

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Václav Hádek

Variace intenzity kosmického záření

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 5 (1960), No. 3, 249--275

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/136998>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1960

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>

FYSIKA

VARIACE INTENSITY KOSMICKÉHO ZÁŘENÍ

VÁCLAV HÁDEK

Účelem tohoto článku je podat informace o rozsahu výzkumů v oboru variací kosmického záření a podat fenomenologický popis jednotlivých typů variací.

§ 1. Úvod

Studium časových variací intensity kosmického záření (krátce variací kosmického záření) představuje v dnešní době již vyhraněný vědní obor fyziky kosmického záření, který svojí problematikou zasahuje zvláště také do geofyziky, astrofyziky a meteorologie. V počátcích studia kosmického záření se věnovala pozornost pouze jeho původu a později pak hlavně vzájemnému působení kosmického záření s hmotou a zkoumání podstaty částic primární složky kosmického záření. Na základě fundamentálních výsledků těchto zkoumání se v poslední době obrací zájem na variace kosmického záření, jejichž studium nás velkou měrou informuje o fyzikálních podmínkách v meziplanetárním prostoru a v atmosféře Slunce.

Prvního velkého pokroku bylo ve studiu variací kosmického záření dosaženo v třicátých letech, když byla Comptonem [4] sestrojena pro účely nepřetržité registrace celkové intensity tvrdé (μ -mesonové) složky kosmického záření kompenzační ionizační komora. Touto komorou pak bylo vybaveno několik stanic na různých místech Země: Godhavn (Grónsko), 80° s. š., 32°; Cheltenham (USA), 50° s. š., 350°; Huancayo (Peru), 0°, 354°; Christchurch (Nový Zéland) 48 j. š., 252° (polohy jsou udány v geomagnetických souřadnicích). Všechny tyto stanice jsou na úrovni moře až na stanici Huancayo, která je ve výšce 3350 m n. m. Několikaletým měřením v těchto nejstarších stanicích byl získán cenný experimentální materiál pro rozlišení různých typů variací intensity μ -mesonové složky kosmického záření. V posledních letech bylo dosaženo význačného úspěchu Simpsonem a jeho spolupracovníky, vypracováním metody nepřetržité registrace intensity neutronové složky kosmického záření [5]. Přesto, že tok neutronů v atmosféře je malý, bylo dosaženo veliké statistické přesnosti. Nepřetržitá registrace intensity neutronové složky se pak začala provádět na pěti různých místech Země v geomagnetických šířkách 0°, 29°, 42°, 48° a 52° s. š. a zjistilo se, že amplituda variací neutronové složky je větší než u μ -mesonové složky. Zatím, co variace μ -mesonové složky charakterisují variace vysokoenergetické části spektra primárních částic kosmického záření, charakterisují variace neutronové složky variace nízkoenergetické části tohoto spektra. Tím byla dána možnost z energetického hlediska posuzovat jednotlivé typy variací, respektive určit primární energetické spektrum částic, vyvolávajících jednotlivé variace.

Vyvrhnutí a uskutečnění snahy po komplexním výzkumu variací kosmického záření v celosvětovém měřítku bylo dosaženo v Mezinárodním geofyzikálním roce, během něhož počet stanic, provádějících trvalou registraci intenzity několika složek kosmického záření, vzrostl ze 40 na 126. Geografické rozmístění těchto stanic bylo provedeno tak, aby byly rozptýleny v různých zeměpisných šířkách a délkách a v severních a jižních polárních oblastech. Většina stanic je na úrovni moře, několik stanic je rozmístěno v různých výškách až do několika tisíc metrů nad mořem a některé stanice pracují pod zemí (jejich podzemní hloubka je omezena 60 m vodního ekvivalentu). Takovéto rozmístění stanic po zeměkouli a rozložení vzhledem k úrovni moře pak umožňuje co nejdůkladněji sledovat závislost různého typu variací kosmického záření na zeměpisné šířce a délce, na výšce nad mořem a na hloubce pod zemí. V hlavním programu těchto stanic během Mezinárodního geofyzikálního roku byla nepřetržitá registrace časových variací intenzity různých složek kosmického záření, předně neutronové složky (standartním neutronovým monitorem), tvrdé a měkké složky, jdoucí vertikálně a pod určitým úhlem k vertikále s různými azimutálními úhly (standartním kubickým teleskopem z Geigerových-Müllerových počítačů), μ -mesonové složky pod zemí (polokubickým teleskopem z Geigerových-Müllerových počítačů) a celkové intenzity mesonů μ pomocí ionizačních komor.

Československo bylo zastoupeno v Mezinárodním geofyzikálním roku dvěma stanicemi s nepřetržitou registrací μ -mesonové a neutronové složky kosmického záření. Je to Lomnický štít (nadmořská výška 2634 m, geomagnetická šířka 48° s. š.) a Praha—Karlovy Vary (na úrovni moře, geomagnetická šířka 48° s. š.).

§ 2. Pravidelné variace kosmického záření

1. Denní variace

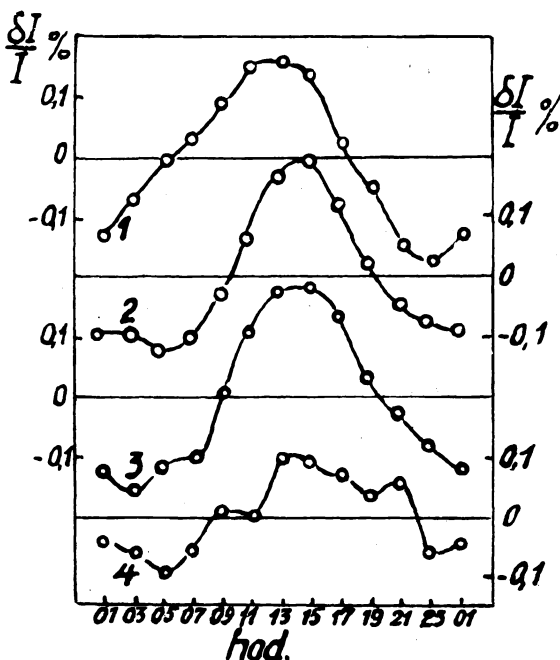
Již při prvních sériích měření během r. 1933—1935 byly odhaleny denní variace tvrdé složky kosmického záření s periodou jednoho slunečního dne, s maximem po poledni místního času a s minimem v noci. Nejcennější experimentální materiál pro tyto variace byl však získán nepřetržitou registrací intenzity kosmického záření od r. 1936 na čtyřech různých stanicích. Křivky denních variací pro jednotlivé stanice mají amplitudu 0,15—0,20% (obr. 1.).

Uvážíme-li, že každá z těchto stanic leží na různé geomagnetické šířce (Huancayo $\lambda = 0^\circ$, Cheltenham $\lambda = 50^\circ$ s. š., Christchurch $\lambda = 48^\circ$ j. š. a Godhavn $\lambda = 80^\circ$ s. š.) je z obr. 1. jasně patrný vliv geomagnetické šířky na velikost amplitudy a na polohu maxima denní variace. Je vidět, že velikost amplitudy denní variace se prakticky nemění od geomagnetického rovníku až do středních šířek ($\sim 50^\circ$). Markantní zmenšení amplitudy denní variace nastává až při přechodu k vyšším šířkám, dokonce křivka denní variace má v těchto vysokých šířkách i značně nepravidelný průběh, jak je vidět z křivky 4, jež odpovídá stanici Godhavn, ležící za polárním kruhem. Rovněž poloha maxima denní variace je závislá na geomagnetické šířce. Stanice Cheltenham a Christchurch, ležící symetricky vzhledem ke geomagnetickému rovníku, mají svá denní maxima přibližně v 15 hodin místního času (křivka 2 a 3), zatím co maximum pro rovníkovou stanici Huancayo připadá na 12. hodinu (křivka 1).

Vyskytl se však problém, zdali tyto denní variace intenzity kosmického záření nemají atmosférický původ, zdali tedy nejsou podmíněny podobnými den-

ními variacemi teploty. V řadě prací však bylo ukázáno a s konečnou platností v [6], že teplotní vliv má naopak kompensující charakter a že tedy provedením teplotních korekcí na naměření hodnoty variací kosmického záření se tyto variace více než zdvojnásobí.

Je již poměrně dlouho známo, že tvrdá složka kosmického záření je absorbována silněji v řídkých hmotách než v hmotách hustých, při stejné absorpční schopnosti. Tento jev, označovaný jako anomální absorpce tvrdé složky, je zcela vysvětlitelný nestabilitou mesonů μ . Podstata je v tom, že v řídké hmotě, např. ve vzduchu, meson projde delší dráhu, pohybuje se tedy mnohem delší dobu než v husté hmotě. Během této delší doby se může rozpadnout.



Obr. 1. Střední denní variace, získané osmiletým měřením ionizační komorou v Huancayo (1), Cheltenham (2), Christchurch (3) a Godhavn (4). $\frac{\delta I}{I}$ — intenzita v %, hodiny se vztahují k místnímu času.

Sekundární částice, mesony μ , vznikají v horních vrstvách atmosféry a změnami teploty se mění i výška, v níž k jejich vzniku dochází. Mění se tím tedy vzdálenost mezi místem pozorování a oblastmi vzniku mesonů μ a tedy také velikost anomální absorpce. Z toho tedy vyplývá kompensáční charakter teplotního vlivu.

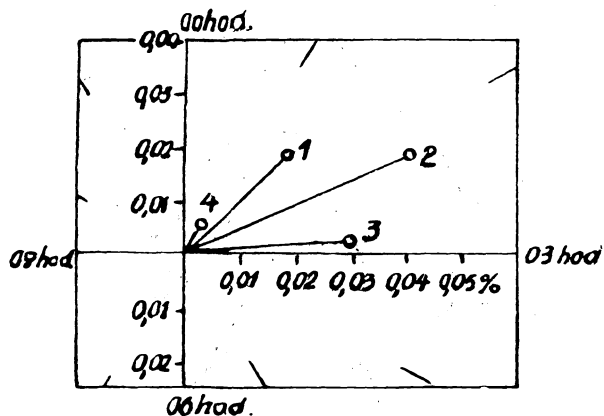
Na obr. 1 nejsou křivky denních variací korigované na teplotu. Amplituda těchto variací však po provedení korekce pro rovník a střední šířky je 0,3% a pro vysoké geomagnetické šířky ($\lambda \sim 80^\circ$) je 0,1%. Zajímavé je všimnout si změn amplitudy denních variací neutronové složky (ta prakticky nepodléhá denním změnám teploty) se změnou geomagnetické šířky. Na stanici Climax ($\lambda = 48^\circ$ s. š., 3400 m n. m.) činí amplituda této složky 0,6%, zatím co v Huancayo ($\lambda = 0,5^\circ$ j. š. 3350 m n. m.) je amplituda variace 0,4–0,5%. To nám dovoluje usuzovat na to, že denní variace kosmického záření jsou v podstatě vyvolány částicemi méně energetickými $\sim 10^{10}$ eV.

Zbývá nám ještě uvést, jaké hodnoty amplitud denních variací jsou v našich geomagnetických šířkách, resp. přímo na stanicích našeho státu. Pražská stanice na úrovni moře má amplitudu pro neutronovou složku $\sim 0,4\%$, pro mesonovou složku $\sim 0,2\%$. Lomnický štít v nadmořské výšce 2634 m má amplitudu pro neutronovou složku $\sim 0,5\%$ a pro mesonovou složku $\sim 0,3\%$ (7).

Vedle denních variací s periodou 24 hod. existují také variace půldenní s periodou 12 hod. Tato dvanáctihodinová složka vyplývá z analýsy denních variací, pomocí Fourierových řad. Na obr. 2. představuje dvanáctihodinový diagram tyto půldenní variace tvrdé složky, získané několikaletým měřením na stanicích Huancayo, Cheltenham, Christchurch a Godhavn.

