

5-mavzu: Koinot nurlari xarakteristikalarini. Luivill teoremasi. Quyosh koinot nurlari, Quyosh shamoli, xususiyatlari.

Tayanch iboralar: koinot nurlari, Luivill teoremasi, Quyosh koinot nurlari, Quyosh shamoli.

Koinot nurlarining muhim xarakteristikalaridan biri uning intensivligidir. Intensivlik deganida ma'lum yo'nalishga perpendikulyar bo'lgan birlik yuzadan vaqt va jism burchagi birligida o'tgan E dan $E + dE$ gacha energiyali zarralar soni tushuniladi.

$$J = dN / d\delta d\Omega dt dE (sm^2 \cdot s \cdot sr \cdot GeV)^{-1}$$

Bu yerda, $d\delta$ —, $d\Omega$ —, dt —, yuza, jism burchagi va vaqtelementlari. Intensivlikdan tashqari zarrachalar oqimi tushunchasi ishlatiladi va u birlik yuza orqali vaqt birligida o'tgan zarralar soniga teng bo'ladi.

$$I(E) = \int_{\theta} \int_{\varphi} J(\theta, \varphi, E) \cos\theta d\Omega (sm^2 \cdot s \cdot GeV)^{-1}.$$

Bundan tashqari, birlik energiya intervalidagi zarralar intensivligiga differensial energetik spektr deyiladi, ya'ni

$$J(E) = \frac{dN}{dE}.$$

Shunga o'xshash, differensial impuls spektri

$$J(P) = \frac{dN}{dP} \text{ kabi aniqlanadi.}$$

Koinot nurlanishining muhim xarakteristikalaridan biri δ -anizotropiya darajasidir. Agar biror θ_1 yo'nalishda intensivlik maksimumi - $J_{MAKS}(\theta_1)$, boshqa yo'nalishda esa intensivlik minimumi - $J_{MIN}(\theta_2)$ kuzatilsa, u holda anizotropiya darajasi

$$\delta = 2 \frac{J_{MAKS} - J_{MIN}}{J_{MAKS} + J_{MIN}} \text{ kabi aniqlanadi.}$$

Har bir zarracha holati fazoda 6 ta parametr bilan aniqlanadi x, y, z, p_x, p_y, p_z . Ma'lum $dVdp$ hajmdagi zarralar zichligi esa o'zgarmasdir. Bu tasdiq Luivill teoremasi deyiladi, ya'ni

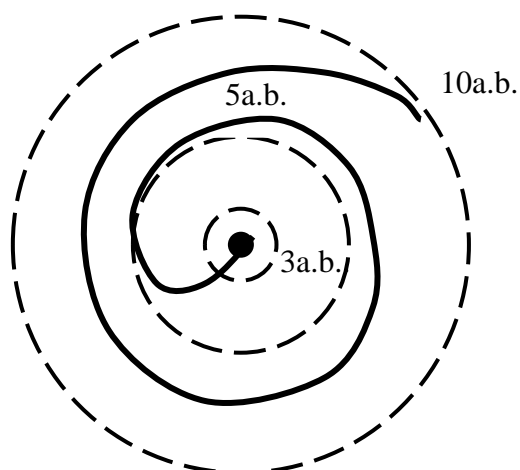
$$n(\vec{r}, \vec{p}) = \frac{dn(\vec{r}, \vec{p})}{dVdp} = const.$$

Izotrop nurlanishda zarralar konsentratsiyasi intensivlik bilan quyidagicha bog'langan $n(E) = 4\pi J(E) / \mathcal{Q}$.

