

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Marcel Grün; Pavel Koubský  
Pokroky kosmické astronomie

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 15 (1970), No. 2, 62--76

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138230>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1970

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>

# POKROKY KOSMICKÉ ASTRONOMIE

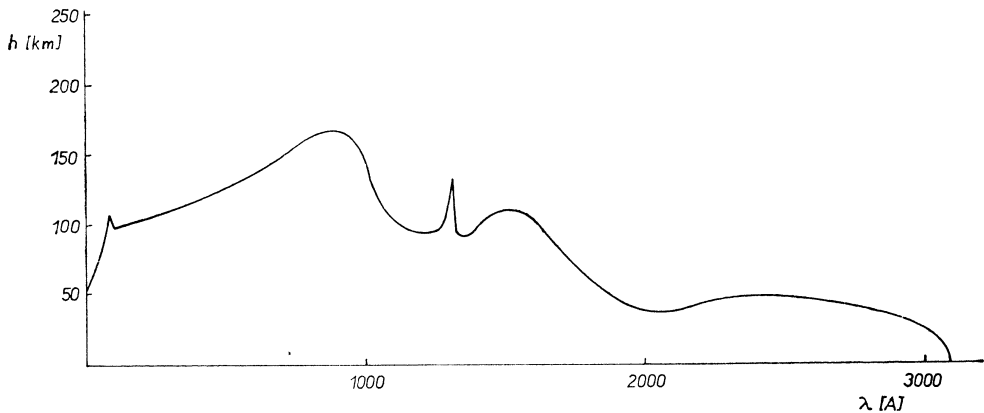
MARCEL GRÜN, PAVEL KOUBSKÝ, Praha

Astronomická pozorování konaná ze zemského povrchu jsou znesnadňována přítomností atmosféry, která se chová jako filtr se specifickými vlastnostmi:

1. Je nepropustná pro většinu frekvencí elektromagnetických vln přicházejících z vesmíru (*obr. 1*).

2. Omezuje rozlišovací schopnost v těch oborech, které propouští. Vzhledem k difrakci světla je teoretická rozlišovací schopnost přímoúměrná apertuře (průměru objektivu) a nepřímoúměrná vlnové délce. To však platí pouze pro ideální podmínky, neboť turbulence atmosféry nedovoluje rozlišit ve viditelném oboru více než  $0,1''$ . Obvyklé pozorovací podmínky snižují tuto hodnotu nejméně o řád; třicetimetrový dalekohled ve vakuu je po stránce praktické rozlišovací schopnosti ekvivalentní největším pozemským přístrojům.

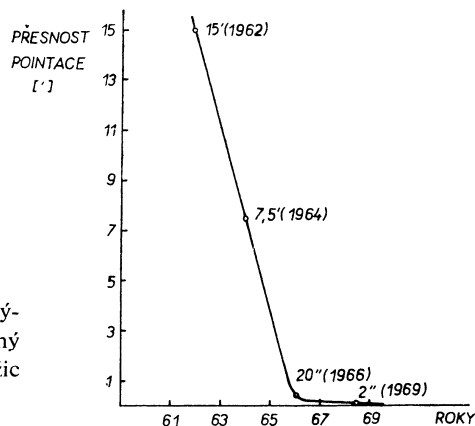
3. Pozorování je rušeno existencí vlastního záření atmosféry a přítomností záření rozptýleného v atmosféře. Rozptýlené záření způsobuje, že dosah největších fotografických dalekohledů je nižší, než by odpovídalo optice a citlivosti detektorů. Záření atmosféry je překážkou též při spektrální analýze slabých objektů. Ve zprávě [1] se předpokládá, že třimetrový reflektor na oběžné dráze pointovaný s přesností  $0,004''$  by byl schopen zachytit objekty do  $29^m$ , o 2 řády méně jasně než dosud ze Země.



*Obr. 1.* Propustnost zemské atmosféry. V grafu jsou vyneseny výšky, ve kterých je sluneční záření zeslabeno na  $1/e$  původní intenzity. Mezi 2000 až 3000 Å je sluneční záření pohlcováno ozónovou vrstvou, pod 2000 Å pohlcuje zejména molekulární kyslík, v rozmezí 2000–1750 Å se projevuje Schumann-Rungeovými pásy, až do 1350 Å pokračuje spojitá absorpce  $O_2$ . Za čarou  $\lambda\alpha$  je čárová absorpce vodíku (Lymanova série). Pod 1000 Å pohlcuje molekulární dusík [35].

