

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

V. I. Krasovskij; Ju. M. Kušnir; G. A. Bordovskij

Zkoumání korpuskulárního záření Slunce pomocí umělých družic Země

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 4 (1959), No. 1, 82--90

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137872>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1959

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>

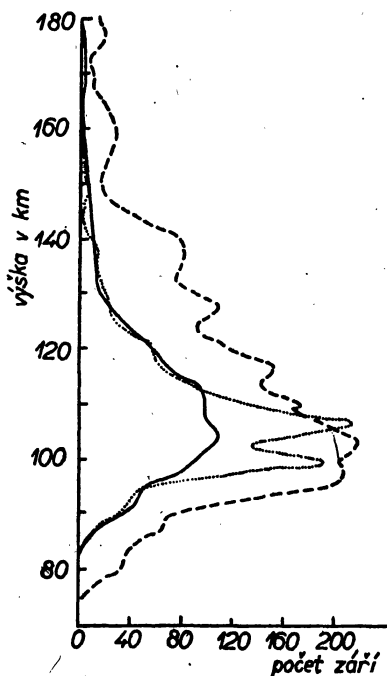
## ASTRONOMIE

### ZKOUMÁNÍ KORPUSKULÁRNÍHO ZÁŘENÍ SLUNCE POMOCÍ UMĚLÝCH DRUŽIC ZEMĚ\*)

V. I. KRASOVSKIJ, JU. M. KUŠNIR a G. A. BORDOVSKIJ

Problém korpuskulárního záření Slunce a jeho vlivu na vysokou atmosféru Země je velmi zajímavý z astrofyzikálního hlediska a má velký význam pro geofyziku. Avšak přes téměř stoleté studium v tomto směru jsme ještě daleko od konečné odpovědi na otázky, které nás zajímají. Nové pozorované skutečnosti a teoretické úvahy zkomplikovaly interpretaci jevů, spojených s pronikáním korpuskul ze Slunce na Zemi. Otázky, týkající se korpuskulárního záření Slunce, je nejvhodnější studovat v procesu jejich historického vývoje. To bude účelné, neboť ani nejstarší materiály dosud neztratily aktuální význam. Jak bylo nyní zjištěno, mají sluneční korpuskule velký vliv na ionosféru, zvyšují ionisaci ve vrstvách *E* a *F*. Vzhledem ke vzniku záření vodíku  $L_{\alpha}$  ( $\sim 1200 \text{ \AA}$ ) vytváří také dodatečnou ionisaci ve vrstvě *D*, což způsobuje absorpci radiových vln [1]. To všechno činí tento problém závažným pro praxi.

Problém korpuskulárního záření Slunce vznikl už v minulém století, když byla zjištěna závislost mezi polárními zářeními, geomagnetickými poruchami a sluneční činností.



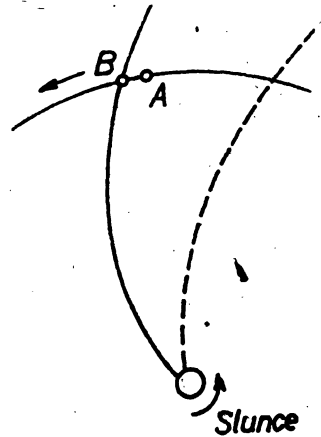
Obr. 1. Rozložení výšek dolních hranic polárních září podle údajů tří norských pozorovacích stanic. Tečkovaná křivka znázorňuje pozorování Végarda a Krognesse, čárkovaná křivka pozorování Störmerova a plná křivka pozorování Störmerova a Bossekopa.

Na začátku našeho století Birkeland [2, 3] a Störmer [4, 5] vyslovili hypotézu, že polární záře způsobují nabitě částice, vylétující ze Slunce, např. elektrony. Tato hypotéza vysvětlila, že nabitě částice dopadají

\*) В. И. Красовский, Ю. М. Кушнир и Г. А. Бордовский, Исследование корпускулярного излучения Солнца с помощью искусственного спутника Земли. Успехи физических наук, sv. LXIV, č. 3, 1958.

hlavně do oblasti okolo magnetických pólů Země, a v každém případě byla kvalitativně potvrzena laboratorním pokusem na modelu. Pokus byl konán se zmagnetisovanou koulí, umístěnou ve zředěném plynu a vystavenou ozáření proudem elektronů. Avšak brzy byla Birkelandova a Störmerova hypotéza podrobena zdrcující kritice Schustera [6]. Schuster ukázal, že proud částic se souhlasným nábojem není možný, protože by se rozptýlil v důsledku intenzivního elektrostatického odpuzování. Aby překonal tuto obtíž, učinil Lindemann [7] předpoklad, že složení korpuskulí, vyletujících ze Slunce, je takové, že je stejný počet částic kladných jako záporných a navenek je proud neutrální.