Quyosh shamoli va sayyoralararo muhit. Quyosh koinot nurlari

Quyosh o'z faoliyatida atmosferaga protonlar, turli yadro va elektronlarni chiqaradi. Bu elementlar ionlashgan (plazma shaklida) bo'ladi va ular oqimi umuman olganda neytral bo'ladi. 1958 yili bunday ionlashgan plazma oqimi nazariyasini amerikalik astrofizik Parker yaratdi va Quyosh plazmasining harakatini Quyosh shamoli deb atadi. Quyosh shamoli tezligi 10^3 km/s ga etadi, lekin zarralar zichligi oz bo'lib, $5 \div 10 \text{ sm}^{-3}$ miqdorda bo'ladi. Quyosh shamoli tezligi va zichligi doimiy emas. Uning o'rtacha tezligi, $\langle \mathcal{Q} \rangle \approx 320 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, o'rtacha zichligi esa 8 sm^{-3} ga teng. Lekin zichlik ayrim paytlar 10 barabar kam bo'lishi yoki $\approx 50 \text{ sm}^{-3}$ gacha

yetishi mumkin. Yer sirtida esa protonlar oqimi $\langle I \rangle \approx 2,5 \cdot 10^8 \text{ sm}^{-2} \cdot \text{c}^{-1}$ ga teng bo'ladi. Zarralar zichligi Quyoshdan uzoqlashgan sayin $\frac{1}{r^2}$ kabi kamayadi, tezligi esa deyarli o'zgarmaydi. Quyosh shamolining umumiy oqimi kinetik energiyasi $10^{28} \frac{\text{erg}}{\text{s}}$ ra teng. Quyosh shamoli tarkibida Quyosh sirtidagi barcha elementlar bor, masalan, $i_\alpha \approx 0,05 i_\delta$, $i_{z>2} \leq 5 \cdot 10^{-4}$, yani α -zarralar p -protonlar oqimining 5% ini yoki tartib nomeri 2 dan yuqori bo'lgan yadrolar umumiy oqimining $5 \cdot 10^{-4}$ qismini tashkil qiladi. Quyosh shamoli o'zi bilan Quyosh magnit maydoni kuch chiziqlarini «olib ketadi», Quyoshning o'z o'qi atrofida aylanishi sababli kuch chiziqlari ham spiral ko'rinishda bo'ladi. Bu spiralga Arximed spirali deyiladi. Quyosh magnit maydon kuchlanganligi $10^{-4} \div 10^{-5} \text{Gs}$ ga teng. Magnit maydon energiyasi zichligi uning plazmasi energiyasi zichligidan juda kam bo'lganligi uchun uning magnit maydoni



Quyosh harakatiga sezilarli ta'sir qila olmaydi. Bu o'rinda ayrim astronomik tushunchalarini keltiramiz. Yerdan Quyoshtacha bo'lgan masofa astronomik birlik deyiladi:

$$1a.b. = 1.496 \cdot 10^{11} m$$

Yorug'lik yili deb, $300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ tezlikdagi yorug'lik nurining bir yil mobaynida

bosib o'tgan yo'li tushiniladi $1yo.y. = 9.461 \cdot 10^{12} \text{ km}$.

1 parsek(ps) Yerdan koinotdagi biror nuqttagacha bo'lgan shunday masofakiu yerdan Yerning Quyosh atrofidagi aylanma harakati orbitasi radiusi 1 sekundga teng burchakli yoy bo'lib ko'rinadi

$$1ps = 3.26yo.y. = 3.091 \cdot 10^{16} m$$

Quyoshning magnit maydoni yuqori va pastki yarim sferalarida qarama - qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Har 22 yilda maydon o'z yo'nalishini o'zgartirib turadi. Masalan, 1979 yili yuqori yarim sferada magnit maydon Quyoshdan yuqoriga qarab yo'nalgan bo'lgan.

