

Matematicko-fyzikálny časopis

Pavel Chaloupka

Meranie zenitálnej závislosti rozsiahlych spŕšok kozmického žiarenia metódou počítačových teleskopov

Matematicko-fyzikálny časopis, Vol. 5 (1955), No. 4, 216--221

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/126851>

Terms of use:

© Mathematical Institute of the Slovak Academy of Sciences, 1955

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

MERANIE ZENITÁLNEJ ZÁVISLOSTI ROZSIAHLYCH SPŔŠOK KOZMICKÉHO ŽIARENIA METÓDOU POČÍTAČOVÝCH TELESKOPOV

PAVEL CHALOUPKA, Praha

1. Úvod

Zenitálna závislosť rozsiahlych spŔšok KŽ nám poskytuje cenné informácie jednak o priebehu absorpcie spŔšok v atmosfére, jednak o celom kaskádnom rozvoji spŔšok. Až dodnes bola táto závislosť meraná výlučne Wilsonovými hmlovými komorami [1], [2], a to tak, že sa priamo meral smer častíc spŔšky vo Wilsonovej komore. Avšak preto, že účinná plocha Wilsonovej komory je pomerne malá (rádu stoviek cm^2), možno týmto spôsobom premerať len najhustejšie partie rozsiahlej spŔšky (hustoty ~ 100 častíc na m^2), teda len okolie jadra spŔšky.

Z doterajších prác vyplýva [2], že v týchto častiach je závislosť počtu spŔškových častíc N od zenitového uhla ϑ daná vzorcom

$$N = k \cdot \cos^n \vartheta, \quad (1)$$

kde n má hodnotu ~ 8 . Hodnota tohto exponentu však klesá so zmenšovaním hustoty. n závisí jednak od celkovej energie spŔšky (t. j. od celkového počtu častíc v spŔške), jednak od vzdialenosti od jadra spŔšky.

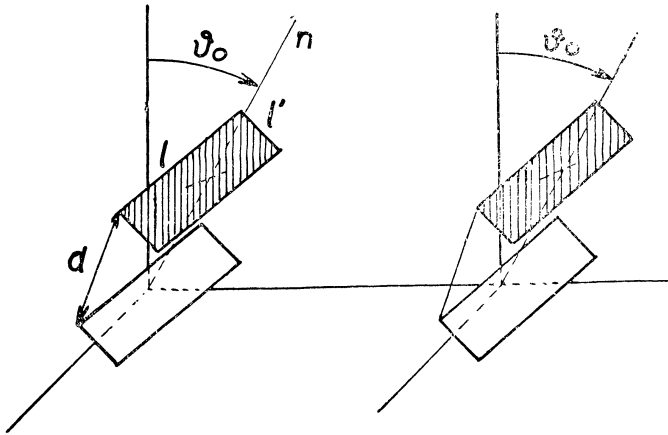
2. Experimentálne usporiadanie

Účelom nášho merania bolo zistiť smerové rozloženie častíc v okrajových častiach spŔšky. Pretože tu je hustota častíc už značne malá, nemožno použiť Wilsonovu komoru, a preto sme indikovali spŔšky koincenciou dvoch počítačových teleskopov, vzdialených od seba 7 m. Každý z teleskopov sa skladal z dvoch rovnobežných radov Geiger—Müllerových počítačov. V každom rade boli tri počítače o rozmeroch Φ 45 mm, dĺžka 600 mm a jeden Φ 40 mm, dĺžka 600 mm. Vzdialenosť medzi radmi bola $d = 540$ mm. Merali sme štvornásobné koincencie všetkých radov oboch teleskopov. Teleskopy boli orientované do rovnakého smeru a merali sme pod zenitovým uhlom

0° ; $22,5^\circ$; 45° ; $67,5^\circ$; 90° v severojužnej a východozápadnej rovine. Aby sme vylúčili vplyv asymetrie rozsiahlych sférok, spôsobenej zemským magnetickým poľom [3], brali sme stred z hodnôt nameraných pri všetkých štyroch orientáciách vzhľadom na magnetický meridián. Meranie sme vykonali na vrchole Lomnického štítu ($48^\circ N$ geomagnetickej šírky, 2634 m n. m.) v lete r. 1954. Vzhľadom na intenzitu KŽ na tomto mieste počet náhodných koincidií je zanedbateľne malý (pod 1%).

3. Teória počítačových teleskopov

Majme dva teleskopy, slúžiace na indikáciu rozsiahlych sférok, každý z nich nech sa skladá z dvoch radov počítačov o účinnej ploche U' (obr. 1). Plochy nech sú od seba oddelené medzerou d . Normála k rovine teleskopov nech



Obr. 1.