V tu dobu se také vysvětlila řada velmi zajímavých okolností, týkajících se energie korpuskulárního záření. Na obr. 1 je znázorněna spodní hranice polárních září podle Störmera [8]. Charakterisuje tloušťku látky, kterou mohou částice překonat. Tyto údaje svědčí o tom, že částice, schopné překonat tloušťku atmosféry nad hladinou 100 km, jsou dosti obvyklým jevem. Podle současných představ to odpovídá  $10^{-8}$  g vzduchu nad 1 cm<sup>2</sup>, neboli 1 cm atmosféry za normálního tlaku a teploty [9, 10]. Předpokládáme-li, že proud je navenek neutrální a je složen z protonů a elektronů pohybujících se stejnou rychlostí,



Obr. 2. Zaktivení proudu korpuskulí vysílaných v radiálním směru bodovým zdrojem, který je na povrchu Slunce, následkem otáčení Slunce. Poloměry kouček, znázorňujících Slunce a Zemi jsou desetkrát zvětšeny vzhledem k poloměru zemské dráhy. Rychlost částic se předpokládá 1000 km/s. Země se posune z A do B za dobu, potřebnou k tomu, aby korpuskule dosáhly zemské dráhy.

pak energie korpuskulárního proudu bude soustředěna převážně v protonové složce. Aby protony mohly překonat výše uvedenou tloušťku atmosféry, musí mít energii kolem  $5 \cdot 10^6$  eV, což odpovídá rychlosti kolem  $10^9$  cm/s. Tak rychlé částice mohou proletět vzdálenost ze Slunce na Zemi přibližně za 4 hodiny. Avšak doba opožďování geomagnetických poruch a polárních září vzhledem k průchodu jakýchkoli aktivních útvarů, jako jsou sluneční skvrny nebo fakule, středem slunečního kotouče, je obvyčejně kolem 24 hodin, a někdy i více, což odpovídá rychlostem protonů kolem  $1,5 \cdot 10^8$  cm/s a méně. Protony s takovou energií nemohou proniknout atmosférou níže než do výšky 200–300 km. Na obr. 2 je schéma, vysvětlující pozorované zpoždování [11].

Chapman, Ferraro a Martin [12, 13, 14] předložili a propracovali nové vysvětlení všech pozorovaných zákonitostí. Použili Lindemannovu ideu o neutrálním korpuskulárním záření, vysílaném Sluncem ve tvaru proudů. Kromě toho vysvětlili protiklad se zpoždováním existencí mechanismu, který v blízkosti Země urychluje sluneční korpuskule na velké rychlosti, umožňující jim proniknout atmosférou na hladinu 100 km i níže. Chapman, Ferraro a Martin předpokládali, že v důsledku pohybu proudu částic kolem Země vzniká kolem ní ve vzdálenosti několika poloměrů vodivý prstenec s intenziv-

ním proudem. Mezi vnitřními a okrajovými částmi prstence vznikají elektrické síly, které způsobují zrychlení elektronů a protonů podél magnetických siločar v oblasti magnetických pólů Země. Domněnku o neutrálních korpuskulárních proudech použil také Alfvén [5] k vysvětlení polárních září a geomagnetických poruch.

Na základě prací Chapmana, Ferrara a Martina byly vypracovány varianty výbojových hypotes polárních září, které základní část jejich záření připisují výboji v plynech, a ne korpuskulárnímu záření. Příkladem je hypotéza Lebedinského [16], podle které oblouky polární záře jsou výbojem v zemské atmosféře, který vzniká v řetězci, tvořeném některou částí korpuskulárního proudu, v němž při pohybu v magnetickém poli Země vzniká elektrická síla, dílem podél magnetických siločar Země, dílem kolmo k magnetickému poli ve vrstvě  $E$  ionosféry a nakonec opět podél magnetických siločar. Jak se zdá, tyto nekorpuskulární varianty polárních září nepotvrzuje záření vodíku, které pozorujeme ve všech jejich formách. Kromě toho se ve výbojové hypotéze Lebedinského nebere zřetel na to, že největší spád intenzity nebude v dobře vodivé vrstvě  $E$  ionosféry, ale v části řetězce s největším odporem, která je v proudu částic. Za takové situace mohou sotva vzniknout ve vrstvě  $E$  podmínky pro samostatný výboj v plynu kolmo k magnetickým siločarům.