Jak je vidět z obrázku, amplitudy těchto variací jsou podstatně menší (od 0,04% do 0,005%) než amplitudy 24hodinových variací. Z počátku se před-

pokládalo, že tato 12hodinová složka denních variací má svůj původ v 12hodinových atmosférických fluktuacích. Vzhledem k tomu, že i tato vlna podléhá vlivům magnetické a sluneční činnosti, je její mimoatmosférický původ bezespor-
ný.



Obr. 2. Harmonický diagram půldenních variací v Huancayo (1), Cheltenham (2), Christchurch (3) a Godhavn(4).

Doposud byla diskutována jen závislost denních variací kosmického záření na geomagnetické šířce. Existuje však mnoho dalších závislostí a vlivů na tyto variace, které budou nyní jednotlivě uváděny a popisovány. Jednou z nich je závislost denních variací na směru příchodu částic na povrch zemský. Tato závislost byla změřena počítačovými teleskopy, odchýlenými od přímky, směřující k zenitu o stejné úhly na opačné strany, jeden teleskop na sever a druhý na jih. Nejdůkladnější měření byla v tomto směru provedena Elliotem a Dolbearem [8]. Jednotivá měření trvala 300 dní. První dvě byla provedena v r. 1948 a 1949 bez absorbátoru a třetí měření v r. 1949 s olověným absorbátorem. Výsledky těchto tří pokusů jsou na obr. 3.

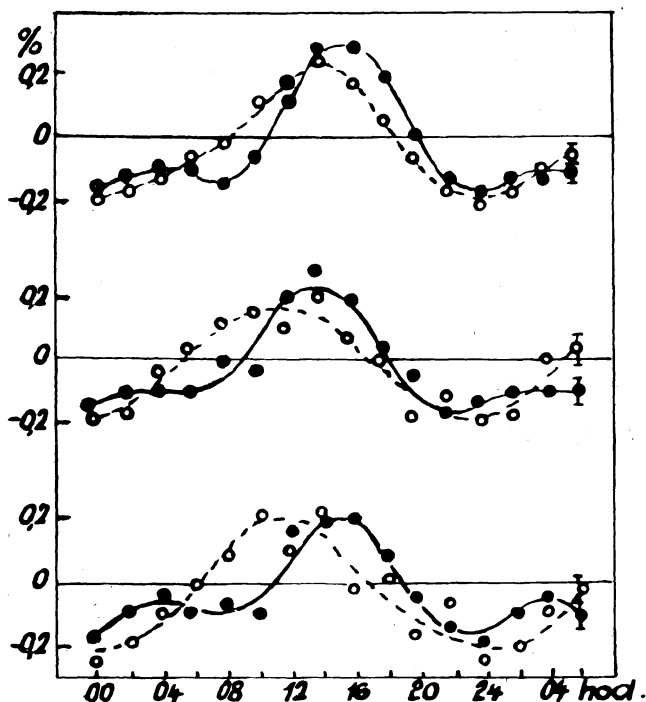
Z obr. 3 je vidět, že pro tři nezávislá měření maximum denních variací ve směru severním nastává dříve než maximum ve směru jižním. Dále je také vidět, že tato anisotropie severo-j jižní roste s rostoucí energií částic. Pro interpretaci těchto výsledků lze úplně vyloučit atmosférické vlivy, protože na variace ve směru severním i jižním musel působit stejný vliv.

Zavedeme-li souřadnicový systém tak, že počátek je v místě pozorování, osa x směřuje od západu k východu, osa y z jihu na sever a osa z ze středu Země k zenitu, tak složky intensity magnetického pole Země \mathbf{H} jsou $H_x = 0$, $H_y = \frac{M}{R^3} \cos \lambda$, $H_z = 2 \frac{M}{R^3} \sin \lambda$, kde M je magnetický moment Země, R poloměr Země a λ geomagnetická šířka místa pozorování. Složky síly \mathbf{F} , působící na částici, jsou pak dány těmito vztahy

$$F_x = p_z H_y - p_y H_z, \quad F_y = p_x H_z, \quad F_z = p_x H_y,$$

kde p_x , p_y , p_z jsou složky impulsu \mathbf{p} částice, přicházející od Slunce. Vidíme tedy, že síla \mathbf{F} působí také ve směru jih—sever, tedy podél osy y . Jelikož složky

impulsu částice p jsou závislé na časovém úhlu Slunce, měřeném od poledne a vyjádřeném ve stupních, závisí také směr síly F na času dne a je kromě toho různý pro jižní a severní polokouli. Kosmické paprsky, přicházející ze Slunce, jsou do poledne touto silou odchylovány k jihu a po poledni k severu. Ve směru

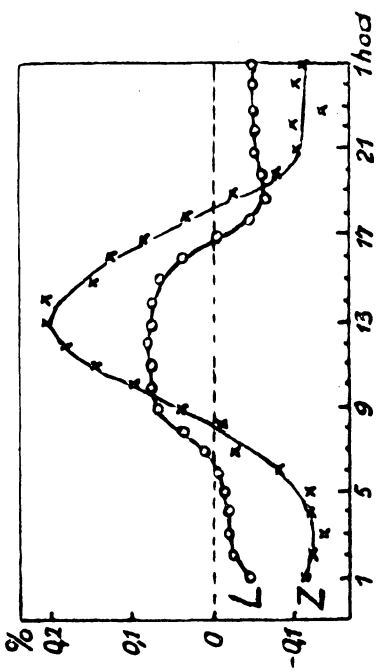


Obr. 3. Denní variace intenzity kosmického záření ve směru severním (čárkované křivky) a ve směru jižním (plné křivky). První dvojice křivek se vztahuje k r. 1948, bez absorbátoru; druhá k r. 1949, bez absorbátoru; třetí dvojice k r. 1949, s absorbátorem 35 cm Pb.

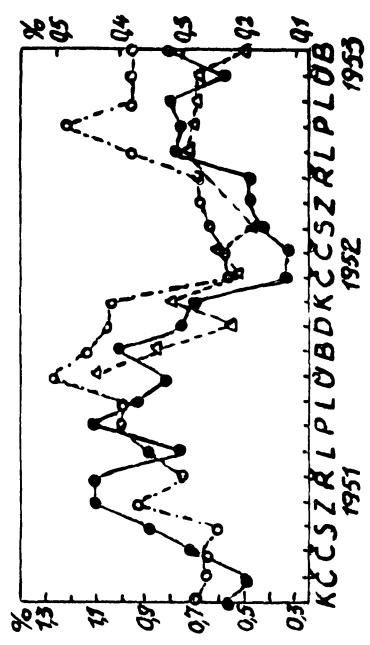
jižním na severní polokouli se proto maximum denních variací objeví později než ve směru severním. Na jižní polokouli ve směru jižním se naopak maximum denních variací objeví dříve než ve směru severním. Tyto závěry jsou experimentálně potvrzeny pro severní polokouli na obr. 3. Podobně jako anisotropie severojižní, byla naměřena i anisotropie denních variací kosmického záření ve východním a západním směru. Její interpretace je podobná již shora uvedené interpretaci severojižní anisotropie.

Amplituda a fáze denních variací kosmických paprsků se také značně mění periodicky během roku; jde o tzv. sezónní změny denních variací (obr. 4).

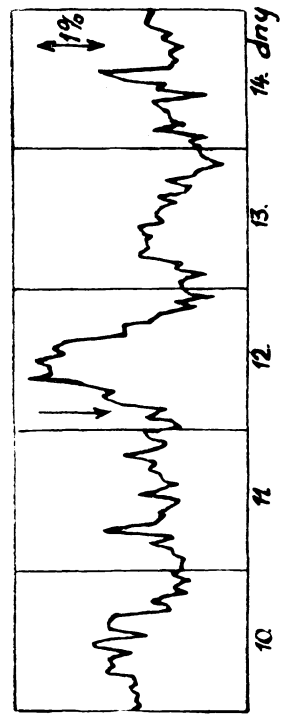
Průběhy denních variací na obr. 4 nejsou korigovány na teplotu. V několika pracích bylo ukázáno ([9], [10], [11]), že tyto změny variací jsou způsobeny pouze teplotními vlivy.



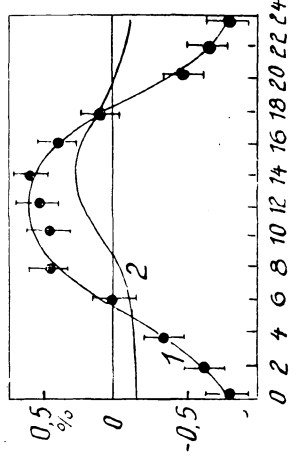
Obr. 4. Střední hodnoty denních variací celkové intenzity tvrdé složky v zimě (Z) a v létě (L) v Moskvě r. 1951—1952 [9].



Obr. 5. Změny amplitudy denních variací během r. 1951—1953. Čárková křivka — pro ionizační komoru ve Freiburgu (pravá škála); tečka-čárka — pro neutronový monitor v Huancayo (levá škála); plná křivka — pro neutronový monitor v Climax (levá škála), [12].



Obr. 6. Zvětšení amplitudy denních variací v Tokiu během magnetické bouře 12. června 1948. Šipka označuje počátek magnetické bouře [13].



Obr. 7. Změny denních variací kosmických paprsků během dvou magnetických bouří 26. července 1946 a 29. ledna 1949 v Manchesteru. Křivka 1 je střední denní variace z dvou dní po každé z magnetických bouří, křivka 2 je střední denní variace z 360 dní.

Na druhé straně existují pozoruhodná data pro sezónní změnu amplitudy 24hodinové vlny μ -mesonové složky v době maxima (1937—1938) a minima (1944—1945) sluneční činnosti (tab. I.). Zvláště hodnoty pro rovníkovou stanicí Huancayo nemohou být zcela objasněny meteorologickým vlivem.

Tabulka I

Stanice	Zima (listopad — únor)			Jaro — podzim (září — březen — dub. — říjen)			Léto (květen — srpen)		
	stř. hod. za 10 let	1937—1938	1944—1945	stř. hod. za 10 let	1937—1938	1944—1945	stř. hod. za 10 let	1937—1938	1944—1945
Huancayo, $\lambda = 0^\circ$	0,141	0,14	0,12	0,145	0,17	0,11	0,187	0,24	0,14
Cheltenham, $\lambda = 50^\circ$	0,156	0,16	0,09	0,108	0,12	0,09	0,144	0,15	0,10
Godhavn, $\lambda = 80^\circ$	0,094	—	0,07	0,068	—	0,07	0,100	—	0,02

Na mimoatmosférický původ těchto změn také ukazují sezónní změny amplitudy denních variací neutronové složky, která nepodléhá teplotnímu vlivu.

Zajímavé na těchto měřeních je (obr. 5), že se křivky pro rovník a střední šířky shodují a korelují i se sezónními změnami tvrdé složky stanice Freiburg ($\lambda = 49^\circ$ s. š.). Vzhledem k tomu, že existuje řada prací, dokazujících pouze atmosférickou podstatu sezónních změn denních variací a několik prací, ukazujících na nemeteorologický původ těchto změn, zdá se být tato otázka ještě zcela otevřenou.

Jednou z dalších důležitých vlastností denních variací kosmických paprsků je jejich souvislost s magnetickou a sluneční činností. Uvedeme nejprve jejich změny během magnetických bouří. Během poměrně silných magnetických bouří pozoruje se snížení intenzity kosmických paprsků až o 10% (tato otázka bude v další kapitole podrobněji projednána). Bezprostředně po začátku magnetické bouře a během ní se pozoruje zvětšení amplitudy denních variací. Tato změna amplitudy variací je tím větší, čím větší je pokles intenzity kosmických paprsků. Obr. 6 ukazuje výrazné zvětšení amplitudy denních variací, pozorované během magnetické bouře 12. června 1948 v Tokiu.

V průběhu magnetické bouře dochází i k další změně, a to polohy maxima denní variace. Toto je dobře patrné vedle amplitudové změny z obr. 7. První křivka představuje střední křivku denní variace z dvou dní po magnetické bouři 26. července 1946 a z dvou dní po magnetické bouři 24. ledna 1949, druhá křivka představuje střední denní variaci za 360 dní.