Je tedy žádoucí odstranit nebo zmírnit vliv ovzduší a sledovat záření z vesmíru v prostoru mimo atmosféru. Pro tuto metodu se používá zpravidla názvu kosmická astronomie nebo mimozemská astronomie (extraterestrická).

Nová metoda našla uplatnění bezprostředně poté, co se začalo používat raketové techniky k vědeckému výzkumu, neboť pouze raketa je schopna vynést přístroje do výšky několika set km nebo umístit aparaturu na družicích. Vedle toho se používá k vynášení přístrojů balónů, které sice nedosahují výšek nad 30 km, ale při tom zanechávají pod sebou 94% hmoty atmosféry. Avšak v těchto výškách je např. prvotní záření X do jisté míry zastřeno sekundárními fotony kosmického záření, které se produkuje v zemské atmosféře.



Obr. 2. Vývoj přesnosti pointace amerických výškových raket [2], doplněný podle [102]. Podobný graf s uvedením plánovaných parametrů družic je též v [101].

Pokroky kosmické astronomie jsou brzděny technickými obtížemi, např. otázkami stabilizace přístrojů v prostoru, volby materiálu a přenosu dat. V současné době je většina experimentů zaměřena na fotometrii, popř. spektrofotometrii a zatím nebyly z raket ani z družic pořízeny kvalitní obrazy ve viditelném oboru, omezené jen ohybem světla, neboť rozlišovací schopnost fotografické komory je podmíněna přesností stabilizace v daném směru (pointace).

Na programu kosmické astronomie [72, 98] se podílejí největším dílem Spojené státy (asi z 50% výzkumné skupiny universit a z 50% skupiny NASA, Naval Research Laboratory — NRL; Air Force Cambridge Research Laboratories) [2] a Velká Británie (university) [4, 76]. Zajímavé experimenty byly realizovány i ve Francii [5], Japonsku [6] a v rámci ESRO [4, 7—9, 103, 105, 109]. Několik desítek pozorování Slunce z raket a družic provedl Sovětský svaz [10, 11, 99], v poslední době spolu s Československem a NDR (INTERKOSMOS) [10, 12, 103, 104].

V našem přehledu se omezíme pouze na oblasti, pro jejichž sledování je bezvýhradně třeba umístit aparaturu mimo atmosféru. Nezmiňujeme se tedy o sledování záření  $\gamma$ , kde hlavní těžiště je dodnes v balónových letech, i když několik družic neslo detektory pro tento obor (např. Explorer 11, OSO, Ranger 3, OGO 5) [13—21]. Podobná situace je i v infračerveném oboru [22—24]. Vynecháváme raketová a družicová pozorování ve viditelném oboru, tj. jednak pozorování objektů s velmi malou plošnou jasností (od r. 1963 korona [25, 26], zodiakální světlo [27, 28]), jednak pozorování měsíčních a planetárních sond (seznam literatury o měsíčních sondách z let 1965—67 viz např. [29], do konce 1968 [106]). Experimenty rádiové astronomie, které byly prováděny na družicích a sondách, shrnuje tab. 1 [30—32, 72, 98].

Tabulka 1.