Quyosh plazmasi yulduzlararo muhit bilan ta'sirlashishi sababli cheksiz kengaya olmaydi. Yulduzlararo muhit esa kosmik nurlar, magnit maydonlari, neytral va ionlashgan gazlardan iborat bo'ladi. Quyoshdan uzoqlashgan sayin plazma konsentratsiyasi kamayadi va uning kengayish tezligi $\approx 400^{km}/_{sek}$ ga yetadi. Galaktika plazmasi oqimi esa $20^{km}/_{sek}$ tezlikka ega. Shu sababli bu ikkala oqim o'zaro ta'sirlashadi. Ichki qismda Quyosh plazmasi, tashqi qismda esa Galaktika oqimi o'zaro tormozlanadi. Quyoshdan shu plazma tormozlanguncha bo'lgan masofa bilan chegaralangan fazoga geliosfera deyiladi. Geliosfera taxminan 25a.b. masofagacha davom etishi kosmik tadqiqotlarda aniqlangan. Geliosferadagi koinot nurlari intensivligi o'zgarib turadi. Bu hodisa 1926 yili aniqlangan va unga koinot nurlari variatsiyasi deyiladi. Umuman har bir konkret vaqtda geliosferadagi koinot nurlari intensivligi ma'lum qiymatga ega bo'ladi. Koinot nurlarining variatsiyasi davriy va nodavriy variatsiyalarga bo'linadi. Koinot nurlarining 22 yillik, 11yillik, yillik, 27 kunlik va sutkalik variatsiyalari davriy variatsiyalarga misol bo'ladi. Magnit bo'ronlari ta'sirlari hamda ikkilamchi nurlarning ham atmosferadagi variatsiyalari aniqlangan. Bunday variatsiyalar asosan birlamchi galaktik nurlanishning Quyosh shamoli bilan o'zaro ta'siridan hosil bo'ladi. Aniqroq aytsak, birlamchi galaktik nurlanishning anizotropiyasi sababli koinot nurlari variatsiyasi kuzatiladi. Kosmik nurlar variatsiyasi Yer yuzida joylashgan 100dan ortiq stansiyalarda to'xtovsiz kuzatish orqali o'rganiladi. Bundan tashqari, havo sharlari va kosmik stansiyalar yordamida ham o'rganiladi. Lekin, Yer yuzida koinot nurlari variatsiyasi kuchsiz o'zgarishi sababli, yuqori aniqlik va sezgirlikka ega bo'lgan asboblari ishlatiladi. Bunga ionizatsion kamera, azimutal teleskop va neytron monitoringi kiradi. Ionizatsion kamera 1,5 m diametrga ega sferik kamera bo'lib, 10 atm. bosimda argon bilan to'ldirilgan bo'ladi. Bu sfera nurlanishning «qattiq» komponentasini 0,7% aniqlikda o'lchashga imkon beradi. Azimutal teleskop ikkita bir xil teleskopdan iborat bo'lib, «qattiq» va «yumshoq» komponentalar intensivligini qayd qiladi. «Qattiq» komponenta qalin qo'rg'oshin to'siq yordamida ajratib olinadi. Teleskoplardan biri sharqdan g'arbga, ikkinchisi janubdan shimolga yo'naltiriladi. Neytron monitoringida neytron sanagich bo'lib, unda ^{10}B izotopi mavjud. Shu sababli neytronlar ^{10}B yadrosiga yutilib, $^{10}B + n \rightarrow ^7L + \alpha + 2.5MeV$ jarayonni yuzaga keltiradi. Neytronlarni qayd qilishga sabab, 1 GeV dan yuqori energiyaga ega bo'lgan birlamchi nuklon va yadrolar atmosfera atom yadrolarini parchalashi natijasida neytronlar hosil bo'ladi. Shu sababli, neytronlarni o'rganish birlamchi nurlarni aniqlashga imkon beradi.

Havo sharlari va kosmik stansiyalar yordamida esa juda kam energiyali birlamchi zarralar variatsiyasini o'rganish mumkin. Yer sirtidagi koinot zarralari variatsiyasi asosan ikkilamchi, ya'ni atmosferada hosil bo'lgan zarralar variatsiyasi orqali aniqlanadi. Lekin birlamchi zarralar variatsiyasi Quyosh yoki Galaktikadagi ayrim zarralarning ko'p miqdorda hosil bo'lishi hisobidan ham bo'lishi mumkin.