V poslední době byla i Chapmanova, Ferrarova a Martinova hypotéza podrobena kritice. Tak např. Akasofu [17] dokázal, že předpoklad o vzniku prstence proudu okolo Země není dostatečně opodstatněn. Jak je známo, podobá se ionisovaný plyn vodiči, jestliže jsou lineární rozměry plynového mračka větší než střední volná dráha ionisovaných částic. Avšak tato podmínka není splněna v mechanismu, předloženém Chapmanem, Ferrarem a Martinem, kde střední volná dráha ionisovaných částic  $\lambda$  je podstatně větší než poloměr

takového prstence. Skutečně  $\lambda = \frac{1}{\sigma \cdot n}$  kde  $\sigma$  je efektivní průřez srážky a  $n$

je koncentrace částic. Při  $\sigma = 10^{-16} \text{ cm}^{-2}$  a  $n \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$  je  $\lambda \sim 10^{13} \text{ cm}$ , což je více než několik poloměrů Země. Parker a Krook [18, 19] poukazují také na závažný nedostatek hypotesy Chapmana, Ferrara a Martina, spočívající v tom, že časy, potřebné ke vzniku prstence proudu a dissipaci mračka ionisovaného plynu jsou řádově stejné. Montalbetti a Jones [20] se domnívají, že Martinova hypotéza není potvrzována objevením vodíkového záření v polárních zářích.

Vzhledem k výše uvedeným těžkostem vyzdvihli v poslední době Bennet a Hulburt [21] znovu původní hypotézu Birkelandovu a Störmerovu. Všimli si toho, že meziplanetární prostředí není ideální vakuum, ale obsahuje ionisovaný plyn, který je dobrým vodičem. Podle jejich mínění tato okolnost zcela zabraňuje dissipaci korpuskulárního proudu, složeného z částic se stejnojmenným nábojem, v důsledku elektrostatického odpuzování. Naopak, bylo dokázáno, že proud korpuskul se bude fokusovat vlivem elektromagnetického pole, vznikajícího kolem pohybujících se částic. Tedy zdrcující kritika Schusterova se ukázala neopodstatněnou. Nicméně přes úspěšné obnovení neobstojí v poslední době původní Birkelandova a Störmerova hypotéza proti jiným vážným námitkám. Jak je známo, opisují nabitě částice v magnetickém poli kruhové dráhy o poloměru  $\rho = \frac{mV}{eH}$ , kde  $m$  je hmota částice,  $v$  její rychlost ve směru, kolmém k magnetickému poli,  $e$  je náboj elektronu a  $H$  je intenzita magnetického pole. V současné době se obecně uznává, že meziplanetární

magnetické pole má vliv také na tvrdší částice (jakými jsou např. kosmické paprsky), než jsou ty, které vzbuzují polární záře a geomagnetické poruchy. Při tom astrofysikové odhadují, že v meziplanetárním prostoru dosahuje intenzita magnetického pole hodnoty řádově  $10^{-5}$  oerstedů. V tom případě, jsou-li částice protony s rychlostí  $10^9$  cm/s, poloměr křivosti  $\rho$  bude asi  $10^{10}$  cm. To by svědčilo o tom, že nabitě částice, které způsobují vznik polárních září a geomagnetických bouří, nemohou přicházet na Zemi po přímých drahách. Navíc je pravděpodobnější, že při výše uvedeném poloměru křivosti se bude znovu vracet na Slunce. V tom případě ani předpoklad, že proud částic je navenek neutrální, nemůže podstatně změnit uvedenou okolnost, neboť v dobře vodivém meziplanetárním prostředí se různé nabitě částice rozdělí, magnetické pole je odchýlí na různé strany.

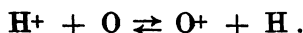
Aby překonal výše uvedené těžkosti, zavedl Petuchov [22] předpoklad, že korpuskulární proudy vznikají při mohutných neutronových výbuších na Slunci. Jako výsledek takového procesu, celkem lehce vysvětlujícího proniknutí korpuskulí chromosférou a sluneční korunou, vzniknou radioaktivním rozpadem neutronů v meziplanetárním prostředí rychlé protony a elektrony. Pro vysvětlení doby opožďování geomagnetických jevů vzhledem k době průchodu jakýchkoli aktivních center středem slunečního disku Petuchov předpokládal neradiální výron, obrazně řečeno, ve tvaru paprsků „Segnerova kola“. Uvážíme-li, že nejobvyklejší částice, způsobující polární záře, mají rychlost kolem  $10^9$  cm/s a že střední doba života neutronu je  $2 \cdot 10^8$  s, vidíme, že převážná část částic se přemění v protony a elektrony dlouho předtím, než dostihnou Země. Proto můžeme zajímavý Petuchovův mechanismus uvést pouze pro obohacení korpuskulárního proudu protony, ale ne pro jeho podstatnou změnu v blízkosti Země.