*Přehled družic a sond s experimenty rádiové astronomie*

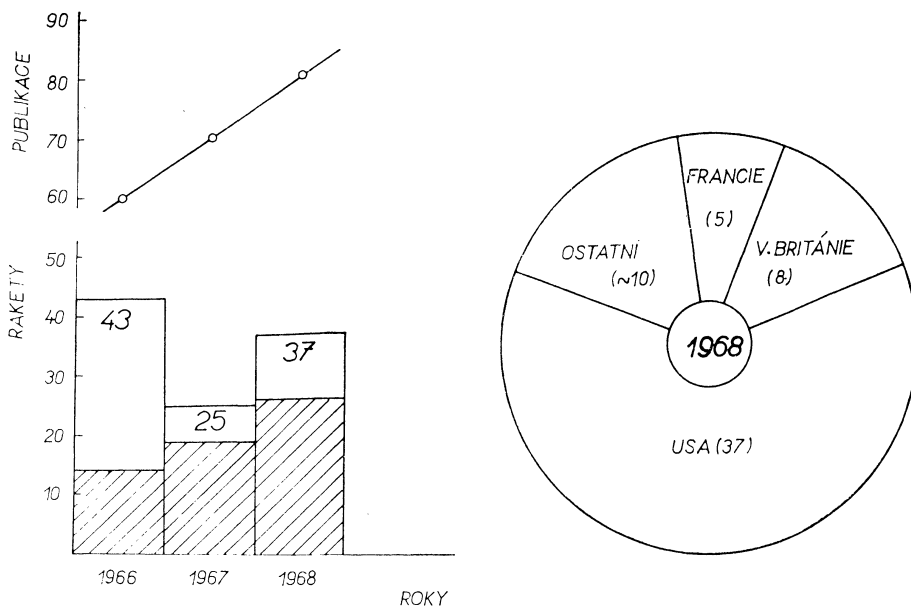
Název	Start	Experiment
Transit 2 A	22. 6. 60	kosmický šum 3,8 MHz
Discoverer 29	30. 8. 61	galaktický šum
Alouette 1	29. 9. 62	galaktický šum 0,5—13 MHz
Mars 1	1. 11. 62	nízkofrekv. galaktický šum 0,2—2 MHz
Elektron 2	30. 1. 64	rádiové záření galaktického původu 0,75—1,5 MHz
Ariel 2	27. 3. 64	galaktický šum 0,75—3,0 MHz
Elektron 4	10. 7. 64	rádiové záření galaktického původu 0,75—1,5 MHz
OGO 1	5. 9. 64	rádiové záření Slunce
OGO 2	14. 10. 65	rádiový šum 2,5 MHz
Alouette 2	29. 11. 65	rádiový šum 0,2—14,8 MHz
OGO 3	7. 6. 66	rádiové záření
Luna 11	24. 8. 66	dlouhovlnné záření Měsíce
Luna 12	22. 10. 66	dlouhovlnné záření Měsíce
Kosmos 142	14. 2. 67	kosmický šum 1,68 MHz
Ariel 3	5. 5. 67	galaktický šum 5, 10, 15 MHz
OGO 4	28. 7. 67	rádiové záření Slunce
OGO 5	4. 3. 68	detektor rádiových bouří ze Slunce a z Jupitera v 8 frekvencích 0,05—3,5 MHz
Explorer 38 (RAE - A)	7. 7. 68	intenzita a frekvence galaktického a slunečního rádiového záření pod 10 MHz; sporadické rádiové bouře Slunce, Jupitera, Země a ostatních zdrojů
ISIS 1	30. 1. 68	galaktický rádiový šum
OGO 6	5. 6. 69	galaktický rádiový šum

## SLUNEČNÍ ASTRONOMIE

Krátkovlnné sluneční záření můžeme rozdělit do tří oblastí: 3000—1200 Å, 1200—500 Å a méně než 500 Å [34, 35]. V první oblasti vystačíme s přístroji, které jsou běžné v pozemské astronomii; zde postačí nahradit obvyklou skleněnou optiku jinými materiály, které jsou v tomto oboru propustné. Střední oblast tvoří přechod — zde se používá soustav pracujících s lomem, ale už také pouze s přímočarým šířením, ohybem nebo úplným odrazem záření. V poslední oblasti je zobrazení pracující s lomem záření zcela nepoužitelné.

