

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Blažena Růžičková

Raketový výzkum krátkovlnného záření

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 5 (1960), No. 2, 169--172,173--174

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137054>

## 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>

## ASTRONOMIE

## RAKETOVÝ VÝZKUM KRÁTKOVLNNÉHO ZÁŘENÍ

BLAŽENA RŮŽIČKOVÁ, *Astronomický ústav ČSAV, Ondřejov*

Astronomové odedávna snili o dni, kdy budou moci své přístroje umístit vně naší atmosféry. Zemská atmosféra nás chrání před krátkovlnným zářením z vesmíru, které by zcela zničilo život, kdyby proniklo na zemský povrch. Na druhé straně však ochuzuje náš výzkum o ohromné množství informací o procesech ve vesmíru. Nebeská tělesa i velká oblaka mezihvězdného prachu a plynu vydávají zářivou energii všech vlnových délek. Vesmír je zaplněn celým spektrem elektromagnetických vln od nejkratších, zvaných záření gama, přes rentgenové, ultrafialové, viditelné záření, dále pak infračervené a rádiové, až po vlny nejdéší. Dá se předpokládat, že největší množství energie nebudou nebeská tělesa vyzářovat v rozmezí vlnových délek, odpovídajícím viditelnému světlu, které tvoří jen velmi úzký výsek z celého elektromagnetického spektra. Tento úsek se vždy astronomové snažili rozšířit. V okolí viditelného spektra se jim běžně daří přijímat záření vlnových délek od 2850 Å do několika desítek  $\mu$  pomocí speciálních fotografických emulzí nebo jiných detektorů. Záření vlnových délek ležících za těmito hranicemi je pohlceno interakcí s atomy nebo částicemi atomů v atmosféře, nebo odraženo zpět od prostoru. Objev druhého „okénka“ v atmosféře, otevřeného rádiovým vlnám o délce od 1 cm do několika desítek metrů velmi podstatně rozšířil představy o stavbě a procesech ve vesmíru. Ovšem tím naše možnosti zde, na dně atmosféry, končí.

V posledních deseti letech se astronomům otevírají nové cesty využitím raketové techniky. Běžná raketa je schopna vynést váhu 20 až 75 kg přístrojů do výšky asi 250 km, to znamená nad nejhustší vrstvy zemské atmosféry, která brání průchodu krátkovlnného i dlouhovlnného záření. V současné době se výzkum soustřeďuje na výzkum krátkovlnného záření, jednak z toho důvodu, že registrační zařízení pro tyto obory je jednodušší, jednak že lze očekávat, že krátkovlnné záření může poskytnout cennější a významnější informace.

K registraci spektra se užívá dalekohledu, spojeného se spektrografem s fotografickou deskou či filmem. Ideální by bylo, kdyby bylo možno získávat na fotografickou desku spektrogramy s náležitou dispersí, což však naráží na značné potíže. Celá řada problémů vyplývá z požadavku získat exponovaný film. Při dopadu na zem se přístroje vždy zničí. Kasety s filmem musí být dostatečně pevná, aby odolala nárazu, a musí být opatřena rádiovým vysílačem, pomocí něhož by mohla být zaměřena její poloha. Pro případ pádu do moře musí mít plovák. V optických přístrojích nemůže být používáno normálního skla, které už v ultrafialovém oboru do značné míry absorbuje; množství odraženého světla pokovenými plochami s vlnovou délkou velmi rychle klesá. Velké nároky, kladené na konstrukci celého zařízení, se v praxi obcházejí tím způsobem, že místo spektrografů s fotografickým materiálem se používá počí-

tačů fotonů a ionizačních komor, jejichž údaje se telemetricky sdělují na zem. Tento způsob registrace je méně nákladný a jednodušší. Na druhé straně však takto získané informace jsou omezené a méně podrobné. V každém případě pro vlnové délky kratší než 2000 Å lze spektrografů užít jen omezeně. K registraci v těchto oblastech se téměř výhradně užívá počítačů a jiných přijímačů s různými širokopásmovými filtry.

