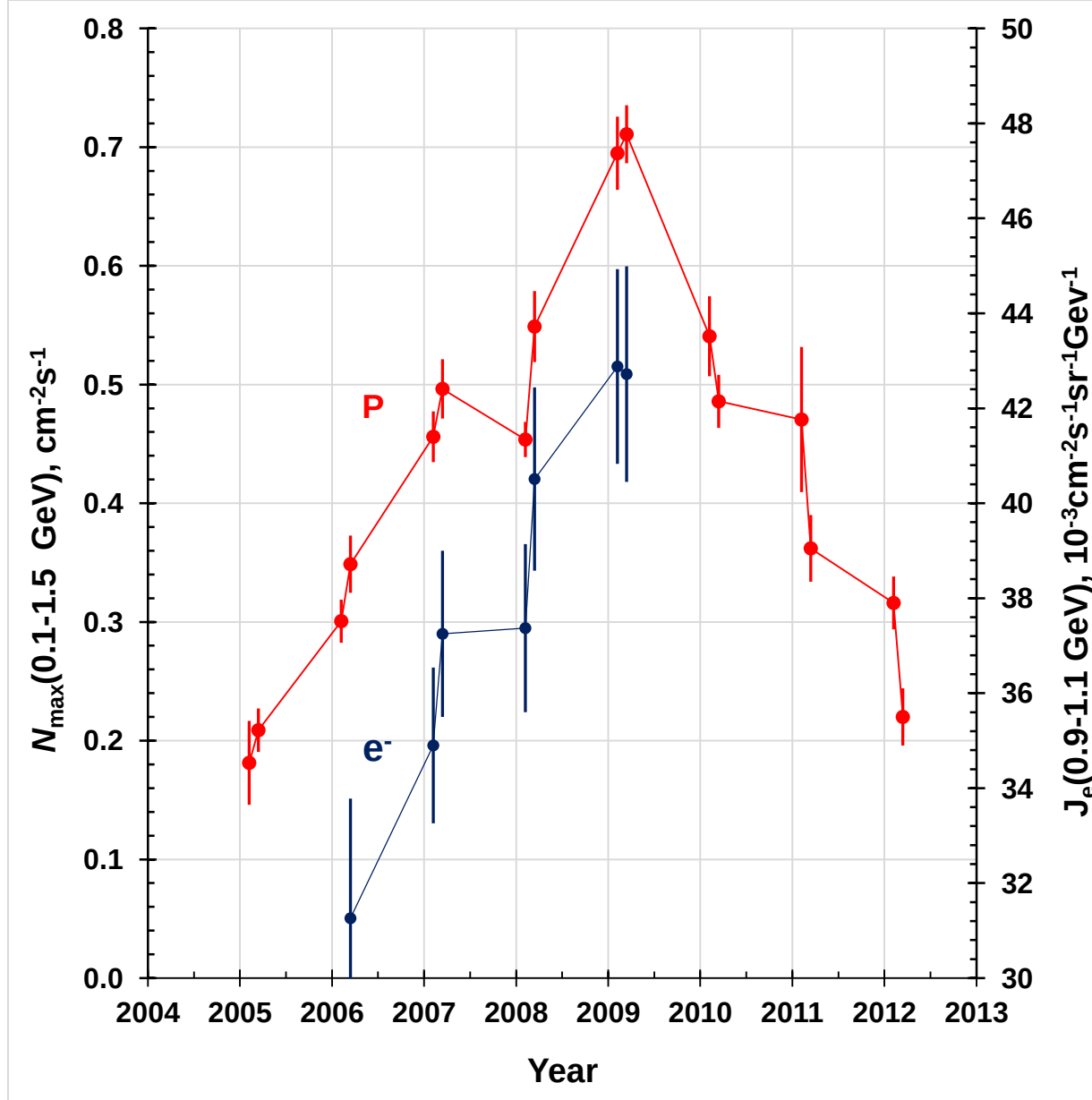
Галактическое магнитное поле



а) открытая гелиосфера

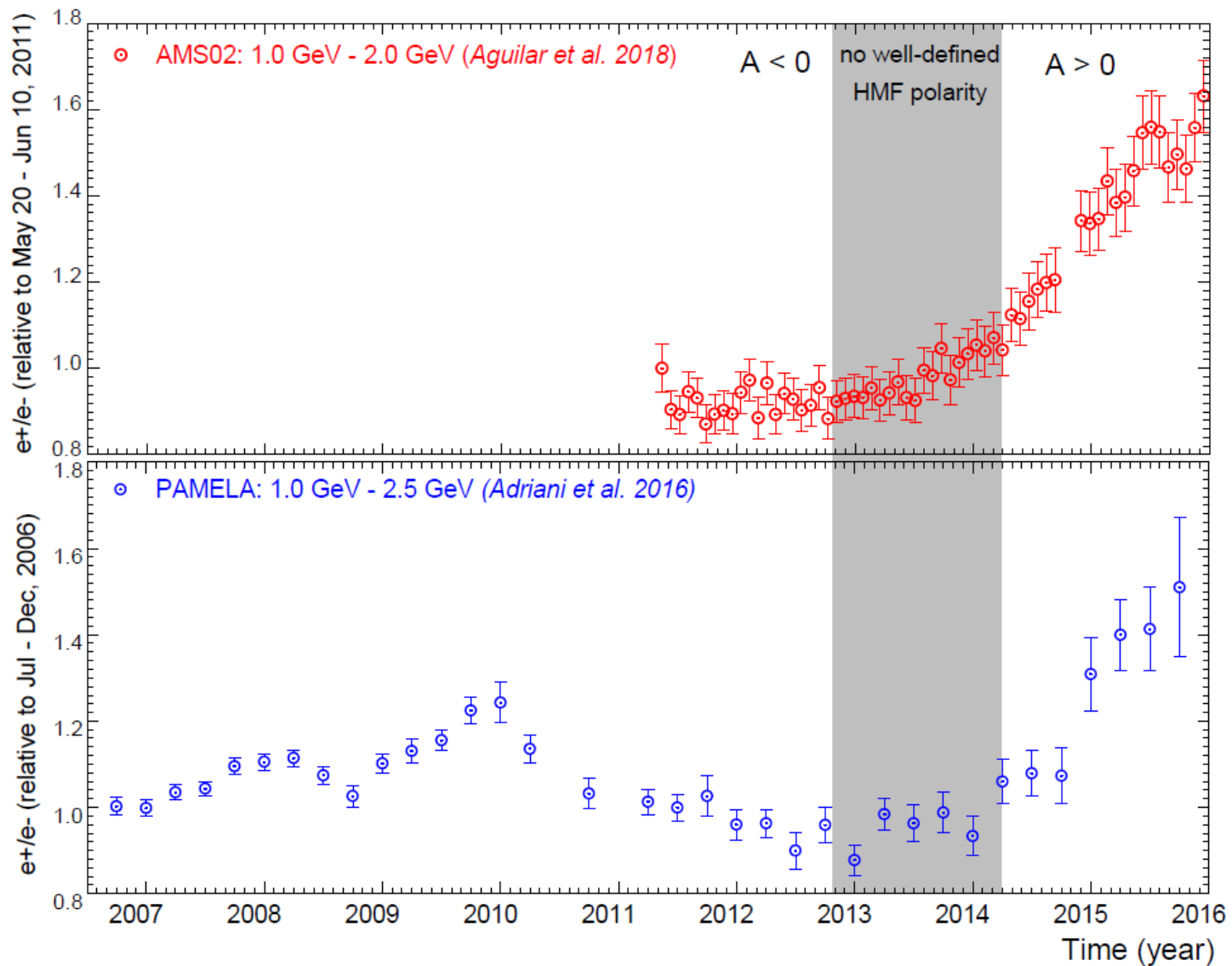


б) закрытая гелиосфера



O. Adriani, G. C. Barbarino, G. A. Bazilevskay, et al. TIME DEPENDENCE OF THE e⁻ FLUX MEASURED BY PAMELA DURING THE 2006 JULY–2009

DECEMBER SOLAR
MINIMUM



Top panel: Modeling of e^+/e^- (solid line, with standard error of mean) is shown in direct comparison with AMS02 observations for the KE range of 1.0 GeV - 2.0 GeV (red dots; Aguilar et al. 2018b). These observations are averaged over Bartel rotations for May 2011 - December 2015. Both ratios are normalized with respect to May 2011. **Bottom Panel:** Observed e^+/e^- by PAMELA over a KE range of 1.0 GeV - 2.5 GeV (blue dots; Adriani et al. 2016a), averaged over 3-months for July 2006 - December 2015, is compared with the computed e^+/e^- over the KE range of 1.0 GeV - 2.0 GeV (solid line, standard error of mean). Here both ratios are normalized with respect to July- December 2006. As before the shaded regions indicate the period without a well-dened HMF polarity. (O.P.M. Aslam,1 D. Bisschoff,1 M. D. Ngoben, et al. Time and Charge-Sign Dependence of the Heliospheric Modulation of Cosmic Rays. *Adv. Space Res.* 2021, 2021, 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.05.022>)