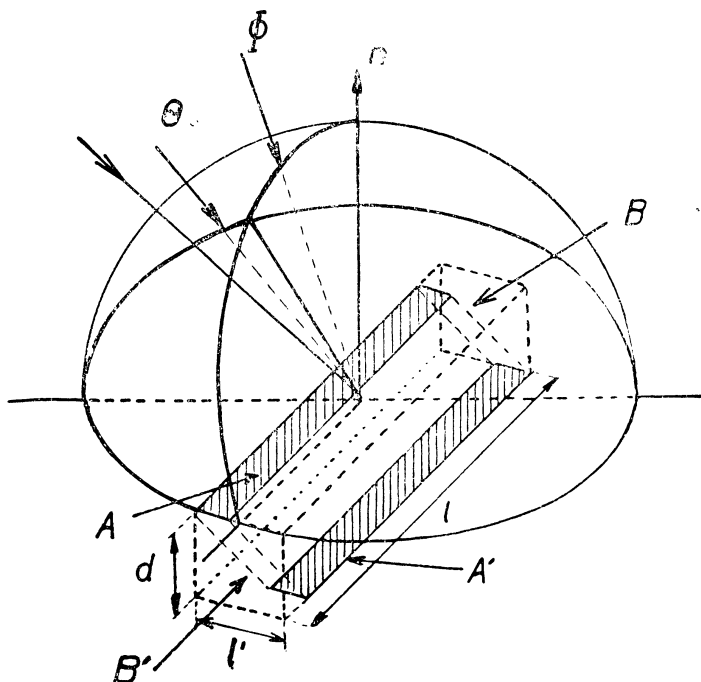
zvieria so zenitom uhol ϑ_0 . Dvojnásobná koincidencia oboch radov jedného teleskopu môže byť spôsobená buď prechodom jednej častice, prichádzajúcej zo smeru, nachádzajúceho sa v priestorovom uhle, vymedzenom teleskopom, alebo aspoň dvoma časticami, prichádzajúcimi z ľubovoľného iného smeru. Koincidence spôsobené časticami prichádzajúcimi zo smeru, ktorý leží v priestorovom uhle, voláme v ďalšom pravé, ostatné koincidence voláme nepravé. Aby sme mohli vykonať odhad pravých koincidií, urobme túto úvahu: nech prichádza na oba teleskopy spŕška zo smeru, definovaného uhlami Φ a Θ (pozri obr. 2). Ak má prejsť jediná častica z tohto smeru oboma sadami, musí prejsť v hornej sade plochou A . Ak teda prichádza spŕška zo smeru (Φ, Θ) , môže nastať (pravá) koincidencia len v týchto prípadoch:

1. V oboch teleskopoch prejde aspoň jedna častica plochou A . Minimálny počet častíc, potrebný pre indikáciu spŕšky, je dve.

2. Jeden z teleskopov je zasiahnutý do plochy A aspoň jednou časticou. Druhý teleskop je zasiahnutý do plochy B a B' , ale nie do A . Minimálny počet častíc sa rovná trom.

3. V každej sade každého teleskopu je zasiahnutá plocha B a B' aspoň jednou časticou, ale ani plocha A , ani plocha A' nie je zasiahnutá. Minimálny počet častíc je rovný štyrom.

Projekciu plochy A do smeru, (Φ, Θ) si označíme $f_A(\Phi, \Theta)$, projekciu plochy B symbolom $f_B(\Phi, \Theta)$. Potom pravdepodobnosť pre to, že sprška, ktorá má



Obr. 2.

v miestach teleskopov hustotu ρ , spôsobí pravú koincenciu, je daná vzorcom

$$P = (1 - e^{-\rho f_A})^2 + (1 - e^{-\rho f_B})^4 e^{-2\rho f_A} + 2(1 - e^{-\rho f_A})(1 - e^{-\rho f_B})^2 e^{-\rho f_A}. \quad (2)$$

Pri odvodení tohto výrazu sme použili bežné vzorce pre pravdepodobnosť zásahu plochy časticou [4].