Nevýhodou raket je, že užitečná doba letu, tj. doba efektivní pro získání záznamů spektra, je velmi krátká — 2 až 5 minut. Je to doba, kdy raketa prochází vrcholem své dráhy. Mimoto je velmi nestabilní základnou pro přístroje, které proto musí být řešeny tak, aby nepravidelné pohyby rakety nebyly na závadu jejich funkci a účelu. Let rakety je stabilisován tak, že se jí udělí rotace kolem podélné osy. Vedle toho vykonává ještě jiné pohyby, kývá kolem rotační osy a převaluje se. Pro registraci slunečního spektra musí být přístroje vybaveny zařízením pro sledování Slunce.

Raketová astronomie je teprve na samém začátku svého rozvoje. Přesto se už podařilo učinit několik objevů. Na příklad se ukázalo, že převládající barva okolního vesmíru je ultrafialová. Maximum záření leží u vlnové délky 1216,7 Å, jež přísluší vodíkové čáře Lyman  $\alpha$ . Je to primární rezonanční vlnová délka vodíku. Vzhledem k tomu, že je vodík nejen ve Slunci, ale i v celém vesmíru vůbec nejhojněji zastoupeným prvkem, není překvapující, že  $L\alpha$  záření má ve spektru tak mimořádnou úlohu. Kdyby mohlo naše oko pozorovat noční oblohu ve světle této čáry, pak by její difusní světlo převládlo nad zářením všech hvězd. Různé oblasti vesmíru jsou vyplněny rozlehlými oblaky prachu a plynu, zářícími tak intenzivně v ultrafialovém světle, že horké hvězdy, které jsou zdrojem energie vyvolávající záření těchto oblaků, v nich zcela zaniknou.

Raketové výzkumy se nejprve soustředily na záření Slunce. Jako hvězda, která je nám nejbližší, poskytuje velké množství zářivé energie. Mimoto význam tohoto tělesa pro Zemi, zemskou atmosféru i lidský život je tak mimořádný, že výzkum Slunce stojí v popředí zájmů astronomů.

Začátek raketových výzkumů Slunce dal popud k revizi hodnoty sluneční konstanty. Podle výsledků nových měření v ultrafialovém oboru byla její hodnota opravena na  $2,00 \pm 0,04$  kal/cm<sup>2</sup> min. Z toho pak vyplývá též oprava efektivní teploty Slunce na 5805 °K.

Nejvíce úsilí bylo vloženo do získání krátkovlnného slunečního spektra. Detailní spektrogramy, které udávají absorpci a emisi ve spojitém spektru, případně v jednotlivých čarách, mnoho prozrazují o složení a procesech na Slunci. Přes obtížnou realizaci všech podmínek se již podařilo získat několik spektrogramů v oblasti  $L\alpha$  za pomoci spektrografu s konkávní difrakční mřížkou se speciálním nátěrem, odrážejícím ultrafialové záření.

Z dosavadních výsledků můžeme stanovit přibližný vzhled slunečního spektra v celé krátkovlnné oblasti. Z rozboru viditelného spektra vyplývá, že fotosféra má teplotu 6000°; tisíce spektrálních čar svědčí o přítomnosti chladnějších plynů v horních vrstvách o teplotě 4000°. První spektrogramy, získané pomocí raket a sahající ke 2000 Å do ultrafialového oboru, ukazují na teplotu fotosféry 5000° a měření počítači, sahající ke 1200 Å, na 4000°. Pokles sluneční emise v této oblasti je, jak se zdá, způsoben překrýváním absorpčních čar chladnějších plynů ve vyšších vrstvách. Spektrografy s vyšší rozlišovací schopností by mohly odhalit ve sluneční atmosféře vzácné prvky, které dávají vznik těmto čarám, např. halogeny, arsen, selen, telur, radon.