V posledních letech se naše znalosti o složení meziplanetárního plynného prostředí značně rozšířily [24, 25, 26, 27]. Bylo zjištěno, že hustota elektronů, a tedy i iontů v blízkosti Země dosahuje  $10^3$  cm $^{-3}$  a v blízkosti Slunce až  $10^4$  cm $^{-3}$ . Uvedené okolnosti staví nade všechnu pochybnost existenci vymršťování proudů částic ze Slunce, které předpokládali mnozí výše uvedení autoři. Je zcela jasné, že proud může překonat prostředí s uvedenou hustotou ( $10^3$  párů iontů v 1 cm $^3$ ), jestliže jeho hustota není řádově menší. S druhé strany, částice, které mají takovou hustotu a rychlosti řádově  $10^9$  cm/s, budou přinášet na 1 cm $^2$  zemské atmosféry energii, srovnatelnou se sluneční konstantou. To je velice mnoho, protože všechna energie se bude uvolňovat pouze ve vrchních vrstvách zemské atmosféry, a ne převážně v přízemních vrstvách, jako je tomu u obyčejného slunečního záření. Lze si těžko představit, že by tak velká energie, uvolňovaná ve vrchních vrstvách atmosféry, zůstala nepozorovaná.

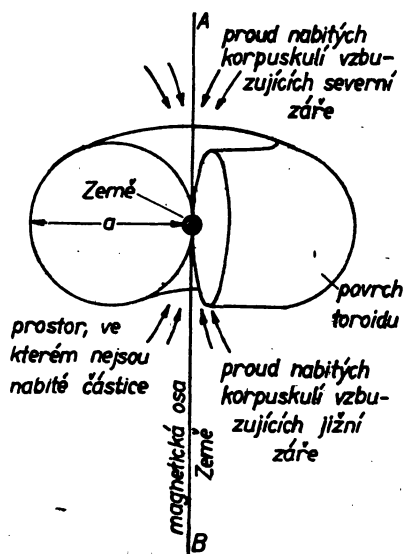
Velká hustota meziplanetárního prostředí upozornila na to, že se v něm mohou někdy šířit nárazové nadzvukové vlny, které mohou vznikat např. při chromosférických erupcích na Slunci [28]. Jak se zdá, bývá takový proces občas skutečně pozorován a je provázen náhlým vznikem magnetických bouří a polárních září. V takovém případě plyn, vyvržený ze Slunce, strhuje s sebou meziplanetární, a tedy čelo vlny se pohybuje se stejnou rychlostí a způsobuje proniknutí monochromatických korpuskulí do oblasti Země. Hypothese o nárazových nadzvukových vlnách počítá ovšem s velmi hustými korpuskulárními proudy, a proto její další osud bude záviset na důkazu existence korpuskulárních proudů velké hustoty.

Již v roce 1951 vypracoval Šklovskij [29, 30] teorii, podle které v procesu

vzájemného působení slunečních korpusek s atomy zemské atmosféry má velký význam předávání nábojů iontů. Nejjednodušším procesem tohoto druhu je výměna náboje protonu s atomem kyslíku a naopak:



Úlohu neutrálního atomu kyslíku mohou sehrát také jiné atomy a molekuly v zemské atmosféře. Efektivní průřezy předání náboje mají hodnoty od  $10^{-14}$  do  $10^{-17}$  cm<sup>2</sup>. Charakteristickým rysem pohybu ionisovaných částic je to, že se pohybují po spirálách kolem magnetických siločar. S druhé strany, neutrální částice se mohou rozptýlit v zemské atmosféře do všech směrů. Později byla existence takových procesů obecně uznána a použili jich mnozí autoři (viz např. [31]).



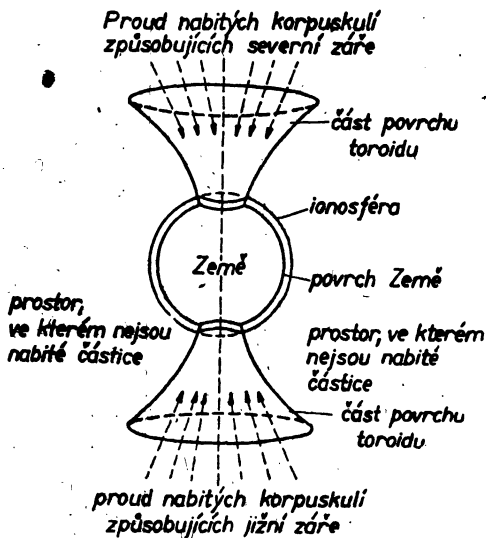
Obr. 3. Toroidální prostor, zakázaný pro nabitě částice.