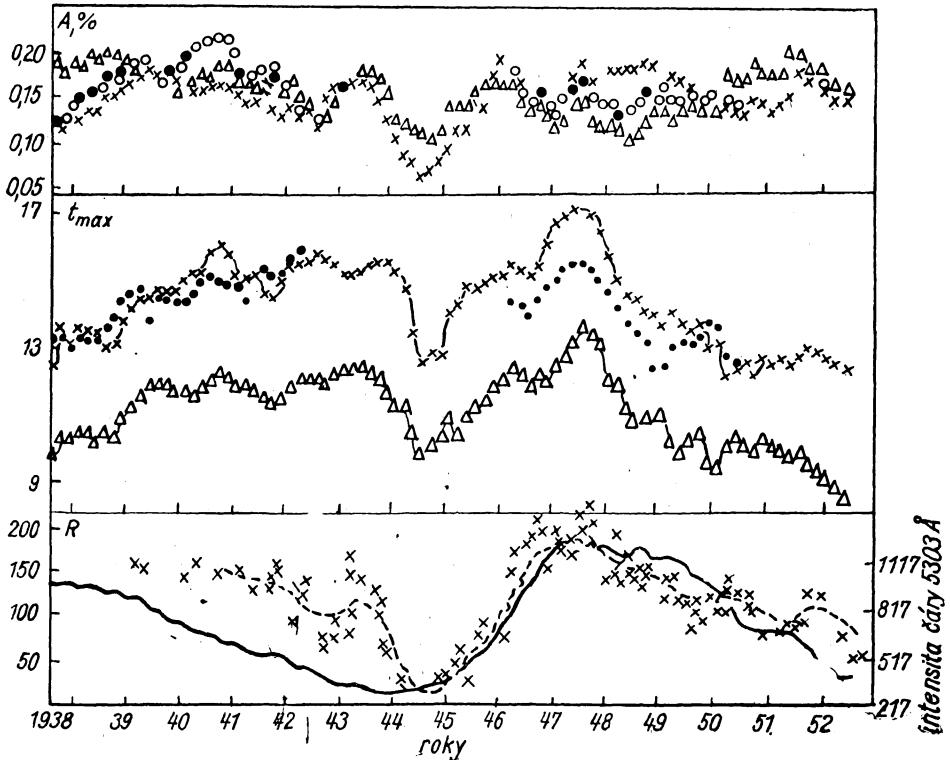
Z obr. 7 je vidět, že poloha maxima denní variace po magnetické bouři se přesune ze 14. na 12. hodinu. Během magnetických bouří se mění také 12hodinová složka denních variací. V tab. II. jsou pro 24hodinovou a 12hodinovou složku střední hodnoty amplitudy a času maxima denní variace před a během magnetické bouře v období r. 1937—1944. Zvlášť výrazný vliv na amplitudu obou složek denní variace byl u deseti magnetických bouří z tohoto období.

Podobným způsobem závisí amplituda denních variací také na sluneční činnosti. S rostoucí sluneční činností amplituda roste, poloha maxima denní variace se však posunuje k vyšším hodnotám času dne. Vzhledem k tomu, že mezi jevy sluneční aktivity a magnetické aktivity existuje hluboká souvislost,

Tabulka II

	Složka den. variace	Amplituda %		Čas maxima (hodiny)	
		před bouří	během bouře	před bouří	během bouře
25 mag. bouří za r. 1937–1944	24–hod.	0,17	0,217	11,5	9,9
	12–hod.	0,040	0,059	11,1	10,3
10 mag. bouří za r. 1937–1944	24–hod.	0,15	0,40	10,5	8,8
	12–hod.	0,045	0,088	11,7	11,1

shodné změny amplitudy nejsou překvapující. Naopak zcela opačné změny polohy maxima denní variace při magnetické a sluneční aktivitě jsou v současné době ještě nevysvětlené. Na obr. 8 jsou změny denních variací zachyceny v závislosti na počtu slunečních skvrn a na intenzitě koronální čáry o vlnové délce 5303 Å v rozsahu 15 let pro stanice Huancayo, Cheltenham a Christchurch.

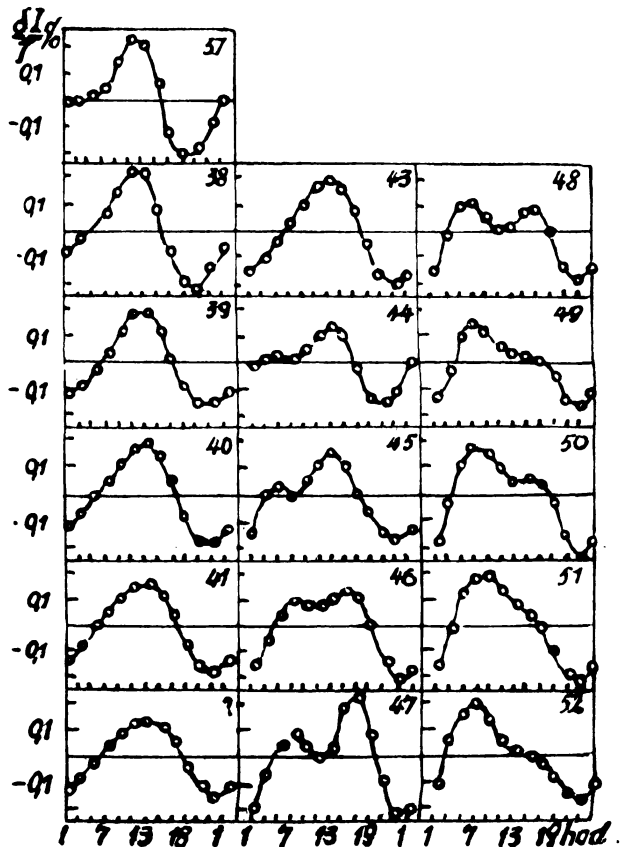


Obr. 8. Změny amplitudy A a času maxima t_{\max} denní variace tvrdé složky se změnou počtu slunečních skvrn R a intenzitou koronální čáry 5303 Å (čárkovaná křivka) během r. 1937–1953. Trojúhelníky — Huancayo ($\lambda = 0^\circ$), křížky Cheltenham ($\lambda = 50^\circ$ s. š.), kroužky — Christchurch ($\lambda = 48^\circ$ j. š.).

Z obr. 8 je vidět, že maximum a minimum sluneční činnosti lépe sledují hodnoty t_{\max} , reprezentující polohu maxima denní variace než hodnoty změny amplitudy denní variace.

Když byl statistiky zpracováván mnohaletý experimentální materiál o denních variacích kosmických paprsků, došlo se v nedávné době k odkrytí dalších zajímavých vlastností těchto variací. Byly odhaleny dlouhodobé změny denních variací; jsou to jejich změny s periodou dvou cyklů sluneční činnosti. Z těchto změn byly zjištěny další dvě složky denních variací [14]. Rozбором závislostí, zachycených na obr. 9 vidíme, že denní variace v r. 1937—1941 představují 24hodinová vlna s maximem kolem 12 hodin. V r. 1942 a 1943 se maximum poněkud posunuje k pozdějším hodinám a v dalších letech 1944—1948 se tvar denní variace značně mění. To je možno interpretovat tak, že se vedle denní složky s periodou 24 hodin a s maximem v denních hodinách začíná projevovat další složka s periodou rovněž 24hodinovou, ale s maximem v nočních hodinách. V r. 1946—1948 má křivka denní variace zřetelná dvě maxima a obě složky, jak denní, tak noční, se uplatňují stejnou měrou. Od r. 1948 se denní složka značně zmenšuje a noční vzrůstá, a v r. 1952 je již denní variace reprezentována pouze noční složkou s periodou 24 hodin a maximem v nočních hodinách.

Pokud jde o změnu polohy maxima jednotlivých složek, tak jak denní, tak noční složka během r. 1944—1948 svá maxima posunují k pozdějším hodnotám času dne,



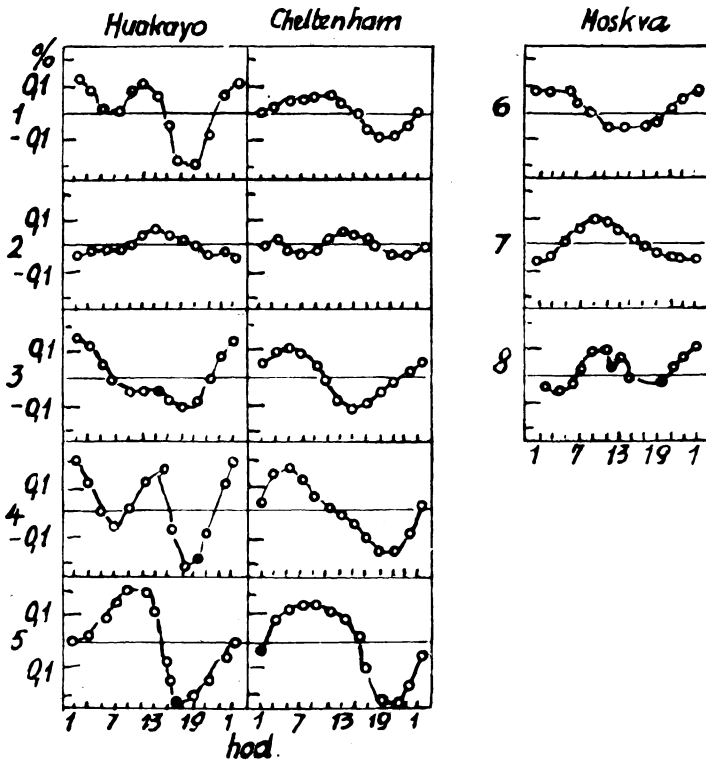
Obr. 9. Střední denní variace kosmických paprsků za 1 rok pro stanici Huancayo od r. 1937 dor. 1952.

zatímco v předcházejícím období od r. 1937 do r. 1944 se poloha maxima prakticky neměnila.

V rozboru těchto výsledků je také možno postupovat tak, že období od r. 1937 do r. 1952 rozdělíme na několik skupin podle sluneční činnosti: 1. sku-

pina — r. 1937—1942, pokles sluneční činnosti; 2. a 3. skupina — r. 1942 až 1944, minimum slunečních skvrn; 4. skupina — r. 1944—1947, vzrůstající sluneční činnost; 5. skupina — r. 1947—1952, období dosažení maxima sluneční činnosti a poklesu. Dále jsou na obr. 10 změny denní variace v Moskvě pro 6. a 7. skupinu, pro minimum sluneční činnosti v r. 1953—1955 a 8. skupina, zachycující vzrůst sluneční činnosti v r. 1955—1956.

Z obr. 10 je vidět, že pro 2. skupinu, tj. pro období před minimem sluneční činnosti se uplatňuje denní vlna, kdežto ve 3. skupině, pro období po dosažení minima, se uplatňuje noční vlna. V 5. a 6. skupině je noční složka opět převládá-



Obr. 10. Změny denních variací kosmických paprsků po jednotlivých obdobích sluneční činnosti [14].

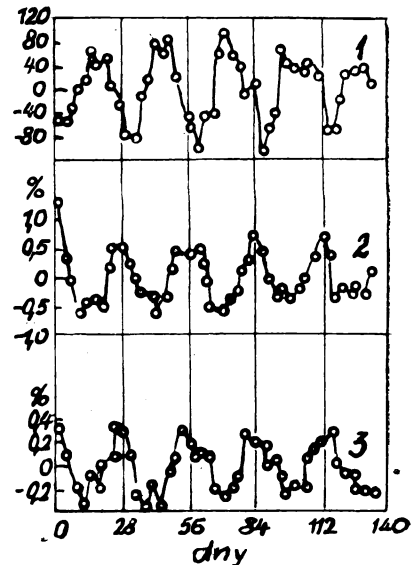
ající. Po dosažení minima sluneční činnosti v r. 1954 je to opět denní vlna (7. a 8. skupina). Dá se předpokládat, že v maximu sluneční činnosti bude denní variace reprezentována denní vlnou a perioda dlouhodobých změn se ukončí.