Zvláštností ve slunečním spektru v rozmezí vlnových délek 2000—3000 Å jsou široké absorpční čáry ionisovaného magnesia s velmi jasnou emisí v centru. Ukázalo se, že tato emise nezávisí na sluneční činnosti a že jejím zdrojem je chromosféra.

Krátkovlnné záření Slunce tvoří velmi složitou soustavu. Spojité záření fotosféry sahá do 1500 Å. Avšak v této vlnové délce převládá již záření jiných složek. Značnou část záření kratšího než 1600 Å tvoří čárové záření chromosféry. Je to přechodná oblast mezi chladnější fotosférou a korunou o vysoké teplotě. Viditelná je při slunečních zatměních jako úzký červený prsteneček. Červenou barvu získává od intenzivní emisní čáry vodíku H $\alpha$  ve viditelném oboru spektra. Mnohé emisní čáry v ultrafialovém oboru přísluší ionisovaným atomům kyslíku, dusíku, uhlíku, křemíku a helia. Rovněž v L $\alpha$  září chromosféra intenzivně.

Převážnou část záření vlnových délek kratších než 500 Å tvoří čárové i spojitě záření korony. Maximum spojitěho záření korony leží v rozmezí 30—100 Å.

V oblasti 1000—2000 Å je celá řada mohutných emisních čar, působených vysoce ionisovanými atomy. Bylo zde objeveno více než 40 emisních čar. Při identifikaci se ukázalo, že jsou vyzářovány hlavně ionisovanými prvky s vysokým ionizačním potenciálem až 100 eV. Z toho vyplývá, že zdrojem těchto čar je chromosféra nebo přechodná část mezi chromosférou a korunou.

Jelikož rozložení energie pro vlnové délky menší než 2000 Å je známo méně přesně, nebylo stanoveno maximum energie ani přesná hranice krátkovlnného spektra Slunce, což by dalo představu o teplotě korony.

Přibližná představa o slunečním rentgenovém záření (pod 100 Å) byla získána pomocí různých fotodetektorů. Pro obor 0—15 Å se užívá beryliových a aluminiových folií s fotografickou deskou, nebo počítačů fotonů, plněných plyny, s vysokým ionizačním potenciálem. Ze slunečního rentgenového spektra byly získány nové poznatky o koruně a jejím působení na zemskou atmosféru. Korona může být pozorována jen při slunečních zatměních. Je tvořena velmi řídkým plynem o vysoké teplotě, prostírajícím se do vzdálenosti několika slunečních poloměrů. Teplota se odhaduje na 500.000° v období, kdy je Slunce klidné, tj. kdy se na něm nevyskytují žádné aktivní oblasti. Jakmile se však na Slunci objeví skvrna nebo jiná porucha, vytvoří se v koruně lokální kondensace, v níž teplota vystoupí až na několik miliónů stupňů. Tyto závěry, vyplývající z teorie, byly raketovým výzkumem zcela potvrzeny. Množství rentgenového záření se mění v souvislosti se sluneční činností. Byla též pozorována korelace rentgenového záření s intenzitou čar vysoce ionisovaných prvků v koruně.

Velmi zajímavým přínosem raketových výzkumů je objasnění souvislosti mezi Sluncem a zemskou atmosférou, tj. objasnění mechanismu vzniku a působení slunečního záření na atmosféru Země. O existenci, intenzitě a účincích slunečního rentgenového záření se soudilo dosud jen podle chování zemské ionosféry. Tyto ionisované vrstvy naší atmosféry mění hustotu a výšku podle množství energetického krátkovlnného záření, které na ni dopadá. O nejnižší ionosférické oblasti, tzv. vrstvě D, prostírající se ve výšce 50—80 km, se donedávna soudilo, že vzniká výhradně ionizačním působením Lymanova záření vodíku. Měřením pomocí raket však bylo zjištěno, že ionizačním činitelem ve vrstvě D může být též záření rentgenové. Tvoření vrstvy E ve výšce 90—130 km je vyvoláváno rentgenovým zářením klidné korony. Elektronová hustota této vrstvy kolísá podle množství skvrn na slunečním disku. Při zvýšené sluneční činnosti, tj.

v obdobích, kdy je na Slunci velký počet skvrn, vzrůstá též intenzita rentgenového záření, které má za následek rozšíření vrstvy  $E$  do menších výšek. Horní oblast ionosféry, zvaná vrstva  $F$ , je patrně podmíněna ultrafialovým zářením krátké vlnové délky, především emisí v hlavní rezonanční čáře jednou ionizovaného helia u 304 Å.