Vzhľadom na to, že do miesta teleskopov prichádzajú spršky o rôznych hustotách, musíme výraz (2) integrovať cez všetky možné hustoty. Hustotné spektrum spršok je dané vzorcom [5]:

$$N(\rho) = B\rho^{-r} \quad (3)$$

kde $N(\rho)$ je počet spršok, ktoré jednotkovou plochou prejdú s hustotou $> \rho$. B je konštanta, ktorá pri hladine mora má hodnotu $620 \text{ m}^{-2} \text{ hod}^{-1}$, ρ je hustota

a γ je konštanta, ktorej hodnota $\in \langle 1; 2 \rangle$ závisí od nadmorskej výšky. Z určitého smeru dostaneme teda $N(\Phi, \Theta)$ pravých koincidiencií:

$$N(\Phi, \Theta) = K \int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\varrho f_A})^2}{\varrho^{\gamma+1}} d\varrho + 2K \int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\varrho f_B})^2 (1 - e^{-\varrho f_A}) e^{-\varrho f_A}}{\varrho^{\gamma+1}} d\varrho + \\ + K \int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\varrho f_B})^4 e^{-2\varrho f_A}}{\varrho^{\gamma+1}} d\varrho. \quad (4)$$

Konštantu K si určíme takto: zenitová závislosť je daná vzorcom (1). Teda platí:

$$B = 2\pi k \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^n \vartheta \sin \vartheta d\vartheta = \frac{2\pi k}{n+1}. \quad (5)$$

Rovnicou (5) je určené k . Platí však [6]

$$K = k\gamma = \gamma \frac{B(n+1)}{2\pi}. \quad (6)$$

Všetky tri integrály v rovnici (4) existujú a postupne sa rovnajú:

$$\int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\varrho f_A})^2}{\varrho^{\gamma+1}} d\varrho = f_A^\gamma \cdot \frac{2\Gamma(\gamma-1)}{\gamma(\gamma-1)} (2^{\gamma-1} - 1), \quad (7a)$$

$$\int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\varrho f_B})^2 (1 - e^{-\varrho f_A}) e^{-\varrho f_A}}{\varrho^{\gamma+1}} d\varrho = \frac{\Gamma(\gamma-1)}{\gamma(\gamma-1)} \{ f_A^\gamma - 2(f_A + f_B)^\gamma + \\ + (f_A + 2f_B)^\gamma - (2f_A)^\gamma + 2(2f_A + f_B)^\gamma - (2f_A + 2f_B)^\gamma \}, \quad (7b)$$

$$\int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\varrho f_B})^4 e^{-2\varrho f_A}}{\varrho^{\gamma+1}} d\varrho = \frac{\Gamma(\gamma-1)}{\gamma(\gamma-1)} \{ (2f_A)^\gamma - 4(2f_A + f_B)^\gamma - \\ - 6(2f_A + 2f_B)^\gamma - 4(2f_A + 3f_B)^\gamma + (2f_A + 4f_B)^\gamma \} \quad (7c)$$

Teda je:

$$N(\Phi, \Theta) = \frac{B(n+1)\Gamma(\gamma-1)}{\pi(\gamma-1)} \{ 2f^\gamma (2^\gamma - 1) - 2(2f + f_B)^\gamma + (f + f_B)^\gamma (2^{\gamma-1} - 1) \}, \quad (8)$$

kde $f = f_A + f_B$.

Nepravé koincidence môžu byť spôsobené najmenej štyrmi časticami. Ak označíme projekciu plochy ll' do smeru, z ktorého tieto častice prichádzajú f' , počet nepravých koincidiencií z tohto smeru je daný výrazom

$$N'(\Phi, \Theta) = \frac{B(n+1)\Gamma(\gamma-1)}{\pi(\gamma-1)} \left\{ 3 \cdot 2^\gamma + \frac{4^\gamma}{2} - 2 - 2 \cdot 3^\gamma \right\} \cdot f'^\gamma, \quad (9)$$

Podľa obr. 2 máme:

$$\left. \begin{aligned} f' &= l' \cos \Theta \cos \Phi, \\ f &= l' \cos \Theta \cos \Phi, \\ f_B &= l' \cos \Phi (K \operatorname{tg} \Phi + K' \sin \Theta - KK' \operatorname{tg} \Theta \operatorname{tg} \Phi), \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\text{kde } K = \frac{d}{e} \text{ a } K' = \frac{d}{l'}.$$

Tieto integrály boli vypočítané numericky za predpokladu, že $\gamma = 1,5$ a že $n = 6$ (ako vyplýva z práce [2]), alebo $n = 1,5$ (závislosť celkovej intenzity). Pri výpočte nepravých koincencií bola braná korekcia na hrúbku počítačov. Pred numerickou integráciou bolo treba transformovať systém zenitových súradníc na nové súradnice (Φ, Θ) pomocou vzorca