*Ultrafialový obor*

Základními přístroji pro výzkum Slunce v ultrafialovém (dále UV) oboru jsou spektrometr (převážně mřížkový) a spektroheliograf [36—39]. Získávání monochromatických obrazů Slunce je značně obtížné. Nelze použít úzkopásmových filtrů, jakých se používá např. pro pozorování



Obr. 3. Vlevo: Počet amerických výškových raket s experimenty kosmické astronomie a počet uveřejněných prací z tohoto oboru. Šrafovane jsou vyznačeny experimenty stelární astronomie. Vpravo: Přehled raket pro kosmickou astronomii vypuštěných roku 1968.

v čáře H $\alpha$ ; také klasické spektroheliografy s pohybující se štěrbinou nejsou příliš praktické zejména pro raketové lety. Pro získání prvního spektroheliogramu v čáře L $\alpha$  vodíku se použilo široké vstupní štěrbinu, pro jiné čáry se osvědčily bezštěrbinové spektroheliografy [34]. Oba přístroje vyžadují poměrně přesnou pointaci; přes významný pokrok v poslední době pointační systém dosud představuje asi pětinašobek hmoty vědecké aparatury.

Při prvních raketových letech šlo o fotografický záznam, neboť se vždy počítalo s návratem hlavice na Zemi. Pro kratší vlnové délky je fotografická cesta poměrně obtížná, neboť je třeba desku pečlivě chránit před krátkovlnným zářením pozadí. To lze provést např. hliníkovým filtrem o tloušťce 0,1  $\mu\text{m}$ , jenž absorbuje všechno záření nad 837 Å, ale je též opakní v oboru 150–80 Å; mezi těmito hodnotami je propustný. Fotografie umožňuje obecně větší přesnost v určení vlnové délky a větší rozlišení, ale nevýhodou je požadavek návratu hlavice. Proto se brzy začaly uplatňovat fotoelektrické metody registrace, které dovolují okamžitý přenos dat a přesnější měření intenzity čar. Fotoelektrické detektory se dají lépe chránit proti sekundárnímu záření a lze jich použít i mezi 150–80 Å. Od oblastí kolem čáry L $\alpha$  vodíku se užívá často ionizačních komor plněných plynem. Příslušný spektrální obor se vymezuje filtry s různou propustností [38, 65].

První pokusy registrovat krátkovlnné záření z balónů koncem třicátých let byly samozřejmě neúspěšné [33]. V roce 1943 postavili v Německu KIEPENHEUER a REGENER spektrograf pro raketu V-2, ale pokus nebyl proveden [40]. První UV spektrum Slunce do 2400 Å získala pak 10. 10. 1946 výzkumná skupina E. O. HULBURTA z NRL na raketě V-2 [41–43]. O dva roky později získali HOPFIELD a CLERMAN první spektra Slunce do 2100 Å [44]. Pomocí termoluminiscenčního fosforového detektoru se podařilo r. 1949 zachytit ve slunečním spektru i čáru L $\alpha$  vodíku (1215, 67 Å) [45].

První fotografie čáry  $L\alpha$  byly pořízeny skupinou Coloradské university v prosinci r. 1952 [46]. V SSSR začala s podobným výzkumem JAKOVLEVOVÁ koncem čtyřicátých let a MANDELŠTAM (1950—51) [40], publikovány však byly práce až z druhé poloviny padesátých let [47]. Od r. 1955 byl používán mřížkový spektrometr Státního optického institutu s tehdy rekordní rozlišovací schopností 0,15 Å [40]. Seznam sovětských raketových pokusů z let 1957—1965 je v [11]: z 35 geofyzikálních raket neslo 12 raket mj. přístroje pro UV výzkum Slunce. Do r. 1960 bylo však sledováno záření převážně nad 2000 Å.

Při pokusu Coloradské university r. 1958 byla registrována velmi silná čára  $L\alpha$  He II (304 Å) [48]. V r. 1960 byla v NRL zachycena poprvé skupina čar mezi 171 až 210 Å, kterou se podařilo identifikovat teprve o tři roky později v Culhamových laboratořích za použití srovnávacího spektra neónové plazmy z Harwellského urychlovače Zeta [41, 49]. Počátkem šedesátých let se posunuly spektrální výzkumy až k rentgenové oblasti [50].

Snímky UV spekter se obvykle pořizují tak, že štěrbinu je umístěna přes celý sluneční kotouč. V r. 1965 byla díky zlepšené tříosé stabilizaci hlavice poprvé sledována spektra 10" vně slunečního disku (Culham lab.) [34]. R. 1965 byl poprvé umístěn spektrometr na družici (OSO 2), což umožňuje dlouhodobé a průběžné pozorování slunečního záření. První sluneční observatoří se stala družice OSO-1 (viz tab. 2), z jejichž výsledků bylo uveřejněno 24 původních prací.