Je zajímavé si ještě povšimnout, že existuje dobrá podobnost v křivkách denních variací pro stanici Huancayo a Cheltenham v období minima sluneční činnosti (2. a 3. skupina) a v období po dosažení minima v r. 1947 (5. skupina). Pozoruhodná je také ta skutečnost, že křivky denních variací jsou ve skupině 6. a 2. a rovněž v 7. a 3. v opačných fázích, při čemž skupiny v těchto dvojicích jsou analogické, vzhledem k sluneční činnosti, ve dvou po sobě následujících 11-ročních cyklech.

Přestože pro konečné řešení otázky dlouhodobých změn denních variací kosmických paprsků chybí v současné době ještě nepublikovaný experimentální materiál, zdá se být jejich 22letá perioda dokázána. Základní příčina těchto dlouhodobých změn fáze denních variací tkví v 22ročních periodických změnách magnetické polarity slunečních skvrn, která se obrátí opět ve stejných změnách vlastností slunečních korpuskulárních proudů, unášejících „zamrzlá“ magnetická pole slunečních skvrn. Tyto sluneční korpuskulární proudy, jak bylo ukázáno v mnoha pracích v poslední době, jsou hlavním modulačním činitelem intenzity kosmických paprsků v meziplanetárním prostoru. Příčinou denních variací jsou tedy sluneční korpuskulární proudy a tyto variace jsou také mnohdy nazývány sluneční denní variace.

2. 27denní variace.

V r. 1936 Hess a Graziadei experimentálně potvrdili existenci změn intenzity kosmických paprsků s periodou 27,2 dní a amplitudou řádově desetin procenta [27]. Perioda těchto změn je stejná s periodou otáčení Slunce kolem své osy. Existence 27-denních variací byla pak zjištěna i na jiných místech a popsána v řadě dalších prací ([18], [19]). Nejčennější data o těchto variacích, z nichž převážná část se vztahuje k tvrdé složce, pouze některá k neutronové složce, byla získána opět stanicemi Huancayo, Cheltenham, Christchurch a Godhavn ([20], [21], [22]).



Obr. 11. 27denní variace v Manchesteru od r. 1952—1954. Křivka 1-Kp-index, 2-neutronová složka, 3-ionisující složka [23].

Podobné variace, spojené s otáčením Slunce kolem své osy, jeví také veličiny, charakterisující geomagnetickou aktivitu, jako mezinárodní geomagnetické charakteristiky C-index, planetární index Kp^*) a dále také počet magnetických bouří.

*) Mezinárodní střední hodnoty C-indexu se získávají tak, že se na jednotlivých magnetických observatořích vyhodnocují dny podle stupně magnetické aktivity a přiřazují se jim klasifikační stupně 0, 1, 2. Magneticky klidným dnům přísluší 0, silně aktivním 2 a středně aktivním 1. Z čísel 0, 1 a 2, získaných na všech observatořích světa, se vypočítávají střední hodnoty (s přesností desetin) pro každý den. Kp -index se získává tak, že na magnetických observatořích se zaznamenávají každé 3 hodiny rozdíly R mezi největší a nejmenší hodnotou daného magnetického elementu a určitým intervalům hodnot R se přiřazují jisté hodnoty K :

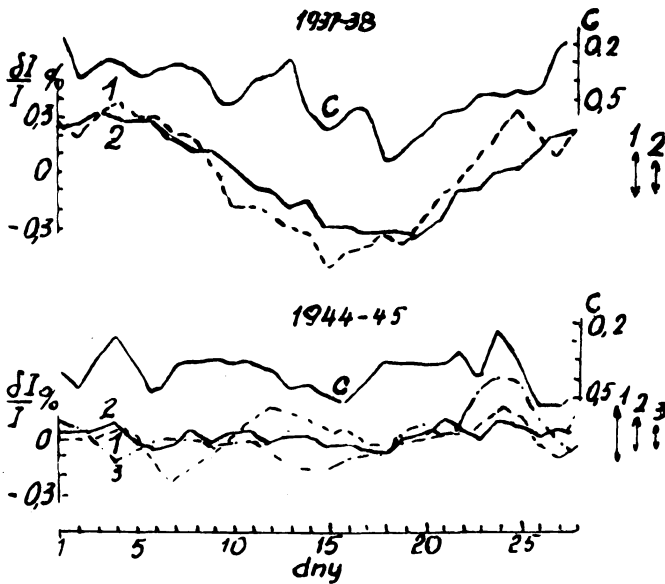
$$R = 5 \quad 10 \quad 20 \quad 40 \quad 70 \quad 120 \quad 200 \quad 330 \quad 500 > 500$$

$$K = 0 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \quad 9$$

Střední hodnoty K , získané z údajů mnoha observatoří, se označují Kp .

S 27denními variacemi kosmických paprsků však nejlépe koreluje Kp -index a počet magnetických bouří. C -index má sice periodu své změny 27 dní, tvar křivky však je poněkud odlišný od sinusoidálních křivek pro variace kosmických paprsků a Kp -indexu. Na obr. 11 jsou zachyceny změny Kp -indexu, neutronové a ionisující složky kosmického záření od června 1952 do června 1954 v Manchesteru. Všechny křivky na obr. 11 včetně křivky pro Kp -index byly sestrojeny tak, že se vynášely rozdíly mezi hodnotami dnů, při čemž za dny s nulovou hodnotou se pokládaly ty, které měly největší a nejmenší hodnotu intensity kosmických paprsků resp. Kp -indexu.

Z obr. 11 je vidět, že mezi změnami Kp -indexu a změnami intensity kosmických paprsků je záporná korelace. Amplituda neutronové složky 27denních variací pro Manchester, který je na úrovni moře, je více jak dvakrát větší, než



Obr. 12. 27denní variace intensity kosmických paprsků a C -indexu magnetické aktivity. První série křivek je pro r. 1937—1938 (maximum sluneční činnosti), druhá série křivek je pro r. 1944—1945 (minimum sluneční činnosti). 1 — Cheltenham, 2 — Huancayo, 3 — Godhavn.

u ionisující složky. Dále je zajímavé to, že minimum intensity kosmických paprsků předchází o několik dní maximum geomagnetické aktivity. Tento výsledek byl potvrzen i v několika dalších pracích ([24], [25]). Na rozdíl od neutronové složky mezi ionisující, měkkou a tvrdou složkou není žádný rozdíl v amplitudě 27denních variací.

Všimneme si nyní změn 27denních variací kosmických paprsků během cyklu sluneční aktivity. Na obr. 12 jsou zachyceny křivky 27denních variací pro maximum a minimum sluneční činnosti na stanicích Cheltenham, Huancayo a Godhavn.

Z obr. 12 je patrné, že křivky pro 27denní variace jsou nejvýraznější v době maxima sluneční činnosti, kdežto v době minima téměř tyto variace mizí. Dále je vidět, že tvar křivek pro Huancayo ($\lambda = 0^\circ$) Cheltenham ($\lambda = 50^\circ$) je takový, že se nedají rozlišit tyto křivky 27denních variací vzhledem ke geomagnetické šířce. Další význačnou vlastností těchto variací v souvislosti se sluneční činností je poměrně velká stálost jejich maxima v období maxima sluneční činnosti. Pro období mezi maximem a minimem sluneční činnosti poloha maxima variace se začíná značně měnit a pro minimum sluneční činnosti toto maximum téměř mizí. Pozoruhodná je souvislost 27denních variací intenzity kosmických paprsků s relativním počtem slunečních skvrn. Tato otázka byla řešena v práci [26], v níž bylo užito pro kosmické paprsky experimentálních hodnot ze stanic Huancayo a curyšská data pro závislost slunečních skvrn. Bylo ukázáno, že i v křivkách relativního počtu slunečních skvrn je patrná 27denní variace a že mezi těmito křivkami a křivkami intenzity kosmických paprsků je záporná korelace.

Jak již bylo řečeno, další charakteristikou geomagnetické aktivity, zachovávanou 27denní periodou, je počet magnetických bouří (vyjma velmi silných). Rozdělíme-li magnetické bouře do tří skupin tak, že do 1. skupiny zařazujeme mírné bouře, do 2. skupiny střední a do 3. skupiny velmi silné, zachovává 1. a 2. skupina 27denní periodu velmi dobře, zatímco bouře 3. skupiny mají periodu svého výskytu 30 dní. Poněkud delší periodu velmi silných bouří lze vysvětlit tím, že jejich aktivní ohniska leží v hlubokých vrstvách Slunce, které se otáčejí pomaleji než aktivní ohniska bouří 1. a 2. skupiny, ležící ve vrchních vrstvách Slunce a ve vrstvách sluneční atmosféry.

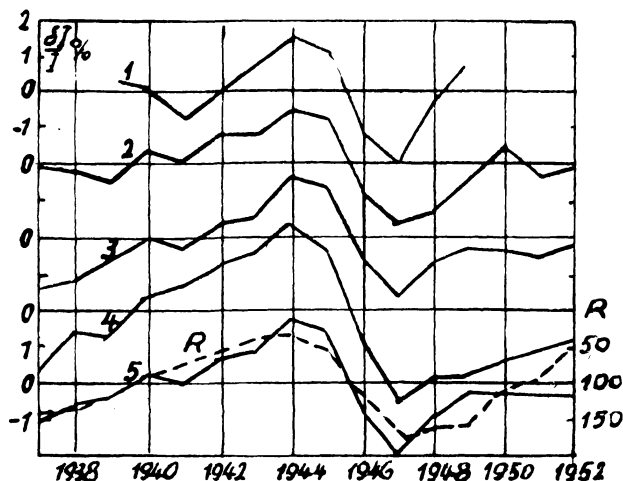
Nyní jde o to, jaký je vztah periodického opakování magnetických bouří se stejnou periodičností intenzity kosmického záření. V práci [27] je ukázáno, že magnetické bouře, působící změny v intenzitě kosmického záření, tzv. *S*-bouře, se opakují pravidelně po 27 dnech, kdežto magnetické bouře, nepůsobící změny v intenzitě kosmického záření, tzv. *M*-bouře, vznikají zcela nepravidelně. Dále bylo zjištěno, že když vyloučíme ty sluneční rotace, na něž připadají magnetické bouře, snižující intenzitu kosmického záření o více než 1%, tak amplituda 27denních variací se zmenší dvakrát.

Tyto důležité souvislosti 27denních variací veličin, charakterisujících geomagnetickou aktivitu, s 27denními variacemi intenzity kosmických paprsků, nám umožňují usuzovat na podstatu a základní příčinu těchto variací. Vzhledem k tomu, že intenzita kosmických paprsků je během magnetických bouří silně ovlivňována, je možno domnívat se, že tyto efekty magnetických bouří jsou základní příčinou 27denních variací. Vystává nesnáze pouze při interpretaci fázového rozdílu mezi křivkami intenzity kosmických paprsků a křivkami geomagnetické aktivity. Tato nesnáze však není zásadního charakteru pro vysvětlení podstaty 27denních variací pomocí poklesů intenzity kosmických paprsků během magnetických bouří.

3. Variace s dlouhodobou periodou

Nejvýznačnější dlouhodobou variací intenzity kosmických paprsků je 11roční variace, podmíněná 11ročním cyklem sluneční činnosti. Již v práci [28] bylo ukázáno na těsnou souvislost mezi středními ročními hodnotami intenzity kosmických paprsků (tvrdé složky) a středními ročními hodnotami rela-

tivních čísel slunečních skvrn R^{**}), které jsou hlavním ukazatelem činnosti Slunce. Zjistilo se však, že je nutné zavést jisté korekce pro naměřené hodnoty kosmických paprsků, aby se vyloučily aparaturní chyby, uplatňující se právě při vyhodnocování dlouhodobých variací. V další práci [29] byl již s přihlédnutím k těmto korekcím vyhodnocen průběh intenzity tvrdé složky během r. 1937–1952 pro celou síť stanic ústavu Carnegie (obr. 13). Z obr. 13 je vidět,



že jednotlivé křivky pro stanice Godhavn, Cheltenham, Huancayo a Christchurch mají průběhy velice shodné a polohy jejich maxim a minim se přesně shodují. Dobrá je také korelace těchto křivek s křivkou relativního počtu slunečních skvrn.