Nedávno Šklovskij ukázal [32], že velká hustota iontů a elektronů v meziplanetárním prostředí svědčí o velké hustotě neutrálních atomů vodíku. Počet neutrálních atomů vodíku se značně zvětšuje díky existenci prachu v meziplanetárním prostoru. Koncentrace neutrálních částic může tvořit desítky procent celkové koncentrace. Šklovskij ukázal, že procesy předávání náboje budou mít velký význam i v průběhu postupu částic ze Slunce na Zemi. Z tohoto hlediska se po přímé dráze mohou pohybovat pouze atomy helia, vodíku a jiných prvků, které předaly svůj náboj a jsou neutrální. Rychlé neutrální částice, které padají do zemské atmosféry, se ionisují a pronikají atmosférou. Tvrdé neutrální částice musí sehrát aktivní úlohu

v ionisaci vrchních vrstev zemské atmosféry spolu s tvrdými fotony. Budou dopadat na všechny šířky osvětlené části Země, tedy i na rovníkovou oblast. Takovéto rozložení korpusekulárních proudů se podstatně liší od rozložení nabitých korpusek, které odpovídá původním hypotézám, což znázorňuje obr. 3 a 4. Různým částicím odpovídá určitý charakteristický průměr ozářené oblasti poblíž magnetických pólů.

V současné době byly dosaženy velké úspěchy ve studiu spekter polárních září [33, 34]. Současně byla v laboratoři získána spektra umělých polárních září [35]. Protože podle raketových pozorování [36] bylo v poslední době zjištěno, že zemská atmosféra má, alespoň do výšky 110 km, přibližně totéž alotropické složení jako v blízkosti Země, pak podmínky, vytvořené pro pokusy v laboratoři, mohou odpovídat podmínkám ve vrchních vrstvách atmosféry. Srovnáním spekter skutečných polárních září s laboratorními bylo zjištěno, že spektra polárních září neodpovídají spektru výboje ve vzduchu pro který je charakteristická intenzivní soustava pásů molekulárního dusíku, sotva patrná ve spektru polárních září. S druhé strany, při pokusu v laboratoři

bylo nalezeno, že při stejné hustotě vodíkových a heliových atomů je záření vodíku o několik řádů intenzivnější než záření helia. Proto není podivné, že v polárních zářích je vždy pozorována vodíková emise a dosud nebyla zjištěna heliová. Ve spektrech polárních září byla zcela věrohodně objevena emise ionisovaných atomů dusíku, které se v laboratorních podmínkách snadněji nabudí atomy helia, než vodíku. To svědčí o tom, že ve slunečním korpuskulárním záření, které vzbuzuje polární záře, je pravděpodobně i heliová složka. Ukázalo se, že spektra polárních září nejsou podobná spektrům vzduchu, nabuzeného proudem ionisovaných elektronů. Avšak v infračervené oblasti spektra byly nalezeny pásy ionisovaných molekul dusíku, které jsou nabuzovány pouze elektrony s energií několika desítek elektronvoltů. Vznik takových elektronů jako druhotných produktů při bombardování tvrdými částicemi není neočekávaný. Spektrální rozbor polárních září ukázal, že délka doběhu korpuskulí, vzbuzujících polární záře, se spojitě mění a že kromě částic, pronikajících do atmosféry na hladinu 100 km, se v době polárních září dosti často objevují i částice s hloubkou proniknutí nepřevyšující 200—300 km. Změna hloubky proniknutí je provázána podstatnou změnou spekter polárních září. Jestliže pro hlubinná spektra polárních září je charakteristické intenzivní spektrum ionisovaných molekul kyslíku, pak ve středních vrstvách převládá spektrum ionisovaných molekul dusíku, a v ještě vyšších vrstvách převládají atomová spektra, což v podstatě svědčí o atomové struktuře nejvyšších vrstev atmosféry. \*)



Obr. 4. Vnitřní část toroidálního prostoru. Předpokládá se, že se povrch toroidů protíná se Zemí v pásmu polárních září.