$$\cos \vartheta = \cos \Phi \cos (\vartheta_0 - \Theta), \quad (11)$$

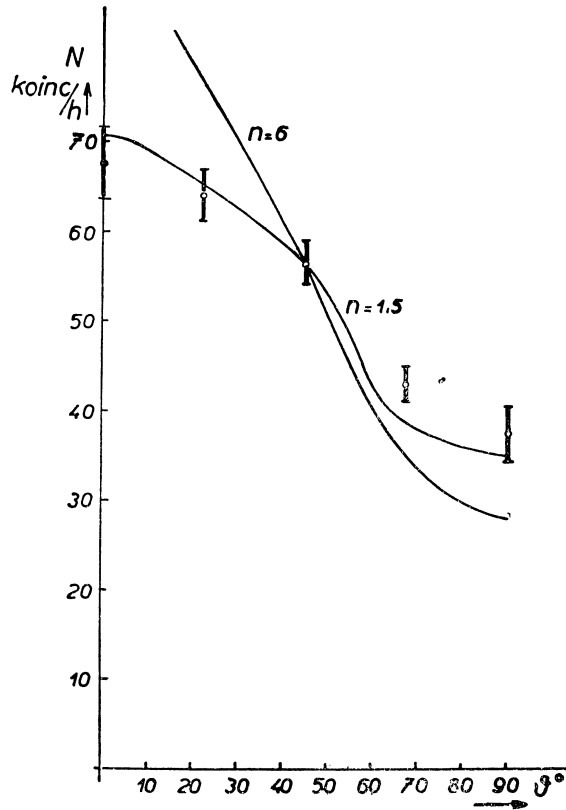
ktorý bezprostredne vyplýva zo vzorcov sférickej trigonometrie.

4. Diskusia výsledkov a záver

V grafe (obr. 3) sú vynesené jednak vypočítané hodnoty pre počet koincencií v závislosti od zenitového uhla ϑ (pri $n = 6$ a $n = 1,5$), jednak namerané hodnoty. Všetky údaje sú normalizované pre $\vartheta_0 = 45^\circ$. Konštantu B , ktorá bola určená pre hladinu mora, bolo treba zvýšiť na šesťnásobok, aby sa pri $\vartheta_0 = 45^\circ$ dosiahla zhoda výpočtu s experimentom. Počet spršok je na Lomnickom štíte asi 6-krát väčší ako pri hladine mora, čo je v dobrom súhlase s doterajšími výsledkami merania výškovvej závislosti rozsiahlych spršok KŽ [6]. Z grafu vidieť, že v porovnaní s krivkou, zodpovedajúcou $n = 6$ je zenitová závislosť rozsiahlych spršok pri malých hustotách (~ 10 častíc/m²) značne menej strmá. Zrejme sa už blíži uhlovému rozloženiu celkovej intenzity kozmického žiarenia ($n = 2$), aj keď štatistické chyby nedovoľujú stanoviť hodnotu n presnejšie. Je pochopiteľné, že pri malých hustotách (partie na okraji spršky) dôjde k zníženiu exponentu n , pretože tam už je energia meraných častíc nižšia ako v blízkosti jadra spršky. Napriek tomu však je hodnota 1,5 asi príliš nízka a nie je vylúčené, že pri meraní s väčšou štatistickou presnosťou by sme získali hodnotu niečo väčšiu. Z tohto dôvodu budeme hodnotu n tohto roku merať ešte raz. Pretože je zaujímavé zistiť, ako rýchle n rastie s rastúcou hustotou ρ , premeriame v tomto roku aj túto závislosť.

Záverom by som chcel poďakovať predovšetkým dr. L. Tomáškovej z Fyzikálneho ústavu ČSAV v Prahe, ktorá mi obetavo pomáhala pri meraní. Ďalej som zaviazaný vďakou Štátnemu hydrometeorologickému ústavu za

to, že mi tieto merania umožnil. Moja vďaka patrí aj všetkým pracovníkom z Lomnického štítu, najmä A. Mrkosovi a pracovníkom hvezdárne na Skalnatom plese.



Obr. 3.

Za zhotovenie konštrukcie prístroja ďakujem konštrukčnej skupine Fyzikálneho ústavu ČSAV, vedenej inž. Brojom a zamestnancom mechanickej dielne, najmä S. Krumlovi.

Došlo 20. V. 1955.

*Fyzikálny ústav
Československej akadémie vied, Praha*

LITERATÚRA

1. Heisenberg W., Vorträge über Kosmische Strahlung, Springer — Berlin, 1953, str. 430.
2. Hazen W. E., Williams R. W., Randall C. A., Phys. Rev. 93 (1954), 578.
3. Chaloupka P., Čs. čas. fys. 4 (1954), 612.
4. Dobrotin N. A. et al., UFN 49 (1953), 185.
5. Hodson A. L., Proc. Phys. Soc. A. 66 (1953), 49.
6. Heisenberg W., pozri [1], str. 429.