Obr. 13. Střední roční intenzita mesonů μ . 1 – Godhavn, 2 – Cheltenham, 3 – Huancayo, 4 – Christchurch, 5 – křivka středních hodnot, čárkovaná křivka – střední roční změny relativního počtu slunečních skvrn R .

V téže práci byla studována podstata 11ročních variací. Je známo, že se vzrůstem sluneční činnosti vzrůstá počet magnetických bouří. Bylo by možno se tedy domnívat, že pozorované zmenšení intenzity kosmických paprsků v maximu sluneční činnosti je způsobeno právě efekty poklesu intenzity kosmických paprsků během magnetických bouří. Pro objasnění tohoto problému byly v práci [29] vyhodnoceny střední hodnoty změn intenzity v mezinárodních magneticky klidných dnech a magneticky aktivních dnech a ukázalo se, že v maximu sluneční činnosti mají aktivní dny intenzitu kosmických paprsků o 0,7–0,9% menší než v klidné dny, zatímco v minimu sluneční činnosti je tento rozdíl nepatrný.

To znamená, že k amplitudě 11ročních variací ($\sim 3\%$) mohou změny intenzity během magnetických bouří přispívat nejvýše jedním procentem. Zbývající hlavní část 11ročních variací má svůj původ ještě v jiném působení slunečních korpuskulárních proudů na intenzitu kosmických paprsků. Podle Parkera [47] je toto působení zprostředkováno existencí neuspořádaného magnetického pole uvnitř heliocentrické slupky, rozprostírající se od oběžné dráhy Marsu k oběžné dráze Jupitera. Její rozměry byly odvozeny z charakteru ubývání intenzity kosmických paprsků po velkém vzrůstu intenzity 23. února 1956. Tato heliocentrická slupka neuspořádaného pole při rychlosti slunečních kor-

***) Hodnoty těchto čísel se určují tak, že je-li během dne g skupin slunečních skvrn, v nichž je f jednotlivých skvrn, pak pro tento den je relativní číslo dáno vztahem

$$R = G(10g + f)$$

Součinitel G závisí na způsobu sčítání a rozdělování ve skupiny a na zvětšení a jakosti obrazu Slunce.

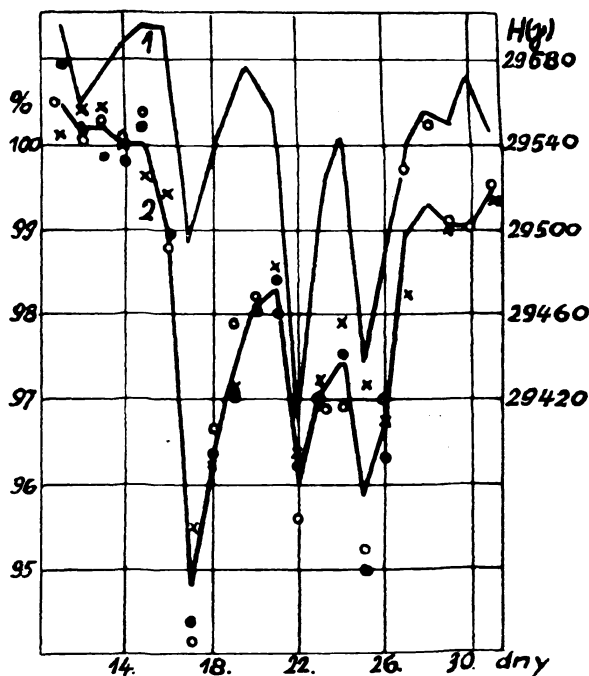
puskulárních proudů 500–1500 km/sec silně ovlivňuje intenzitu kosmických paprsků ve vnitřním slunečním systému. V práci [47] odvozený vztah pro heliocentrickou depresi intenzity kosmických paprsků dává diferenciální energetické spektrum, dobře souhlasící s pozorovaným diferenciálním spektrem. Je možné se tedy domnívat, že působení slunečních korpuskulárních proudů na heliocentrickou slupku neuspořádaného magnetického pole je hlavní příčinou 11ročních variací.

Další dlouhodobou variací intenzity kosmických paprsků je variace roční. Amplituda této variace pro μ -mesonovou složku na úrovni moře je $\sim 0,5\%$. Vzhledem k tomu, že roční změny intenzity kosmických paprsků jsou silně modulovány sezónními změnami (teplotní efekt), došlo se k odhalení ročních variací teprve v nedávné době. Dále bylo ukázáno, že křivky intenzity kosmických paprsků, korigované na teplotu a vztažené k různým místům na Zemi, korelují s ročními změnami C -indexu geomagnetické aktivity a ročními změnami počtu magnetických bouří. Na rozdíl od 11ročních variací lze mít za to, že tyto poměrně nevelké roční variace ($\sim 0,5\%$) jsou vyvolány pouze změnami intenzity kosmických paprsků během magnetických bouří.

§ 3. Nepravidelné variace kosmického záření

1. Poklesy intenzity kosmického záření během magnetických bouří

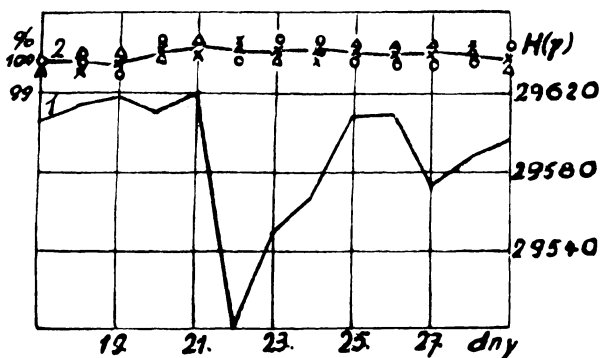
Poklesy intenzity kosmického záření byly již pozorovány v třicátých letech. Měření se ovšem vztahovala pouze k tvrdé složce kosmického záření a byla konána vesměs na úrovni moře. Přesto byl již tehdy vystižen správný charakter těchto změn — ostrý pokles intenzity kosmických paprsků v počátku hlavní fáze magnetické bouře a dále pomalé vzrůstání až k normální hodnotě intenzity, trvající několik dní. Později bylo registrováno na jednotlivých stanicích, vzájemně od sebe značně vzdálených, několik poklesů současně, z nichž největší byl během magnetické bouře 24. dubna 1937, kdy se pozorovalo zmenšení



Obr. 14. Změny intenzity kosmických paprsků během magnetické bouře 16. ledna 1938. \circ — Cheltenham, \times — Huancayo, \bullet — Boston; křivka 1 — horizontální složka magnetické intenzity (pravá škála); křivka 2 — střední intenzita kosmických paprsků (levá škála).

intensity kosmických paprsků o 4%. Tím bylo po prvé ukázáno, že poklesy mají charakter celosvětový. Na obr. 14 je zachycena změna intensity kosmických paprsků během magnetické bouře 16. ledna 1938. Je vidět, že pokles při této bouři dosahuje dokonce až 6% a že pro různé stanice nastávají poklesy současně; rovněž korelace mezi změnami H (horizontální složka zemského magnetického pole) a změnami intensity kosmických paprsků je dobrá.

Vzhledem k tomu, že kosmické paprsky jsou elektricky nabitě částice, bylo by možné se domnívat, že při změnách intensity geomagnetického pole musí na Zemi nutně docházet i ke změnám intensity kosmických paprsků. Experimenty však ukazují, že se změnami magnetického momentu Země není bezprostředně spojena intenzita kosmických paprsků a že ne všemi magnetickými bouřemi je ovlivňována. Na obr. 15 je vidět, že magnetická bouře



21. srpna 1937, která silně ovlivnila intenzitu magnetického pole Země, nezaznamenala v intenzitě kosmických paprsků žádnou změnu.

Obr. 15. Intenzita kosmických paprsků a magnetická bouře 21. srpna 1937. \circ — Cheltenham, Δ — Teoloyucan, \times — Huancayo; křivka 1 — horizontální složka magnetické intenzity (pravá škála); křivka 2 — střední intenzita kosmických paprsků (levá škála).

Od r. 1937 do r. 1946 bylo zaznamenáno celkem 156 magnetických bouří. Pro takovýto počet je již možno stanovit určité statistické zákonitosti. Magnetické bouře lze podle velikosti změny geomagnetického pole uspořádat do tří kategorií, a to tak, že první kategorie je zastoupena velmi silnými magnetickými bouřemi, druhá silnými magnetickými bouřemi a třetí mírnými magnetickými bouřemi. V tabulce III. jsou magnetické bouře z r. 1937—1946 uspořádány do jednotlivých kategorií pro různé hodnoty středních poklesů intensity kosmických paprsků $\left(\frac{\delta I}{I}\right)$, získaných z experimentálních hodnot čtyř stanic (Huancayo, Cheltenham, Godhavn a Christchurch).

Tabulka III

Kategorie mag. bouří	$\left(\frac{\delta I}{I}\right)$, %	0—0,5	0,6—1,5	1,6—2,5	>2,5	Celkový počet
	Velmi silná magn. bouře	0	6	8	4	
Silná magn. bouře	10	12	7	5	34	
Mírná magn. bouře	79	23	2	0	104	
Celkový počet magn. bouří		89 (57%)	41 (26%)	17 (11%)	(9) 6%	156

První sloupec tabulky III., odpovídající magnetickým bouřím, nemajícím vliv na intenzitu kosmických paprsků, obsahuje více než 50% celkového počtu magnetických bouří, při čemž podstatná část jich náleží ke kategorii mírných bouří a v kategorii velmi silných bouří tohoto sloupce se nevyskytuje žádná.

Střední pokles $\left(\frac{\delta I}{I}\right) > 2,5\%$ se pozoroval jen pro devět magnetických bouří (5 pro kategorii silných a 4 pro kategorii velmi silných bouří). Z tabulky je vidět, že čím větší je síla magnetické bouře a čím větší je střední pokles $\left(\frac{\delta I}{I}\right)$, tím menší je počet magnetických bouří.

V další tabulce IV. je možno pozorovat změny počtu magnetických bouří po jednotlivých letech (od r. 1937 do r. 1946) pro kategorii silných a velmi silných magnetických bouří dohromady a pro kategorii mírných magnetických bouří, se středními ročními změnami relativního počtu slunečních skvrn R . Je vidět, že s relativním počtem slunečních skvrn lépe korelují silné a velmi silné magnetické bouře než mírné magnetické bouře.

Tabulka IV

	Roky										Koefi- cient kore- lace sR
	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	
Relativní počet slunečních skvrn R ..	114	110	89	68	48	27	15	11	36	82	1,00
Počet silných a velmi silných magnet. bouří	5	13	9	8	8	2	0	2	3	9	0,79
Počet mírných magnet. bouří	9	13	11	10	8	10	12	8	4	15	0,39

Uvedeme zde ještě výsledky statistického zpracování změny intenzity kosmických paprsků během 42 magnetických bouří od r. 1949—1951 (30).

1. Jde-li o takovou magnetickou bouři, při které se intenzita kosmických paprsků mění, tak tato změna může být pouze pokles.
2. Nedá se předepsat pevný vztah mezi intenzitou magnetického pole Země a intenzitou kosmických paprsků.
3. U měkké složky kosmických paprsků změny během magnetické bouře jsou $2,5 \pm 1$, 1krát větší než změny u tvrdé složky.
4. Magnetické bouře, které mají krátkou dobu trvání a mají vliv na intenzitu kosmických paprsků, způsobují jen malé poklesy.