Variatsiyalar davriy va nodavriy turlarga ajraladi. Davriy variatsiyalarga 22- va 11-yillik, yillik, 27 kunlik va sutkalik variatsiyalar misol bo'ladi. 22 – yillik variatsiya Quyosh magnit maydoni yo'nalishining 22 - yillik o'zgarishi davri bilan

bog'langan. 11 – yillik variatsiya esa Quyoshning 11 - yillik aktivligi bilan bog'liq. Quyosh aktivligi uning ko'rinadigan sirtidagi dog'lar soni, ular yuzasi, ma'lum diapazondagi radionurlanish oqimi kabi kattaliklar bilan belgilanadi. Quyosh aktivligi yilida Yerdagi kosmik nurlar intensivligi past bo'ladi va teskarisi, yani Quyosh aktivligi bilan koinot nurlari intensivligi orasida manfiy korrelyatsiya, ya'ni antikorrelyatsiya mavjud. Bu esa 11-yillik variatsiya Quyoshda elementlar generatsiyasi bilan emas, balkim geliosferada zarrachalar harakatlanish sharoitining o'zgarishi - kosmik nurlar modulyatsiyasi bilan bog'liqligini ko'rsatadi. 27 -kunlik variatsiya Quyoshning o'z uqi atrofida aylanish davri bilan bog'liq va yuqori energiyali zarrachalar mavjudligi bilan xarakterlanadi. Sutkalik variatsiya davri esa Yerdagi sutkaga teng. Bunda intensivlik amplitudasi 0,15-0,2% oraliqda tebranadi. Sutkalik variatsiya 27 - kunlik variatsiya bilan bog'lanishga ega. Chunki sutkalik variatsiya 27-kunlik takrorlanishga ega. Sutkalik variatsiya Quyosh magnit maydonining Yer atrofidagi anizotropiyasi hisobidan yuzaga keladi. Chunki Quyosh magnit maydoni Arximed spirali kabi aylanma bo'ladi. Quyoshning aylanishi sababli, koinot nurlari ham anizotropiyaga ega bo'ladi. Kosmik nurlar oqimini radial va tangensial tashkil etuvchilarga ajratsak, radial tashkil etuvchi galaktik nurlar radial tashkil etuvchisi bilan kompensatsiyalashadi. Tangensial tashkil etuvchi esa boshqa oqim bilan muvozanatlashmaydi va Yerning aylanishi hisobidan sutkalik variatsiyaga olib keladi. Natijada, ma'lum joyda mahalliy vaqt bilan 18^{00} da koinot nurlarining maksimum intensivligi kuzatiladi.

Nodavriy variatsiyaga Forbush effekti misol bo'ladi. Forbush effekti to'satdan sodir bo'lib, bunda koinot nurlari intensivligi keng diapazonda pasayib ketadi. Bu effekt davri 10 kungacha bo'lib, Quyosh aktivligi vaqtida tez -tez sodir bo'ladi. Bu davrda Yer magnit maydonining keskin buzilishi (magnit bo'ronlari) sodir bo'ladi. Magnit bo'ronlari va intensivlikning bunday keskin pasayishi orasidagi bog'lanish (bu hodisani birinchi bo'lib kuzatgan amerikalik astrofizik Forbush sharafiga) Forbush effekti deyiladi. Quyoshdagi portlashlar ham nodavriy variatsiyaga misol bo'la oladi. Quyosh aktivligi paytida Quyosh diskining elektr va magnit maydonlari keskin o'zgargan qismlarida portlashlar yuzaga keladi. Kuchsiz portlashlar tez -tez, kuchlilari juda kam sodir bo'ladi, Kuchli portlashda ultrafiolet, rentgen, radionurlanish, γ - nurlanish bilan birga ko'p miqdorda protonlar, turli yadrolar, neytronlar va neytrinolar ajralib chiqadi. Portlashdan 8–12 soat o't gach hosil bo'lgan nurlar Yer orbitasiga yetib keladi. Quyosh koinot nurlari tarkibida portlashlar natijasida protonlar, α - zarralar, o'rta va og'ir yadrolar uchraydi. Protonlar miqdori esa portlashdan portlashgacha o'n marotabagacha o'zgarib turadi. Portlash natijasida hosil bo'lgan zarralar ulushi umumiy ulushga qaraganda juda kam hisoblanadi. Portlashdan hosil bo'lgan 100MeV va undan yuqori energiyali zarralar kosmik kema ekipaji uchun ham xavftug'diradi. Chunki ular kema qobig'ida elektron - foton kaskadlar hamda rentgen nurlanishi hosil qilishadi. Aviatsiya rivoji uchun ham 18–20 km balandlikdagi radiatsion holat o'rganib chiqilgan. Biologik ob'ektlarning radiatsiya ta'siridagi buzilishi yutilgan energiya va nurlanishning biologik effektivligi bilan aniqlanadi. Yutilgan energiyabirligi (yoki doza birligi) D_i