Nejzajímavější výsledky si astronomové slibovali z měření krátkovlnného záření v době, kdy na Slunci probíhá chromosférická erupce. Je to nejzajímavější jev na Slunci vůbec. Erupce se objeví jako zjasněné políčko v blízkosti skupiny skvrn a lze ji pozorovat ve světle červené vodíkové čáry  $H\alpha$ . Jas políčka prudce vzroste a po dosažení maxima zvolna klesá na původní hodnotu. Erupce má celou řadu důsledků v naší atmosféře. Nejnápadnější z nich je zvětšená ionisace vrstvy  $D$ , působená mohutným vzrůstem krátkovlnné emise, a s tím spojená porucha šíření krátkých rádiových vln. Až do začátků rozvoje raketové techniky však přímé měření této emise neexistovalo.

Velkým problémem je zajistit odpal rakety právě v okamžiku, kdy se na Slunci objeví chromosférická erupce. Pravděpodobnost výskytu větší erupce je i v maximu sluneční činnosti poměrně malá. Zajímavá erupce se vyskytne průměrně jednou za padesát hodin. V roce 1956 byl úkol získat přímé měření ionizačního záření erupcí řešen tím způsobem, že v Tichém oceánu byla každý desátý den časně ráno vynesena malá raketa pomocí balonu do výšky asi 25 km. Raketa byla odpálena v okamžiku, kdy některá astronomická observatoř, která nepřetržitě hlídala Slunce, ohlásila pozorovanou erupci. Používalo se raket na pevné palivo, a to z toho důvodu, že je možno je odpálit během jedné minuty po signálu z pozorovací stanice. Na palubě byl umístěn počítač fotonů (1–10 Å), scintilační počítač (0,05–0,5 Å) a ionizační komora pro registraci  $L\alpha$  záření. Údaje byly telemetricky sdělovány na zem. Ukázalo se, že hladina  $L\alpha$  záření se při erupci prakticky nemění, zato však mohutná emise rentgenového záření pronikla do atmosféry v některých případech až do výšky 50 km. Tím bylo potvrzeno, že zvětšená ionisace vrstvy  $D$  v době erupce je způsobena především rentgenovým zářením. Tak intenzivní krátkovlnná emise může být vysvětlena existencí koronálních oblastí nad erupcí, dosahujících teploty 10 miliónů stupňů. Pozorování jiných druhů však s tímto výsledkem dosud nejsou ve shodě.

Zajímavá je existence ještě kratšího záření gama. Porovnáváním denních a nočních měření bylo zjištěno, že ve velkých výškách je přítomno záření gama o energii 0,08–70 MeV kosmického, tj. neslunečního původu. Podle výsledků posledních pokusů se však zdá, že část tohoto záření přece jen pochází ze Slunce. Dá se očekávat, že v době erupce množství také tohoto záření vzroste, což bylo experimentálně raketami potvrzeno.

Předpokládalo se, že  $L\alpha$  záření pochází z aktivních oblastí na Slunci. Plný důkaz o správnosti tohoto předpokladu byl podán teprve tehdy, když se podařilo vyfotografovat obraz Slunce ve světle  $L\alpha$  pomocí dvou konkávních difrakčních mřížek. Snímek byl natolik zřetelný, že na něm bylo možno rozeznat detaily o rozměrech 20". Na snímku je patrné, že jasné oblasti polohou souhlasí s fukulovými poli v chromosféře. Tím byl podán důkaz o přímém vztahu  $L\alpha$  záření s aktivními oblastmi a výsledek, že se jeho hladina při erupci nemění, je s tím v rozporu. Pro oblasti, svítící v  $L\alpha$  dostáváme teplotu řádově 10.000°.