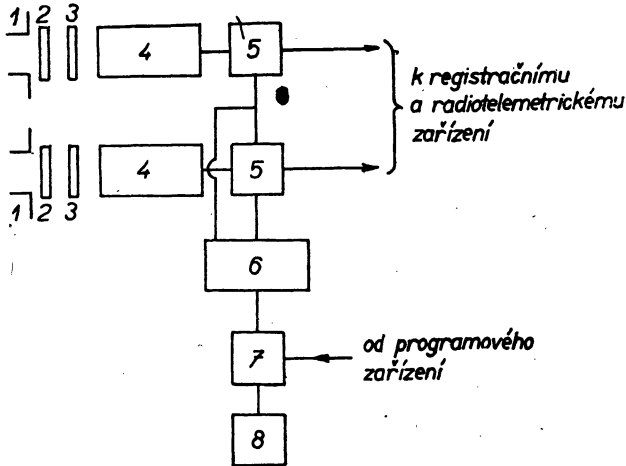
Šklovskij [29, 30] a po něm i řada jiných autorů určili na základě analýsy zákonitostí vzniku vodíkové emise  $H_{\alpha}$ , že v polárních zářích střední intenzity má hustota vodíkových částic  $H^+$  hodnotu řádově  $1 \text{ cm}^{-3}$ . Protože je záře střední intenzity obvykle asi 100krát jasnější než pozadí hvězdné oblohy, pak v případě korpuskulárních proudů na hranici objevení bude hustota  $H^+$  řádově  $10^{-2} \text{ cm}^{-3}$ . Při rychlosti částic kolem  $10^9 \text{ cm/s}$  odpovídá to hustotě korpuskulárního proudu kolem  $10^{-12} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ .

Studium polárních září a jejich spekter v noční době dává bohatý materiál pro studium podstaty korpuskulárního záření Slunce. Avšak za soumraku a zvláště v denní době korpuskulární záření Slunce zůstane nedostupným

\*) Dříve se předpokládalo, že modrý dopplerovský posuv ve vodíkové emisii polárních září může svědčit o určitých rychlostech korpuskulí. Nyní však bylo zjištěno, že obrys této emise je pro různé polární záře a v různých zeměpisných šířkách přibližně stejný. Vysvětluje se to tím, že vodíková emise účinně vzniká pouze v posledním stadiu zabrzdění korpuskulí. Pro existenci absorpčních pásů molekulárního dusíku rychlé korpuskule s rychlostmi většinou než 1500—2000 km/s nenapomáhají objevení se emise. O tom viz např. [33, 34].

pozorování se Země. V současné době je pro vývoj našich představ o korpuskulárním záření nutné získání nových údajů o jeho chemickém složení a rozložení v zeměpisné šířce i délce v různou denní dobu.

Umělá družice Země může být použita pro studium korpuskulárního záření Slunce ve dvou směrech. Za prvé, umístíme-li na ní speciální hmotový spektrograf, můžeme bezprostředně určit chemické složení korpuskulárního záření. Takové přístroje mohou být sestaveny. Ovšem nejúčinnější způsob registrace je spojen s fotografickým procesem, a k tomu je třeba speciální konstrukce družice se zabezpečením dopravení získaného materiálu zpět na Zemi. Kromě toho bude pravděpodobně nutná přesná orientace přístroje v určitém směru.



Obr. 5. Blokové schéma přístroje k určení korpuskulárního záření Slunce: 1 — clona, vymežující úhel k zachycení korpuskulí, 2 — kovová folie, 3 — fluoreskující stínítko, 4 — fotonásobič s rovinnou poloprůzračnou fotokatodou, 5 — katodový zesilovač, 6 — měnič napětí, 7 — relé k zapojení a vypojení činnosti, 8 — elektrické baterie.

Za druhé, v současné době je uskutečnitelné studium rozložení a pronikání korpuskulí podle geomagnetických délek a šířek, zvláště v denní době, což umožní prověření různých hypotéz o podstatě korpuskulárních proudů. K tomu účelu byl navržen a dohotovuje se přístroj, jehož schéma je na obr. 5. Jako indikátor částic je použito fluoreskující stínítko, které působením částic světélkuje.\*\* Záření fluoreskujícího stínítka je registrováno fotočlánekem, pak se proud zesiluje, zaznamenává a předává se příslušnému radiotelemetrickému přístroji. Před světélkujícím stínítkem je umístěna kovová folie. Význam kovové folie je dvojitý. Jednak můžeme užitím folií různé tloušťky zhruba odhadnout doběh částic, za druhé folie chrání fluoreskující stínítko a fotočlánek před přímým působením slunečního záření. Clona slouží k vymezení působení korpuskulí. Proud  $I$ , který vzniká ve fotočlátku, je dán tímto výrazem:

$$I = iSU\pi\alpha\eta,$$

\*\* Registrace částic pomocí sondové metody není možná, protože vysoká atmosféra obsahuje velké množství zvláštních iontů a elektronů, které při existenci různého potenciálu mezi elektrodami sondy dávají velký proud, převyšující proud slunečních korpuskulí. Kromě toho neumožňuje sondová metoda registraci neutrálních částic.