grey deb ataladi. $1Gr = 1 \frac{J}{kg}$ ga teng (yani 1 kg miqdordagi moddaga 1 J energiya yutilsa 1Gr ga teng bo'ladi). Biologik effektivlik (yoki ekvivalent doza) D_{ekv} nurlanish sifat koeffitsiyenti- $(SK)_i$ ga bog'liq, ya'ni $D_{ekv} = \sum D_i (SK)_i$ va

ekvivalent doza zivert -(Zv) larda o'lchanadi. $1Zv = 1J / kg = 10^2$ ber

Nurlanish bilan ishlovchilar uchun xavfsiz hisoblangan ekvivalent doza- yiliga $5 \cdot 10^{-2} Zv$. 18–20 km balandlikda ekvivalent doza $10–20 mkZv / soat$ ga teng va nurlanish dozasi asosan neytronlar hisobiga to'g'ri keladi.

Koinot nurlari fizikasining asosiy tushunchalari

Koinot nurlarininig korpuskulyar tabiati birinchi marotaba magnit maydoniga joylashtirilgan Vilson kamerasida kuzatilgan. \vec{B} magnit maydonidagi Ze zaryadli zarracha harakat tenglamasi

$$\frac{d(m\vec{g})}{dt} = \frac{Ze}{c} [\vec{g}\vec{B}]$$

kabi ifodalanadi. Bu biz bilgan Lorens kuchi ifodasidir. Bu yerda, $m = m_0 / \sqrt{1 - g^2 / c^2}$ - zarracha massasi, g - zarracha tezligi, c - yorug'lik tezligi. Zarrachaga ta'sir qiluvchi kuch uning tezligi yo'nalishiga perpendikulyar, shu sababli uning tezligi, massasi o'zgarmaydi, faqat tezlik yo'nalishi o'zgaradi. Ya'nu,

$$m \frac{d\vec{g}}{dt} = \frac{Ze}{c} [\vec{g}\vec{B}]$$

bo'ladi.

Tezlikni $g_x \perp \vec{B}$ va $g_y \parallel \vec{B}$ tashkil etuvchilarga ajratamiz. Parallel tashkil etuvchi $g_y = const$ bo'lganligi uchun zarracha g_x hisobiga R radiusli spiral bo'ylab harakatlanadi. Lorens kuchi va markazdan qochma kuchlar tengligi shartidan, ya'ni