Experimentálních dat, vztahujících se k střední denní intenzitě tvrdé složky kosmických paprsků a k magnetickým bouřím v Huancayo během r. 1936 až 1945 bylo v práci [27] použito k poněkud jinému statistickému interpretování. Klasifikace magnetických bouří zde nebyla provedena na základě změn geomagnetického pole, ale na základě vlivu magnetických bouří na intenzitu kosmických paprsků. Magnetické bouře, které mají vliv na intenzitu kosmických paprsků, byly označeny jako S -bouře a bouře, které neovlivňují intenzitu

kosmických paprsků, jako *M*-bouře. Rovněž během cyklu sluneční činnosti počet *S*-bouří se mění stejným způsobem jako relativní počet slunečních skvrn. Počet *M*-bouří se však během tohoto cyklu téměř nemění (obr. 16). Dále bylo zjištěno, že křivky 27denních variací intenzity kosmických paprsků při *S*-bouřích mají výrazný sinusoidální průběh, kdežto při *M*-bouřích jej ztrácejí.

Rozdílné ovlivňování intenzity kosmických paprsků při *S*- a *M*-bouřích je v práci [27] vykládáno tak, že v případě *S*-bouří vliv na kosmické paprsky je zprostředkován korpuskulárními oblaky, nesoucí silná magnetická pole

a vycházející v širokých prostorových úhlech z erupčních oblastí slunečních skvrn. Naopak o *M*-bouřích se předpokládá, že jsou vyvolávány korpuskulárními proudy, které vycházejí nepřetržitě ze Slunce během několika jeho otočení kolem své osy a které nenesou tak silná magnetická pole. Tyto korpuskulární proudy mají nejpravděpodobněji ohniska svého vzniku v Bartelsových *M*-oblastech, magnetických poruchových centrech na Slunci.

Probereme nyní ještě některé další interpretace jevů, představovaných změnami intenzity kosmických paprsků během magnetických bouří. Jedním z prvních pokusů o vysvětlení těchto jevů byla teorie, kterou vypracovali Chapman a Ferraro [31] a jež spočívá na existenci kruhového korpuskulárního proudu, tekoucího kolem Země v rovině geomagnetického rovníku a ve vzdálenosti několika zemských poloměrů. Přesto, že tato teorie znamenala pro otázky geomagnetismu jistý přínos, nepodařilo se jí vysvětlit pozorované poklesy v intenzitě kosmických paprsků.

Poněkud úspěšnější pro vysvětlení poklesů intenzity kosmických paprsků byla teorie Brunberga a Dattnera [16], rozvinutá na základních představách Alfvénových, podle něhož poklesy během magnetických bouří

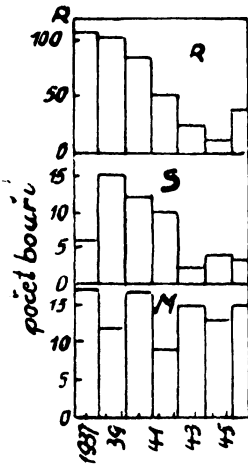
jsou vyvolány brzděním na Zemi dopadajících kosmických částic elektrickým polem korpuskulárních proudů, vyvolávajících právě magnetickou bouři. Její platnost je však omezena na sluneční původ kosmických paprsků.

Další teorií, vysvětlující poklesy intenzity kosmických paprsků, je teorie Morrisonova [32]. Základní myšlenkou této teorie je předpoklad, že na korpuskulárních proudech emitovaných ze Slunce nastává rozptyl kosmických částic v důsledku nehomogenní struktury jejich magnetického pole. Dále se předpokládá, že emitovaný, úplně ionisovaný plyn je neprostupný pro kosmické částice u Slunce a že během doby, než dostihne Země, se nestačí zaplnit difusí částic na normální hustotu.

Z difusní teorie vyplývá, že hustota částic $j(p, t)$ v původně prázdné oblasti, do níž v čase t difundují částice o neporušené (galaktické) hustotě $j(p, \infty)$, je dána vztahem

$$j(p, t) = j(p, \infty) \left(1 - 2e^{-\frac{\pi^2 \lambda c t}{3R^2}} \right),$$

kde R je poloměr oblasti, λ střední volná dráha částic uvnitř oblasti, p impuls částic a c rychlost částic (rychlost světla).



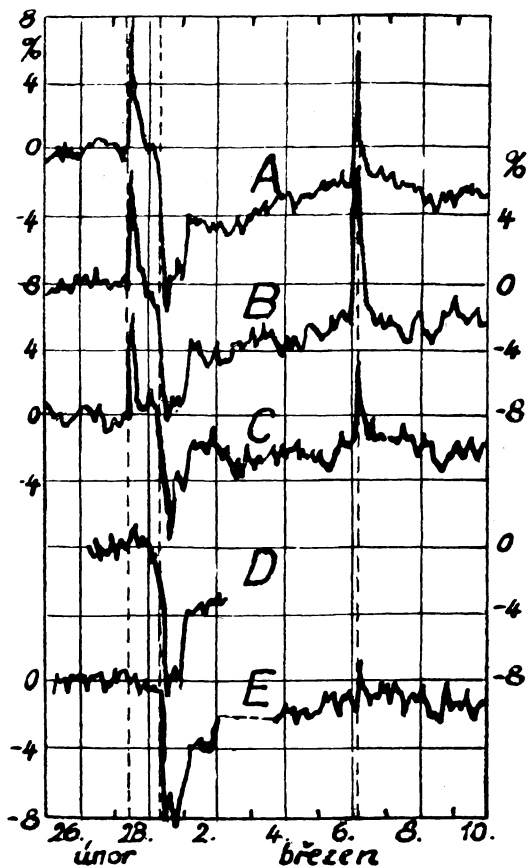
Obr. 16. Změny relativního počtu slunečních skvrn a počtu *S*- a *M*-bouří během r. 1936—1945.

Pro částice s impulsem 30 GeV/c (1 GeV = 10^9 eV), $\lambda \approx 6 \cdot 10^{10}$ cm a pro $R \sim 10^{13}$ cm a střední čas $t \sim 10^5$ sec, během kterého korpuskulární proudy dostihují Země, dostáváme $\frac{j(p, 10^5)}{j(p, \infty)} \approx 0,95$. Při zasažení Země takovýmto oblakem intenzita kosmických paprsků tedy poklesne o 5%.

Pro částice s impulsem $p = 4$ GeV/c je λ menší $\sim 3 \cdot 10^{10}$ cm a $\frac{j(p, 10^5)}{j_j(p, \infty)} \approx 0,75$. Pro tento případ je tedy pokles 25%. Je-li Země v jednom z takovýchto oblaků, pak po náhlém poklesu bude během několika dní intenzita kosmických paprsků vzrůstat k normální galaktické úrovni $j(p, \infty)$ podle hořejšího vztahu. Na této teorii je nutno zvláště ocenit to, že popisuje poklesy nejen podle amplitudy (pro dané energie), ale že je popisuje i časově.

Posledním pokusem o vysvětlení poklesů během magnetických bouří je teorie Parkerova [47]. V polárních oblastech (asi od 65°) se pozorují pohyby siločar zemského magnetického pole. To je dostatečnou příčinou k předpokladu, že existuje neuspořádané magnetické pole, rozložené geocentricky kolem Země, ve vzdálenosti přibližně šesti zemských poloměrů. Zasáhne-li toto neuspořádané geomagnetické pole sluneční korpuskulární proud, nastane zmenšení koeficientu difuze

Obr. 17. Vzrůsty intenzity kosmických paprsků 28. února a 7. března 1942. A — Godhavn, B — Cheltenham, C — Christchurch, D — Teoloyucan, E — Huancayo. První svíslá čárkovaná přímka (odleva doprava) vyznačuje přerušení rádiového spojení v 11 hod. sv. č., druhá — počátek magnetické bouře v 7 hod. 05 min. sv. č., třetí — další přerušení rádiového spojení ve 4 hod. 07 min. sv. č.



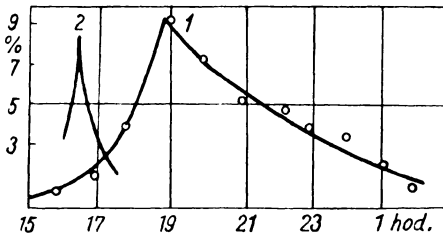
částic a pokles intenzity kosmického záření. Teoretický výraz pro poklesy, odvozený pro konkrétně zvolený model neuspořádaného magnetického pole, dává hodnoty, které dobře souhlasí s pozorovanými poklesy.

2. Vzrůsty intenzity kosmického záření při velkých chromosférických erupcích

Během posledních dvaceti let bylo pozorováno pět vzrůstů intenzity kosmického záření, co do amplitudy však převyšují všechny ostatní variace. Jejich zachycení je možné pouze za podmínek nepřetržité registrace intenzity kosmic-

kého záření, protože jejich výskyt je nepravidelný a trvání velmi krátké. Experimentální data pro první tři vzrůsty se vztahují k μ -mesonové složce, pouze při posledních dvou vzrůstech byla registrována i neutronová složka. Vzrůsty intenzity vznikají bezprostředně po chromosférických erupcích a jsou tedy podmíněny generací kosmických paprsků s energií několika GeV přímo na Slunci. Důležitost studia těchto variací tkví v tom že podmínky, za nichž vznikají kosmické paprsky na Slunci, jsou více prostudovány než podmínky jejich vzniku v galaktické soustavě. Tyto vzrůsty přispěly i velkou měrou k rozvinutí nových představ o meziplanetárním magnetickém poli, což se ukázalo důležitým pro objasnění některých jiných variací.

První dva vzrůsty intenzity kosmických paprsků byly pozorovány 28. února a 7. března 1942. Na obr. 17 jsou tyto změny zachyceny pro stanice Godhavn, Cheltenham, Christchurch, Teoloyucan a Huancayo [33]. Podobné výsledky byly získány pro Londýn [34], Fridrichstrassen [35], Amsterdam [36] a [Norfolk [37]. Z obr. 17 je vidět že vzrůst byl zaregistrován na všech stanicích (ve 14. hod. 00 min. světového času), kromě stanic Teoloyucan a Huancayo, ležících na nízkých šířkách a na rovníku. Vzrůst trval několik hodin a 1. března byl vystřídán prudkým poklesem intenzity (o 8–10%), pozorovaným na všech stanicích. Pak následovalo pomalé vzrůstání k normální hodnotě až do 7. března, kdy na všech stanicích s výjimkou Huancayo byl zaregistrován další vzrůst



Obr. 18. Vzrůst intenzity kosmických paprsků na Mount Wilson (křivka 1) a změna šířky čáry H_{α} (křivka 2) během 25. července 1946.

intenzity (data pro Teoloyucan chybí). Velikost tohoto vzrůstu je od 6% pro Christchurch, do 30% pro Fridrichstrassen. Maxima bylo dosaženo okolo 6 hod. světového času.

Během těchto změn intenzity byla veliká sluneční aktivita a první vzrůst byl doprovázen velmi silnou magnetickou bouří. Na Slunci byla velká skupina skvrn, jejichž plocha, podle observatoře na Mount Wilson, byla $2 \cdot 10^{-3}$ slunečního disku. Dvě největší skvrny ve skupině byly opačné magnetické polarity s maximální hodnotou pole 4800 gaussů.

28 února v 11. hod. 07 min. světového času se pozorovalo přerušení rádiového spojení, což obvykle doprovází sluneční erupce. Ve 12 hod. 40 min. byla vizuálně tato erupce pozorována v blízkosti skupiny slunečních skvrn, která během šesti hodin přešla přes centrální meridián Slunce na šířce 14° . Viditelnost erupce trvala okolo 3,5 hod. Po projití této erupce centrálním meridiánem následovala 1. března velmi silná magnetická bouře se změnou horizontální složky magnetického pole Země o 512 γ a s velkým poklesem intenzity kosmických paprsků.

Vzrůst intenzity 7. března byl rovněž vyvolán sluneční erupcí, přesto že se jí nepodařilo vizuálně pozorovat. Přerušení rádiového spojení nastalo ve 4 hod. 07 min. sv. č.