kde  $i$  je proud částic v  $A \cdot \text{cm}^{-2}$ ,  $S$  je plocha fluoreskujícího stínítka a fotokatody v  $\text{cm}^2$ ,  $U$  je rozdíl potenciálů, potřebný pro urychlení korpuskulí na jejich energii (ve voltech),  $\alpha$  je světelná účinnost fluoreskujícího stínítka ve svíčkách na watt při Lambertově rozložení záření a  $\eta$  je citlivost fotokatody v  $A$  na lumen. Vezměme  $i \sim 10^{-12} A \cdot \text{cm}^{-2}$ , což odpovídá polární záři na pozadí noční oblohy,  $S \sim 30 \text{ cm}^2$ ,  $U \sim 10^5 V$ ,  $\alpha < 10$  svíček na watt a  $\eta \sim 10^{-4} A/\text{lumen}$ . Pak  $I \sim 10^{-8} A$ . Je zřejmé, že zesílení takových proudů jako je  $10^{-8} A$  (i menších, odpovídajících obvyklému množství částic v klidných dnech), nečiní žádné obtíže. Jako kovovou folii se předpokládá použít aluminiovou destičku o tloušťce 0,6 a 1,0  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Tyto clonky budou přibližně odpovídat korpuskulím, které mohou pronikat do zemského ovzduší do výše 110 a 100 km. Clonky s 0,6  $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$  jsou prakticky neprůzračné pro sluneční záření a chrání před ním jemný fotočlánek.

Je účelné použít popsaný přístroj současně s přístroji pro zkoumání rentgenového záření Slunce [37] a mikrometeorů [38]. Současné sledování rentgenového záření Slunce je nutné, abychom vyloučili toto záření, když bude popsaný přístroj obrácen přímo ke Slunci a může registrovat kromě korpuskulárního i rentgenového záření. Kromě toho, tenká kovová folie se bude během času, stejně jako tenké kovové filtry při měření rentgenového záření Slunce, neustále narušovat mikrometeority, takže budou údaje přístroje v denní době obsahovat jakousi postupně se zvyšující složku. Proto jak přístroj pro studium korpuskulárního záření Slunce, tak i přístroj pro studium rentgenového záření budou sloužit jako doplňkový indikátor mikrometeoritů. Nezávislá kontrola mikrometeoritů dovolí určit nárazové zvýšení pomocí dírek, způsobených mikrometeority.

Měkké korpuskulární záření Slunce může být zjištěno pouze bez kovových folií a v noční době, když neruší sluneční záření. Přístroj pro tento účel se může zapínat a vypínat zvláštními signály, vysílanými programovým zařízením.

Přeložili M. Šíroka a J. Šíroky

#### Literatura

- [1] V. I. Krasovskij, *Priroda*, č. 5, 55 (1957).
- [2] K. Birkeland, *Vidensk. Skrifter*, 1, Mat. Naturw. kl., Christiania (1901).
- [3] K. Birkeland, *Norwegian Aurora Polaris Expedition, 1902/03, Christiania*, 1, pt. 1 (1908); pt. 2 (1913).
- [4] C. Störmer, *Arch. Sci. Phys. Genève* sv. 24, 5, 113, 221, 317 (1907); sv. 32, 33 (1911); sv. 35, 483 (1913).
- [5] C. Störmer, *Phys. Rev.* sv. 45, 835 (1934).
- [6] A. Schuster, *Proc. Roy. Soc. A* sv. 85, 44 (1911).
- [7] F. A. Lindemann, *Phil. Mag.* sv. 38, 669 (1919).
- [8] C. Störmer, *Vid. Selsk. Skr.*, č. 17 (1911).
- [9] S. K. Mitra, *Verchmajaja atmosfera*, IL, 1955.
- [10] D. R. Bates, *Rocket Expl. Up. Atm.*, London, 347 (1954).
- [11] S. Chapman, J. Bartels, *Geomagnetism* sv. 2, 804 (1940).
- [12] S. Chapman, *Proc. Phil. Soc.* sv. 21, 577 (1923).
- [13] S. Chapman, V. C. A. Ferraro, *Terr. Mag. Atm. Elec.* 36, 77, 171 (1931); 37, 147 (1932).
- [14] V. C. A. Ferraro, I. A. G. A. Bulletin No. 15b, 166 (1956).
- [15] H. Alfvén, *A theory of Magnetic Storms and of the Aurorae*, Kungl. Sol. Vetenskaps Acad. Handl. Stockholm, III sv. 18, č. 3 (1939); tamtéž sv. 18, č. 5 (1940).
- [16] A. I. Lebedinskij, *Dokl. AN SSSR* sv. 86, č. 5, 913 (1952).
- [17] Syum-Jchi Akasofu, *Sci. Rep. Tohoku Univ.* 8, č. 2, 133 (1957).