$$\frac{Ze}{c} g_x B \sin(g_x B) = \frac{m g_x^2}{R}$$

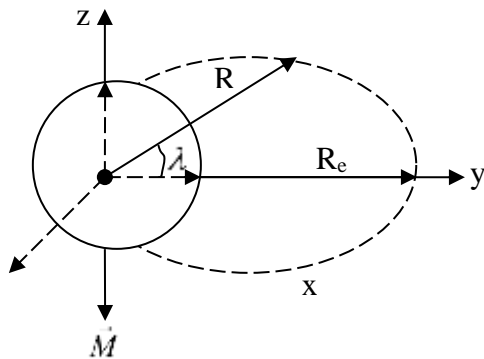
bu yerda, $\sin(g_x B) = 1$, $\frac{Ze}{c} B = \frac{m g_x}{R} = \frac{p_x}{R}$ dan $\frac{p_x c}{Ze} = BR$ bo'ladi. Bu yerda p_x - \vec{B} - vektorga perpendikulyar tekislikdagi impuls proyeksiyasi. Shunday qilib, zarracha magnit maydonida shu maydon yo'nalishida spiral shaklida harakat qiladi. $\frac{pc}{Ze} = \xi$ kattalik zarracha birlik zaryadiga to'g'ri keluvchi energiya bo'lib,

zarrachaning magnit qattiqligi deyiladi va magnit qattiqlik voltlarda o'lchanadi.

Bir xil magnit qattiqlikka ega zarralar magnit maydonida bir xil trayektoriya bo'ylab harakatlanadi. Lekin hisoblarda $\xi = \frac{pc}{Z} = 300BR$ formuladan

foydalanish qulay, bu holda pc - elektronvolda, \vec{B} - gaussda, R - santimetrda, Z - elektron zaryadlarida ifodalanadi. Shu usul bilan zarrachalar impulslari magnit maydonidagi Vilson kamerasi yoki magnit spektrometrlarida o'lchanadi.

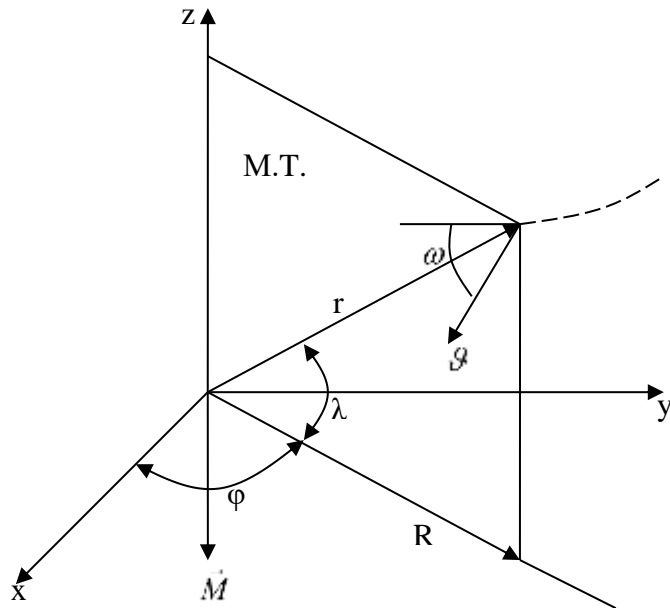
Endi Yerning magnit maydonini qaraymiz. Barcha planetalar, Quyosh va Galaktika magnit maydonlariga ega. Bu magnit maydonlari zarralar harakatiga ta'sir qilib, koinotdagi jarayonlarga sezilarli ta'sir qiladi. Yerning magnit maydoni 40GeV energiyagacha bo'lgan birlamchi zaryadlangan zarrachalar analizatori bo'lib xizmat qiladi. Yerning magnit maydoni doimiy bo'lmay o'zgarib turadi va har 5 yilda Yerning magnit kartasi qaytadan tuziladi. Birinchi yaqinlashishda Yer magnit maydonini $8.1 \cdot 10^{25} \text{Gs} \cdot \text{sm}^3$ momentimagnit dipoli deb hisoblash mumkin va uning markazi Yerning markazidan 340 km masofada joylashgan. Dipol o'qi Yer sirtini kesib o'tgan nuqta Yerning geomagnit qutbi deyiladi. 1965 yili Yer magnit qutblarining koordinatalari quyidagicha bo'lgan: $75^{\circ}36'$ shimoliy kenglik, 101° g'arbiy uzoqlik, ya'ni Kanada shimolida, hamda $66^{\circ}18'$ janubiy kenglik, 141° sharqiy uzoqlik, ya'ni Antarktidada. Demak, geomagnit qutblar geografik qutblar bilan mos tushmaydi. Sharqiy yarim sharda geomagnit ekvator geografik ekvatoridan shimolroqda joylashgan. Dipolning magnit maydoni $B = M/R^3$ kabi ifodalanadi. Bu yerda M - dipol magnit momenti, R - masofa. Kuch chiziqlari magnit meridian tekisligida joylashgan bo'lib, $R = R_e \cos^2 \lambda$ kabi ifodalanadi. Bunda R_e - ekvatoridagi kuch chiziqlarigacha bo'lgan masofa, λ - magnit kenglik.