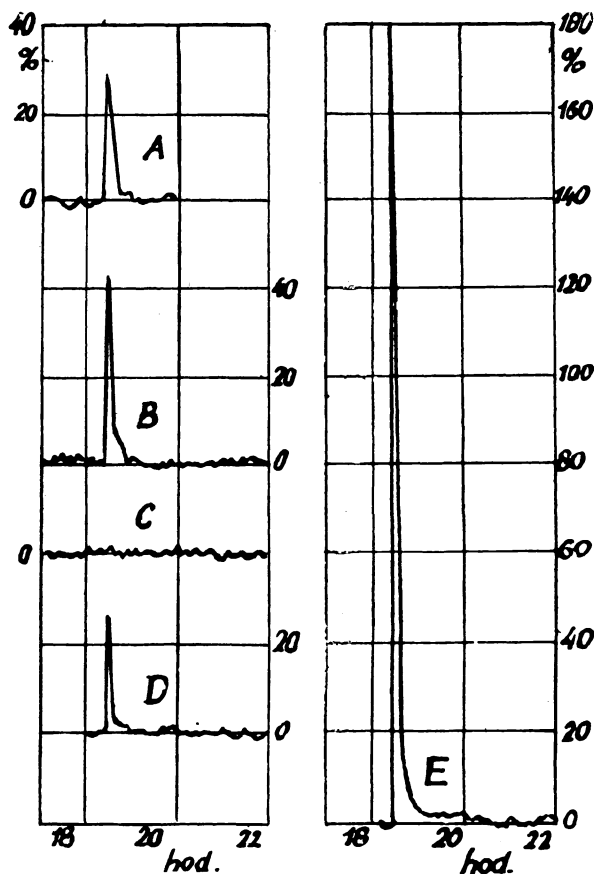
Další vzrůst nastal až 25. července 1946, kdy mezi bipolární skupinou slunečních skvrn, 15° na východ od centrálního meridiánu vznikla velká sluneční

erupce. Tato erupce byla zpozorována na několika observatořích. Začala v 16 hod. 20 min. sv. č. při tom šířka čáry H_{α} byla $6,5 \text{ \AA}$, maxima dosáhla v 16 hod. 27 min., kdy šířka čáry H_{α} byla 15 \AA a pak pomalu klesala do 18 hod. 20 min. Během krátkého času začala vzrůstat i intenzita kosmických paprsků; v Manchesteru byl zaznamenán vzrůst o 13%.

Maxima intenzity bylo dosaženo za více než půldruhé hodiny po maximu sluneční erupce. Čas mezi začátkem vzplanutí erupce a začátkem vzrůstu intenzity kosmických paprsků byl přibližně 40 min. Statistické fluktuační nedovolují tento časový odstup určit přesně. Na obr. 18 je ukázáno vzrůstání šířky čáry H_{α} vzhledem k její normální hodnotě v % (tento jev doprovází i ostatní velké sluneční erupce) [38]. Na tomtéž obrázku je zachycen i pozdější vzrůst intenzity kosmických paprsků na Mount Wilson.

Vzrůsty intenzity se pozorovaly i na ostatních stanicích. Na rovníkových stanicích však nebyly zaznamenány žádné [39]. Nutno ještě dodat, že 25. července 1946 byl vzrůst podobně jako 28. února 1942 doprovázen magnetickou bouří, která začala 26. července a pokles intenzity byl 8%.

19. listopadu 1949 byl zaregistrován další velký



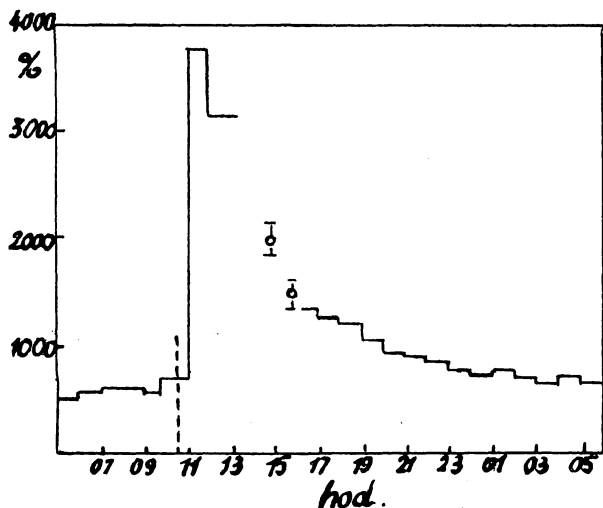
Obr. 19. Vzrůst intenzity kosmických paprsků 19. listopadu 1949. A — Godhavn, B — Cheltenham, C — Huancayo, D — Christchurch, E — Climax.

vzrůst intenzity kosmických paprsků. Sluneční erupce byla vizuálně pozorována v Edinburgu Ellisonem. Tato erupce začala v 10 hod. 29 min., maxima intenzity dosáhla v 10 hod. 32 min. a pak pomalu klesala do 12 hod. 09 min. Její vzplanutí se objevilo ve skupině slunečních skvrn, 70° západní heliografické délky a 2° jižní šířky. Maximální šířka čáry H_{α} v tomto případě byla $20,9 \text{ \AA}$ (40). Prerušení rádiového spojení nastalo v 10 hod. 30 min. Vzrůst intenzity kosmických paprsků v Godhavn činil 30%, v Cheltenham 40% a v Climax (Kolorado, vysokohorská stanice 3500 m n. m.) dokonce 180%. Na rovníkové stanici Huancayo nebyl opět zaznamenán žádný vzrůst (obr. 19).

Vzrůst v Climax začal v 10 hod. 45 min. světového času a maxima bylo dosaženo mezi 10 hod. 45 min. a 11 hod. 00 min. Z hodnot vzrůstů v Climax a Cheltenham byla v [41] získána hodnota koeficientu absorpce částic $1\frac{1}{3}7$ $g^{-1} cm^2$. Vzhledem k této hodnotě koeficientu absorpce byl učiněn závěr, že vzrůsty intenzity jsou vyvolávány nukleony a nikoli mesony.

V Ottawě vzrostla intenzita o 70% [42], počátek vzrůstu byl v 10 hod. 48 min. a maxima bylo dosaženo v 10 hod. 54 min. V Resolute Bay byl vzrůst pouze 12–15% s maximem o 50 min. později než v Ottawě. Stejná amplituda 10–20% byla pozorována i na několika německých stanicích [43], při čemž počátek připadl na 11 hod.

a maxima bylo dosaženo v 11 hod. 30 min. Z těchto výsledků je patrné, že na evropských stanicích maximum vzrůstu nastalo později a vzrůst byl značně menší než na amerických stanicích.



Obr. 20. Vzrůst intenzity neutronů v Manchesteru 19. listopadu 1949. Čárkovaná svislá čára označuje počátek sluneční erupce.

19. listopadu 1949 byla v Manchesteru prvně také registrována neutronová složka. Vzrůst intenzity neutronové složky dosáhl téměř 600% vzhledem k normální úrovni [44]. Jako detektorů neutronů bylo použito dvou proporcionalních počítačů, plněných trifluoridem boru BF_3 , umístěných v grafitovém bloku a schopných registrovat neutrony s energií do 10 GeV. Variace neutronové intenzity dosáhla maxima mezi 11 hod. 00 min. a 12. hod. 00 min. a za 12 hod. pomalým poklesem intenzita opět dosáhla normální hodnoty (obr. 20).

Vedle této veliké změny intenzity neutronů byl v Manchesteru zaznamenán vzrůst ionisující složky pouze o 11%. Protože vzrůstání neutronové složky se pozorovalo po západu Slunce, primárními částicemi nemohly být rychlé neutrony, ale elektricky nabitě částice. V práci [45] bylo ukázáno, že jestliže primárními částicemi jsou protony s energií 2–5 GeV, tak sekundární mesony mají malou energii a rychle se pohlcují v atmosféře. Naopak sekundární neutrony, pohlcující se méně a mohou dosáhnout úrovně moře. V důsledku toho možno očekávat, že vzrůstání intenzity primárních protonů takovýchto energií vyvolá na úrovni moře mnohem větší změny intenzity neutronů než intenzity ionisující složky. Předpoklad, že vzrůstání intenzity sekundárních neutronů je vyvoláno méněenergetickými primárními částicemi, vysvětluje také to, že na rovníkové stanici Huancayo nebyl pozorován žádný vzrůst. Minimální energie, nutná k proniknutí protonu v místech geomagnetického

rovníku magnetickým polem Země, je vyšší než předpokládaný energetický interval primárních protonů, vyvolávajících vzrůsty.

Poslední vzrůst intenzity kosmických paprsků byl zaznamenán 23. února 1956, který co do velikosti byl mnohokrát větší než všechny předcházející. Byl zachycen velkým počtem stanic a pro různé složky kosmických paprsků.

22. února Wolfovo číslo slunečních skvrn dosáhlo hodnoty $R = 157$, 23. února — 163 a 24. února — 141. Sluneční aktivita byla tedy 23. února neobyčejně vysoká. Erupce vzplanula na kraji viditelné části slunečního disku, 74° západní délky a 23° severní šířky. Počátek vzplanutí byl ve 3 hod. 31 min. ± 1 min., dosažení maxima — 3 hod. 42 min. a ve 4 hod. 15 min. erupce zmizela. (časové údaje jsou dány ve světovém času). Šířka čáry H_{α} v maximu dosáhla 18 Å.

Během sluneční erupce bylo pozorováno také velké vzrůstání intenzity rádiového záření na vlnách 3,2 cm, 8 cm, 10 cm, 1,5 m, 3,5 m a 15 m. Na osvětlené polokouli Země došlo k úplnému přerušení rádiového spojení na krátkých vlnách [46].

Jak byla ovlivněna intenzita kosmických paprsků po sluneční erupci 23. února 1956, je ukázáno v tab. V., kde je souhrn téměř všech stanic, které zachytily vzrůst. Pro jednotlivé stanice jsou udány geomagnetické souřadnice, výška nad mořem a $\frac{\delta I_{\max}}{I}$ — maximální hodnota vzrůstu intenzity kosmických paprsků, vyjádřená v procentech, vzhledem k normální úrovni. Stanice jsou seřazeny podle klesající geomagnetické šířky od severu k jihu. Jednotlivé druhy přístrojů pro stanice jsou označeny písmeny, K — ionizační komora se stíněním 10—12 cm Pb, N — neutronový monitor, P — počítačový teleskop (index M znamená měkkou složku, O — ionisující složku, ostatní čísla v indexu znamenají stínění v cm Pb). Dále pro některé počítačové teleskopy je označen také jejich prostorový úhel a směr příchodu registrovaných částic.

Z tabulky V je vidět, že vzrůst intenzity kosmických paprsků 23. února 1956 převyšuje všechny předcházející. Dále je vidět, že mezi velikostí vzrůstu a geomagnetickou šířkou není téměř žádná závislost, na rozdíl od předcházejících vzrůstů. Uživeme pro srovnání údajů, vztahujících se k ionizačním komorám.

Tak v Godhavn na 80° s. š. $\frac{\delta I_{\max}}{I} = 50-60\%$, na Mysu Schmidta na 63° s. š., 200%. V Cheltenham na 50° s. š. $\frac{\delta I_{\max}}{I} = 90\%$, na téže šířce v Moskvě 200—400%, v Jakutsku 200%, ve Sverdlovsku 280—500%, ve Freiburgu 200%. Na jižní polokouli v Hobart 52° j. š. vzrůst byl 137%, v Christchurch 48° j. š. pouze 30%.

Zákonitá závislost se zdá být pouze při přechodu od středních šířek k rovníku. V Tbilisi na 36° s. š. vzrůst byl dvakrát menší než severněji v Moskvě. V Mexico na 29° s. š. vzrůst byl také dvakrát menší než v Cheltenham; v Tokio (Itabaš) na 26° s. š., 7—8%. Neočekávaná hodnota vzrůstu je však na rovníkové stanici Huancaayo (3350 m n. m.) 20—23%. Znamená to, že musel existovat ještě tok částic s energií > 15 GeV.

Dále je z tabulky V vidět, že neutronové monitory jsou podstatně více citlivější na méněenergetické částice a že hodnoty $\frac{\delta I_{\max}}{I}$ dosahují řádově až několika tisíc %.