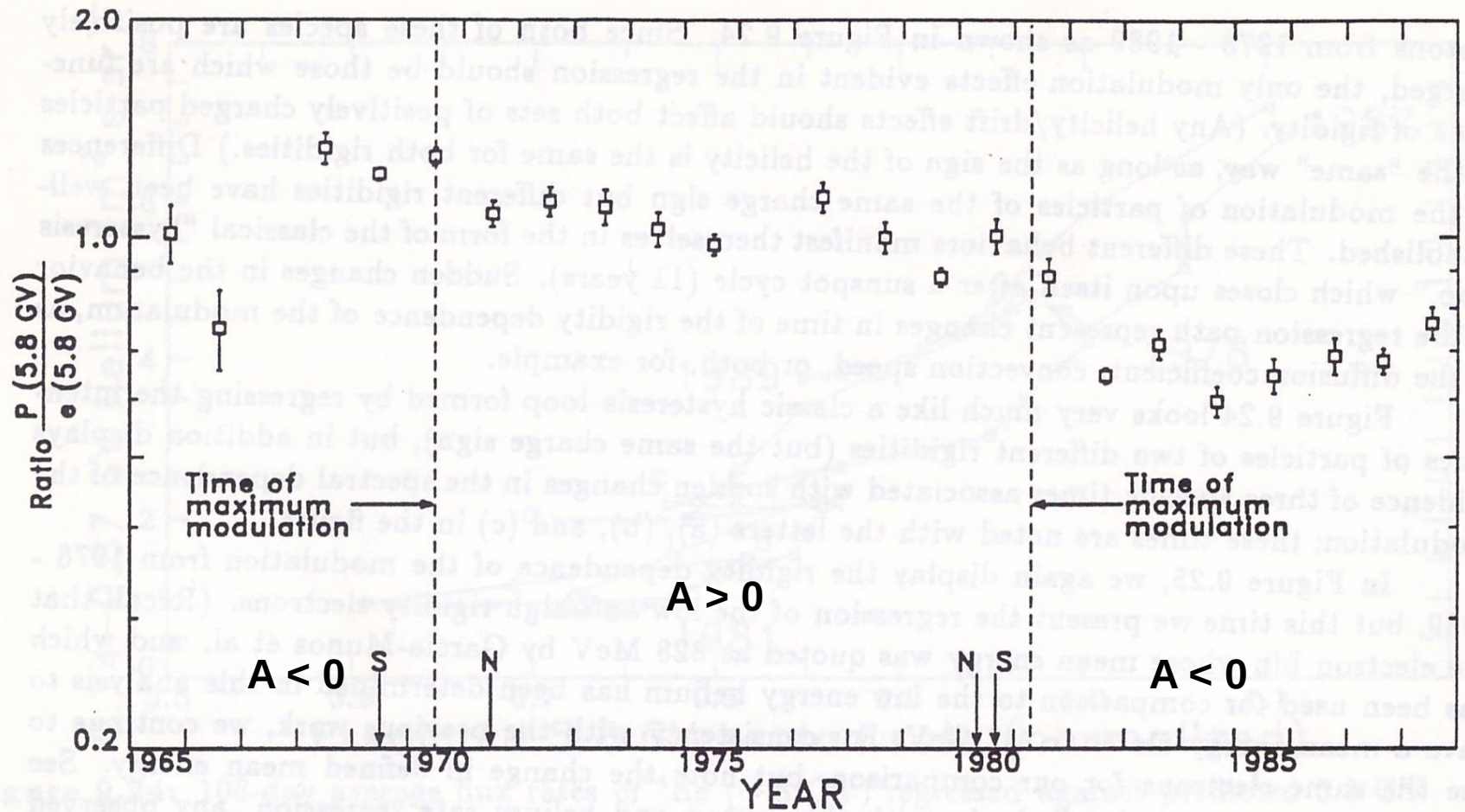


Figure 9.23: Ratio of proton to electron intensity from 1965 - 1988. Pre-1968 electron data are from Bleeker et al. (1968).