Kuchchiziqlari bo'ylab magnit maydon kuchlanganligi $B(\lambda) = (M / R_e^3) \sqrt{4 - 3 \cos^2 \lambda} / \cos^6 \lambda$ kabi o'zgaradi. Shu sababli qutbga yaqinlashgan sayin magnit maydon kuchlanganligi oshib boradi. Zaryadlangan zarralarning Yer magnitmaydonidagi harakati Shtyermer nazariyasi orqali aniqlanadi. Cheksizlikdan kelayotgan har qanday zarra ham Yerga yetib kelmaydi. Agar zarra impulsi kichik bo'lsa, u Yer magnit maydoni tasirida og'ib ketadi. Magnit qattiqligi oshishi bilan ular Yer magnit maydoniga chuqurroq kirib borishadi va qandaydir ξ_{\min} qiymatda Yer sirtiga yetib keladi. Ularning Yerga yetib kelishi λ - kenglik, zenit burchagi $-\theta$ va azimutalburchak- φ ga bog'liq. Shu sababli, Yer magnit maydonining ma'lum taqiqlanmagan zonalari mavjud. Undan tashqari Luivill teoremasini boshqacha talqin qilish ham mumkin: Agar birlamchi koinot nurlari izotrop bo'lsa, Yerning magnit maydoni uning intensivligi va burchak taqsimotini taqiqlanmagan zonalarida o'zgartira olmaydi. Taqiqlangan -zonalar esa Yerning magnit maydoni tomonidan ekranlanadi. Shu sababli taqiqlangan zonalarini aniqlash muhim. Bu masala Shtermer, Lemetr va Valarta tomonidan hal qilingan.

Ular har qanday \vec{p} impulsli zarra uchun har bir kenglikda taqiqlanmagan yo'nalishlar mavjudligini ko'rsatishdi.

Faraz qilamiz, zarracha λ -kenglik burchagi ostida Yerga tushayotgan bo'lsin.



Bu yerda $M = 8,1 \cdot 10^{25} \text{Gs} \cdot \text{sm}^3$ -Yerning magnit momenti, φ -azimutal burchak, R - \vec{r} - radius – vektor proyeksiyasi, ω -zarratrayektoriyasi va uning tezlik vektori orasidagi burchak. U holda impulsning chegaraviy qiymatlari quyidagiga teng bo'lishi aniqlangan.

$$P_{\min}(\lambda, \omega) = P_0 \cos^4 \lambda / ([1 - \cos \omega \cos^3 \lambda]^{1/2} + 1)^2 \quad (1)$$