Technicky mnohem obtížnější je získat obraz Slunce v rentgenovém záření. Podařilo se to pracovníkům Naval Research Laboratory při příležitosti slunečního zatmění 12. října 1958. Když Měsíc přecházel přes sluneční disk, bylo

postupně vypuštěno šest raket, které měřily intenzitu ultrafialového a rentgenového záření z nezakryté části disku. Přes neúplnost měření se zdá, že zatím co ultrafialové záření při totalitě klesá na minimum, intenzita rentgenového záření zůstává na dosti značné hodnotě. Z toho vyplývá, že obraz Slunce v rentgenovém záření je temný v centru a jasný na okraji a že je o něco větší než viditelný disk.

Od roku 1955 se začalo s raketovým výzkumem ultrafialového a rentgenového záření neslunečního původu. Celkové světlo hvězd je velmi slabé proti záření Slunce, proto byla první raketa vybavena nejcitlivějšími fotodetektory. Avšak na hranici nízké atmosféry byly počítače proti očekávání zahlceny velmi intenzivním zářením  $L\alpha$ . Počítače pro větší vlnové délky 1230—1350 Å pracovaly normálně.

K získání záznamů diskrétních zdrojů tohoto záření byl v dalších pokusech zúžen zorný úhel počítačů na  $3^\circ$  pomocí kolimátorů, utvořených ze svazků krátkých kousků tenkých injekčních jehel. Rozmístění počítačů na plášti rakety zaručovalo, že při letu rakety bude proměřena podstatná část oblohy. Orientaci rakety registroval magnetometr a detektory k měření záření oblohy. Výsledek tohoto pokusu byl překvapivý, neboť na místě horkých hvězd, které známe z pozorování, se objevily rozsáhlé oblasti s mohutnou ultrafialovou emisí. Jedna z těchto oblastí odpovídá mlhovině v Orionu. Tato mlhovina má velmi malou hustotu, avšak velkou rozlohu, asi 25 světelných let v průměru. Pouhým okem ji lze dobře pozorovat. Překvapující je, že ultrafialové záření mlhoviny přesahuje její viditelný rozsah, a že převládá nad zářením jednotlivých hvězd. Tento fakt si zatím nedovedeme vysvětlit.

Záhadná je rovněž mlhovina, obklopující hvězdu Spicu v souhvězdí Panny, jejíž teplota je odhadována na  $28.000^\circ$ . Hvězda o tak vysoké teplotě by měla ionisovat vodík do vzdálenosti 40 světelných let a tato oblast by měla zářit ve viditelném světle, což však nebylo zjištěno. Podle měření v ultrafialovém světle Spica skutečně produkuje mlhovinu ohromných rozměrů, srovnatelnou s mlhovinou v Orionu. Samá v ní zůstává skryta, ač by podle teorie měla být  $30 \times$  jasnější než mlhovina.

Dosud bylo objeveno několik diskrétních zdrojů ve spektrální oblasti 1230—1350 Å. Z toho tři byly identifikovány s jasnými hvězdami raného spektrálního typu. Ostatní zdroje leží ve vysokých galaktických šířkách a nebyly identifikovány s visuálním objektem.

Z měření  $L\alpha$  záření v blízkosti Země lze vypočítat hustotu meziplanetární hmoty. Sluneční  $L\alpha$  záření je totiž rozptylováno a odraženo na neutrálních atomech vodíku. Výsledky však nelze generalisovat na celý meziplanetární prostor. V blízkosti Země se totiž podle výpočtů geofysika Chapmana prostírá vodíková atmosféra do vzdálenosti 50—100 zemských poloměrů, která odhad hustoty v celém meziplanetárním prostoru zkresluje. Otázku, zda jde o záření zemské atmosféry či záření oblohy, pomůže rozřešit větší rozlišovací schopnost přístrojů. Kdyby šlo o záření oblohy, procházející zemskou atmosférou, měla by se v centru emisní čáry  $L\alpha$  objevit absorpce. Nebo kdybychom prováděli měření ve směru pohybu Země kolem Slunce, ukázal by se Dopplerův posuv emisní čáry vzhledem k absorpční čáře terestrického vodíku.