Tabulka V

Číslo stanice	Geomagn. šířka	Geomagn. délka	Stanice	Přístroje	$\frac{\delta I_{\max}}{I}$, %
1 2 3	82,9° 79,8° 62,8°	289,3° 32,5° 227,4°	Resolute Bay (Kanada) Godhavn (Gronsko) Mys Schmidta (SSSR)	P_{14} K K	18–20 50–60 200
4	61,5°	95,1°	Bergen (Norsko)	P_M $P_0(35^\circ \times 57^\circ)$ $P_{10}(35^\circ \times 57^\circ)$ $P_{29}(45^\circ \times 60^\circ)$ $P_{29}(18^\circ \times 45^\circ)$ P_{29} (ze záp.) P_{29} (z vých.)	300–400 142± 8 89– 10 63± 23 56± 8 34± 10 25± 10
5	58,1°	105,9°	Stockholm (Švédsko)	N $P_0(15^\circ \times 15^\circ)$ P_0 (ze sev.) P_0 (z jihu) P_0 (kub.)	4000–5000 200 160 120 140
6	56,8°	351,1°	Ottawa (Kanada)	N $P_{14,4}$ $P_{2,4}$	3000 18 30
7 8 9 10 11	54,3° 54,3° 54,2° 52,6° 52,3°	83,7° 83,7° 89,2° 336,8° 93,6°	Greenwich (Anglie) Londýn (Anglie) Amsterdam (Holandsko) Chicago (USA) Göttingen (Německo)	P_{10} P_0 K N N	115 280 200 2190 2600
12	51,8°	93,4°	Weissenau (Německo)	N P_8	2000 220
13	51°	193,8°	Jakutsk (SSSR)	K P_8 P_8 (ze sev.) P_8 (z jihu)	200 200 165 190
14 15 16	50,8° 50,1° 49,3°	120,5° 350,4° 89,9°	Moskva (SSSR) Cheltenham (USA) Freiburg (Německo)	K K K	200–400 90 200
17 18	48,1° 48,1°	140,6° 315,5°	Sverdlovsk (SSSR) Climax (USA), 3500 m	K N	280–500 2400–2800
19	44,1°	298,2°	Berkeley (USA)	N P_0 P_{20}	600–500 40–50 20–30

Číslo stanice	Geomagn. šířka	Geomagn. délka	Stanice	Přístroje	$\frac{\delta I_{\max}}{I}$, %
20	42,4°	92,1°	Řím (Italie)	P_0 P_0 (z jihu) P_0 (ze severu)	210–250 180–200 170–180
21 22	41,6° 36,3°	317,6° 122°	Sacramento Peak (USA) 3000 m Tbilisi (SSSR)	N K	1000 100–200
23	29,4°	327,2°	Mexico (Mexico) 2200 m	N K	130 40–45
24	28°	350°	Jamajka	P_{10}	40–50
25	25,6	203,6°	Norikura (Japonsko). 2876 m	N K	52 18
26	25,5°	205,5°	Tokio — Itabaš (Jap.)	P_0 (87° 87°) K	13 7–8
27	25,4	205,5°	Tokio — Mabaši (Jap.)	P_0 (40° 40°) P_{10} (40° 40°)	10–13 8–9
28 29 30	24,7° 13,9° 0,6°	203,2° 143,9° 147,1°	Nagoya (Japonsko) Ahmedabad (Indie) Kadaikanal (Indie)	P_0 (40° 40°) P_{10} P_{10}	13–15 7,6±1,3 4,8±1,6
31	– 0,6°	353,8°	Huancayo (Peru) 3350 m	N K	30–40 20–23
32 33 34	– 1,1° – 48,1° – 45,4°	146,2° 252,6° 253,9°	Trivandrum (Indie) Christchurch (Nový Zéland) Wellington (Nový Zéland)	P_{10} K N	4,6±1,6 30 570–600
35	– 51,6°	224,6°	Hobart (Austrálie)	K P_{10} P_{10} (z vých.)	>137 280 120
36	– 61,1°	243,1°	Macquarie Is (Austrálie)	P_{10} P_{20}	180 160

Rozložení vzrůstu podle geomagnetických délek a jejich změny s časem ukazují na anisotropii primárního toku kosmických částic při dopadu na Zemi. Toto rozložení vzrůstů vzhledem k délkám a času je přibližně stejné pro ionizační komory, počítačové teleskopy i neutronové monitory.

Z pěti doposud pozorovaných vzrůstů intenzity kosmických paprsků je možno stanovit tyto jejich charakteristické vlastnosti.

1. Vzrůsty intenzity kosmického záření jsou spojeny s velkými slunečními erupcemi a mezi maximem vzplanutí erupce a maximem intenzity kosmického záření je časový odstup přibližně 1 hod.

2. Velké vzrůsty v intenzitě vznikají nepravidelně, jednou za několik (~ 5) let.

3. Vzrůsty bývají vyvolány převážně méněenergetickými částicemi (do 15 GeV.) Jen při výjimečně silných erupcích mohou ve spektru primárních částic být částice s většími energiemi.

4. Velikost vzrůstu rychle roste s výškou nad mořem a na vysokohorských stanicích je několikrát větší než na úrovni moře.

5. Vzrůsty neutronové složky jsou desetkrát až padesátkrát větší než vzrůsty ionisující složky.

6. Časový průběh vzrůstů je takový, že maxima dosahují během několika minut a klesání do normální úrovně trvá několik hodin.

7. Velikost vzrůstu se značně zmenšuje s klesající geomagnetickou šířkou, což ukazuje opět na to, že vzrůsty jsou vyvolávány méněenergetickými částicemi.

8. Velikost vzrůstu závisí na geomagnetické délce a jeho rozložení podle délek se mění také s časem. Nejvýrazněji se to projevilo při posledních dvou vzrůstech.

Literatura:

- [1] Pernegr J., Petržílka V., Tomášková L., Kosmické záření, Praha 1953.
- [2] Elliot H., *Progress in Cosmic Ray Physics, I*, Amsterdam, 1953.
- [3] Dorman Z. J., *Variacii kosmických luček*, Moskva, 1957.
- [4] Compton A. H., Wollan E. O., Bennett R. D., *Rev. Sci. Instr.* 5, 415, 1934.
- [5] Simpson J. A., Fonger W. H., Treiman S. B., *Phys. Rev.* 90, 934, 1953.
- [6] Dorman Z. J., *DAN SSSR* 95, 49, 1954.
- [7] Hladký J., Chaloupka P., Kadečka V., Kowalski T., Mokřý P., *Čs. Čas. Fys.* 9, 150 1959.
- [8] Elliot H., Dolbear D. W., *J. Atm. Terr. Phys.* 1, 205, 1951.
- [9] Kuzmin A. J., *ŽETF* 28, 614, 1955.
- [10] Kuzmin A. J., *Trudy JFAN, serijska fiz.* 1, 11, 1955.
- [11] Glokova E. S., *Izv. A N SSSR, serijska fiz.* 20, 47, 1956.
- [12] Firor J. W., Fonger W. H., Simpson J. A., *Phys. Rev.* 94, 1031, 1954.
- [13] Sekido Y., Yoshido S., *Rep. Ion. Res. Japan* 4, 37, 1950.
- [14] Sarabhai V., Desai V. D., Venkatesan D., *Phys. Rev.* 98, 1402, 1955.
- [15] Ellison M., *Nature* 158, 450, 1946.
- [16] Brunberg E. A., Dattner A., *Tellus* 6, 73, 1954.
- [17] Hess V. F., Graziadei H. T., *Terr. Magn.* 41, 9, 1936.
- [18] Kolhörster W., *Zs. Phys.* 40, 107, 1939.
- [19] Wäffler H., *Helv. Phys. Acta* 14, 215, 1941.
- [20] Gill P. S., *Phys. Rev.* 55, 429, 1939.
- [21] Monk A. T., Compton A. H., *Rev. Mod. Phys.* 11, 173, 1939.
- [22] Forbush S. E., *Ass. Terr. Magn. Elec. Bull.* 11, 438, 1940.
- [23] Heerden T. J., Thambyaphillai I., *Phil. Mag.* 46, 1238, 1955.
- [24] Simpson J. A., *Phys. Rev.* 94, 426, 1954.
- [25] Kane R. P., *Phys. Rev.* 98, 130, 1955.
- [26] Roka E., *Zs. Naturforsch.* 6 A, 117, 1951.
- [27] Sekido Y., Wada M., *Report. Jonos. Res. Japan.* 9, 174, 1955.

- [28] Roka E. G., Zs. Naturforsch. 5 A, 517, 1950.
 [29] Forbush S. E., J. Geoph. Res. 59, 525, 1954.
 [30] Trumpy B., Physica 19, 645, 1953.
 [31] Chapman S., Bartelo J., *Geomagnetism*, Oxford 1940.
 [32] Morrison P., Phys. Rev. 101, 1397, 1956.
 [33] Lange J., Forbush S. E., Terr. Magn. 47, 251, 1942.
 [34] Duperier A., Proc. Phys. Soc. 57, 468, 1945.
 [35] Ehmert A., Zs. Naturforsch. 3 A, 264, 1948.
 [36] Clay J., Proc. K. Ned. Acad. Wet. 52, 906, 1949.
 [37] Berry E. B., Hess V. H., Terr. Magn. 47, 251, 1942.
 [38] Ellison M., Nature 158, 450, 1946.
 [39] Forbush S. E., Phys. Rev. 70, 771, 1946.
 [40] Ellison M. A., Conway M., Observatory 70, 77, 1950.
 [41] Forbush S. E., Stinkskomb. T. B., Shein M., Phys. Rev. 79, 501, 1950.
 [42] Rose D. S., Phys. Rev. 78, 181, 1950.
 [43] Dieminger et al., J. Atm. Terr. Phys. 1, 37, 1950.
 [44] Adams N., Phil. Mag. 41, 503, 1950.
 [45] Adams N., Braddick H. J. J., Phil. Mag. 41, 505, 1950.
 [46] Gold T., Elliot H., *The solar cosmic ray outburst*, 1956, February 23 (collection of cosmic ray, solar, ionospheric and magnetic data relating to the event., Royal Greenwich, Observatory, 1956).
 [47] Parker E. N., Phys. Rev. 110, 1445, 1958.

POUŽITÍ POLOVODIČOVÝCH FOTOODPORŮ K DETEKCI IONISUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

KAREL HUML

Katedra fyziky pevných látek Mat.-fys. fak. KU

Je zhruba popsán mechanismus fotovodivosti způsobené světlem, ionisujícím zářením X a gama a částicemi alfa, beta, deuterony, protony, a neutrony u polovodičů typu CdS. Jsou uvedeny některé aplikace v medicíně, v rentgenoskopii a technické dosimetrii.

1. Úvod

V současné době je stále více zapotřebí jednoduchých a levných přístrojů k měření ionisujícího záření. Vedle běžných dosimetrů, jako jsou ionizační komora, GM počítač, proporcionální počítač a scintilační počítač, je možno využít i polovodičů, které jsou citlivé na dopadající záření. Ukazuje se, že většina polovodičových látek vlivem záření mění svůj elektrický odpor.

Fotovodivost, způsobená světlem, byla pozorována již asi před sto lety při osvětlení selenu viditelným světlem. Jedním z prvních pracovníků v tomto oboru byl W. Smith [1]. Později bylo zjištěno podobné chování i u jiných polovodičových materiálů. Tak na příklad Gudden a Pohl [2] roku 1920 měřili fotovodivost u ZnS, CdS a HgS v oblasti vlnových délek 7.000 až 2.500 Å.

Vedle fotovodivosti vzbuzené světlem byla pozorována i fotovodivost vzniklá ozářením polovodičů částicemi alfa a beta a paprsky X a gama. Giltay a Haga [3] roku 1896 zjistili, že zvýšení vodivosti selenu může být způsobeno absorpcí paprsků X. Podobné výsledky zjistil Himstedt [4] při použití radia. Ukázalo se, že i malé intensity radioaktivního záření mohou způsobit pozorovatelnou změnu odporu polovodiče. Möglich a Rompe [5] vysvětlují tento