- [18] E. N. Parker, *Astrophys. J.* sv. 122, 293 (1955).  
 [19] E. N. Parker and K. Krook, *Astrophys. J.* sv. 124, 214 (1956).  
 [20] R. Montalbetti and A. Jones Vallance, *J. Atm. Fer. Phys.* sv. 11, 43 (1957).  
 [21] V. H. Bennet and D. E. Hulburt, *Phys. Rev.* sv. 91, č. 6, 1562 (1953).  
 [22] V. A. Petuchov, *The Airglow and the Aurorae*, London, 254 (1956).  
 [23] V. A. Petuchov, *Izv. AN SSSR, ser. geofiz.*, č. 1 (1957).  
 [24] H. Siedentoff, A. Behr and H. Elsässer, *Nature* sv. 177, 1066 (1953).  
 [25] A. Behrand, H. Siedentoff, *Zeits. Astrophys.* sv. 32, 19 (1953).  
 [26] D. E. Blackwell, *Mon. Not.* sv. 116, 56 (1956).  
 [27] D. E. Blackwell, *Mon. Not.* sv. 116, 365 (1956).  
 [28] T. Gold, *Rocket Expl. Up. Atm.*, London, 366 (1954).  
 [29] I. S. Šklovskij, *DAN* sv. 81, č. 3, 367 (1951).  
 [30] I. S. Šklovskij, *Izv. Krym. Obs.* sv. 8, 51 (1952).  
 [31] D. R. Bates, *OAGA Bulletin* No. 15b, 135 (1956).  
 [32] I. S. Šklovskij, *Sborník sympoziuma po aeronómii v Toronto*. V pečati.  
 [33] V. I. Krasovskij, J. I. Gal'perin, A. V. Mironov, V. S. Prokudina, N. N. Šefov, N. I. Fedorov a B. A. Bagarjackij, *Sborník sympoziuma po aeronómii v Toronto*. V pečati.  
 [34] V. I. Krasovskij, *Sborník sympoziuma po aeronómii v Toronto*. V pečati.  
 [35] C. J. Fan, *The Airglow and the Aurorae*, London, 276 (1956).  
 [36] M. Nicolet, *Rocket Expl. Up. Atm.*, London, 357 (1954).  
 [37] S. L. Mandelštam a A. I. Efremov, *UFN* sv. 63, č. 1b, 163 (1957).  
 [38] S. M. Poloskova a T. N. Nezarova, *UFN* sv. 63, č. 1b, 253 (1957).

## OPTICKÁ POZOROVÁNÍ UMĚLÝCH DRUŽIC ZEMĚ\*

I. S. ŠKLOVSKIJ a P. V. ŠČEGLOV

V souvislosti s vypuštěním umělých družic Země (UDZ) se objevil vážný problém určení jejich prostorových souřadnic pro různé časové okamžiky pozorování se zemského povrchu. K určení souřadnic družice se užívají jak radiotechnické, tak optické metody; v tomto článku probereme optické metody, které umožňují určit souřadnice UDZ s větší přesností, než metody radiové. Znalost přesných souřadnic UDZ je nutná pro vypočtení její dráhy. Na základě takových měření můžeme získat důležité údaje o fyzikálních vlastnostech vrchních vrstev zemské atmosféry. Dostatečně přesné parametry dráhy družice (které můžeme získat pouze z velmi kvalitních pozorování) umožňují najít rozložení hustoty vrchních vrstev zemské atmosféry. Poznámenejme, že v současné době nemáme spolehlivé údaje o rozložení hustoty atmosféry nad hladinou 300 km. Kromě toho budeme moci studovat slapové jevy ve vrchních vrstvách atmosféry, které, jak se zdá, jsou značné. Je velmi důležité, že budeme moci zjistit charakteristické odchylky v rozložení hustoty vrchních vrstev atmosféry od kulové symetrie.

Velký význam má analýza pohybu UDZ pro problém tvaru Země. Tato úloha po dlouhou dobu zajímala astronomy a geodety. K jejímu řešení jsou potřebná velmi přesná určení času a souřadnic hvězd. Pozorování UDZ umožňuje řešit tento problém, i když určení jejich souřadnic je poměrně hrubé (souřadnice hvězd jsou v současné době určovány s přesností několika setin obloukové vteřiny).

Předpokládáme, že souřadnice UDZ jsou známy s přesností na  $10''$  a příslušný okamžik jejího přeletu s přesností několika tisícín vteřiny. Zvolíme-li vzdálenost UDZ od místa pozorování 300 km, snadno vypočteme, že přemístě-

\*) И. С. Шкловский и П. В. Щеглов. Оптические наблюдения искусственных спутников Земли. *Uspechi fizičeskich nauk*, sv. LXIV, č. 3, 1958.