Bu yerda P_0 -zarprachанинг boshlang'ich impuls. Bu formulaga ko'ra, zarachaning λ va ω gabog'liq impulsini topish mumkin. Agar $P > P_{\min}(\lambda, 0)$ bo'lsa, ya'ni zarra impul'si $R_{\min}(\lambda, 0)$ impulsdan katta bo'lsa, bu zarra uchun barcha yo'nalishlar mumkin bo'ladi. Agar $P < P_{\min}(\lambda, \pi)$ bo'lsa, bunday zarra uchun barcha yo'nalishlartaqiqlangan bo'ladi. Endi vertikal yo'nalishda harakatlanayotgan ($\omega = \pi/2$) zappa uchun $P(\lambda, \pi/2) = P_0 \cos^4 \lambda / 4$ bo'ladi. Bu formuladan kenglik - λ oshishi bilan impulsning chegaraviy qiymatlari kamayishi kelib chiqadi. Ya'ni, Yer sirtiga yetib keladigan zarralar soni ko'payadi. Yuqoridagi formulardagi chegaraviy impulsning λ -kenglikkabog'liqligi ya'ni, koinot nurlarining intensivligining λ ga bog'liqligi kelib chiqadi. Bunga kenglik effekti deyiladi. (1)- formulaga ko'ra, g'arb va sharq yo'nalishidagi zarralar chegaraviy impulslarining farqi azimutal effektga olib keladi. Gorizantal yo'nalishda ekvator tekisligida harakatlanayotgan zarralarni qarasak, g'arbdan kelayotgan zarra uchun $\cos \omega = 1$ ga teng. Sharqdan kelayotgan zarra uchun esa $\cos \omega = -1$. Hisoblashlar g'arbdan kelayotgan zarralar uchun $P_{\min}(0, 0) = 10,1 \text{GeV}$ ($\cos \omega = 1$), sharqdan kelayotgan zarralar uchun esa $P_{\min}(0, \pi) = 5,93 \text{GeV}$

($\cos\omega = -1$) va vertikal yo'nalishdagizarralar uchun $P_{\min}(0, \pi/2) = 14.8 \text{ GeV}$ ($\cos\omega = 0$) bo'lishini ko'rsatdi. Buo'rinda $S = \sqrt{300M / \xi}$ kattalik – shtermer deb ataluvchi birlikda o'lchanadi. \sqrt{S} - kattalik $\frac{pc}{Ze} = \xi$ - zarra magnit qattiqligi bilan bog'langan bo'lib, birxil S - parametrli zarralar birxil trayektoriya bilan harakatlanadi deyish mumkin. S kattalik uzunlik o'lchoviga ega bo'lib, u dipol maydonidagi davriy orbita radiusiga teng. Endi (1) formulaga ko'ra $\lambda = 0$ da chegaraviy impuls minimal qiymatga ega bo'lishini bilish mumkin. Koinot nurlari intensivligi minimal bo'lgan chiziq Yerning geomagnit ekvatori deyiladi va unga $\lambda = 0$ mos keladi. Demak, Yerning geomagnit ekvatorida kosmik nurlar intensivligi minimal bo'lar ekan. Sharqiy yarim sharda Yerning geomagnit ekvatori geografik ekvatoridan shimolda yotadi.

Yerning markazi bilan uning magnit maydoni momenti markazi mos tushmasligi sababli, g'arbiy va sharqiy yarim sharda bir xil λ - kenglik va Yer sirtidan bir xil balandlikda chegaraviy impulslar (yoki magnit qattiqligi) har xil bo'ladi. Shu sababli, koinot nurlari intensivligi nafaqat λ bo'yicha, balkim uzunlik bo'yicha ham o'zgaradi. Bunga uzunlik effekti deyiladi.

Bundan tashqari, birlamchi zarralar zaryadi ham tajribalar natijasida o'rganilgan. 1949 yili S.N.Vernov boshchiligidagi ekvatoridagi ekspeditsiya atmosfera chegarasida assimetriya koeffitsiyenti $\alpha = 0,7 \pm 0,1$ ekanligini aniqladi. Bu farq asosan 10km balandlikdan sezilib, atmosfera chegarasigacha oshib borgan. Shu bilan birlamchi koinot zarralarining asosan musbat zaryadlangani aniqlandi.