Ultrafialové záření meziplanetárního prostoru nám brání v pozorování hvězd a vodíkových oblaků v této zajímavé vlnové délce. Tuto obtíž bychom odstranili zvýšením rozlišovací schopnosti, kdybychom mohli kolimátory z injekč-

ních jehel nahradit zrcadlovými dalekohledy. Jiná možnost vyplývá ze skutečnosti, že emisní záření nebeských objektů není přesně monochromatické; záření oblohy by bylo možno proniknout pomocí fotodetektoru, který je naladěn o  $1/2$  Å mimo střed čáry  $L\alpha$ .

Někteří astronomové však soudí, že budeme vždy odkázáni na měření  $L\alpha$  záření, přicházející z blízkosti naší Země. Téměř veškeré záření i od nejbližších hvězd v této vlnové délce je absorbováno mezihvězdným vodíkem, který je v rovině Galaxie tak hustý, že i velmi detailní pozorování budou udávat nikoli polohu diskretních zdrojů ultrafialového záření, ale pouze místa relativní průhlednosti. Zatím se nedá odpovědně rozhodnout, zda taková skepse je na místě či nikoli. Původ objevených zdrojů ultrafialového záření a jeho mechanismus zůstává dosud plně nejasný.

Pokud jde o rentgenové záření a kratší, může z galaktického středu proniknout až k naší Zemi. Avšak pokusy o zachycení vzdálených objektů v těchto vlnových délkách zatím nebyly podniknuty.

Pro studium krátkovlnného záření budou mít ohromný význam umělé satelity Země. První objevy pomocí raket slibují, že vynaložené úsilí přinese velmi cenné výsledky. Tyto nové poznatky nám umožní posoudit celou řadu dosud sporných otázek; prohloubí naše představy o fyzice horních vrstev atmosféry a o otázkách astrofysiky i kosmogonie.

#### Literatura:

Friedman H., *Rocket Astronomy*, Scientific American, June 1959, 52.

Иванов — Холодный Г. С., *О ракетных исследованиях коротковолновой радиации Солнца*, Известия АН СССР, с. геоф., 1959, 1, 108.

## O NĚKTERÝCH PROBLÉMECH KOSMICKÝCH LETŮ

(Dokončení)

### Některé lékařské a biologické problémy kosmických letů

#### Vliv zrychlení na lidský organismus

V laboratoři leteckého lékařství vojenských leteckých sil USA a NACA se konaly na odstředivém stroji pokusy za účelem studia účinků zrychlení na lidský organismus. Zrychlení rostlo od 0,1 do 8 g za vteřinu a bylo na určité výši udržováno po jistou dobu, aby byla zjištěna hranice snesitelnosti pro lidský organismus. Pokusy ukázaly, že není nutné vytvořit přesně všechny okolnosti dynamiky zrychlení, jež jsou charakteristické pro raketový let (např. střídání period chodu raketového motoru ap.), neboť nemají podstatný vliv na lidský organismus. V některých pokusech se napodobovala zrychlení třístupňové rakety: 8, 10 a 12 g. Po dosažení každého z těchto zrychlení se toto rychle (za 20–35 vteřin) snížilo na 1,5 g, načež ihned následovalo nové zrychlování. V maximech bylo zrychlení takové, že zaručovalo dosažení rychlosti 8 km/s. Maxim zrychlení 12 g, 10 g a 8 g bylo dosahováno rychlostí 1 g za 4,5 s, 1 g za 7 s, 1 g za 12 s. Zkoušený byl při těchto pokusech umístěn v nádobě s vodou.