Tabulka 2.

*Oběžné sluneční observatoře OSO, Kosmos, Interkosmos (jen experimenty sluneční astronomie)*

Název start	Aparatura/experiment	Měřicí rozsah
OSO 1 7. 3. 62	rentgenový spektrometr rentgenový detektor ionizační komora záření X detektor slunečního záření detektor $L\alpha$ vodíku	10—100 Å 20—100 keV 1—8 Å 3800—4800 Å 1100—1250 Å
OSO 2 3. 2. 65	rentgenový spektrofotometr UV spektrometr UV teleskop a koronograf v integrálním světle	2—8; 8—20; 44—60 Å 500—1500 Å
OSO 3 8. 3. 67	fotometr slunečního světla spektrometr s ioniz. komorou detektor záření X detektor záření X ze Slunce a z vesmíru	250—1300 Å 1—400 Å 8—12 Å 7—200 keV

*Pokračování tab. 2.*

Kosmos 166 16. 6. 67	rentgenový heliograf s rozliš. 2' rentgenový fotometr řádkovací spektrometr fotometr záření v čáře He II	2–8; 8–14 A 1,5–4; 4,4–6,5; 8–14 A 2–30 A 304 A
OSO 4 18. 10. 67	spektroheliometr krystalový spektrometr spektroheliometr + spektrometr detektor záření X (V. Británie)  detektor záření X fotometr záření v čáře He II	3–75 A 0,3–8 A 300–1300 A 0,5–3; 2–8; 8–16; 44–60 A 1–20 A 304 A
Kosmos 230 4. 7. 68	pravděpodobně jako Kosmos 166	
OSO 5 22. 1. 69	spektroheliograf detektor rentgenový spektroheliograf (V. Británie) profil sluneční a atmosférické čáry $L\alpha$ (Francie) počítač slunečního záření UV detektor	284–1216 A 1–400 A 3–9; 8–18 A  1216 A 0,5–60 A 280–1030 A
OSO 6 8. 8. 69	rentgenový spektrometr  UV spektroheliograf spektrometr pro zjišťování profilů čar He, O, N (V. Británie) detektor záření X detektor slunečního a rozptýleného záření X (Itálie)	0,14–6; 0,6–25; 8–20; 18–25 A 300–1300 A  16; 18; 19; 22; 34; 40 A  20–200 keV
Interkosmos 1 14. 10. 69	rentgenový spektroheliograf (SSSR) rentgenový polarimetr (SSSR) fotometr záření $L\alpha$ (NDR) rentgenový sluneční fotometr (ČSSR) optický sluneční fotometr (ČSSR)	1,7–15 A 0,6–0,8 A 1216 A do 0,1 A 4500 A; 6100 A
Interkosmos 3 plán: léto 1970	rentgenový spektroheliograf (SSSR) rentgenový polarimetr (ČSSR) fotometr záření $L\alpha$ (NDR) optický sluneční fotometr (ČSSR) sedmikanálový analyzátor záření X (ČSSR)	1,7–15 A 0,6–0,8 A 1216 A 4500 A; 6100 A  1,2–0,1 A

Pozn.: Pod pojmem „oběžné observatoře“ rozumíme družice pointované po celý pozorovací čas na cílový objekt.

Tabulka 3.

*Družice a sondy pro výzkum Slunce (jen příslušné experimenty)*

Název	Start	Experiment
Sputnik 2	3. 11. 57	detektor UV záření 1216 A
Vanguard 3	18. 9. 59	detektor záření X s filtry (3—8; 8—22; 44—120 A)
Explorer 7	13. 10. 59	2 ioniz. komory (1—10 A) ioniz. komory (3—15 A) L $\alpha$ detektor (1216 A)
Solrad, SR 1	22. 6. 60	2 ioniz. komory s fluorit. krytem (1216 A) ioniz. komory s beryliovým krytem (8 A)
2. kosmická loď	19. 8. 60	UV spektrometr He II (304 A) detektor pozadí záření X (pod 10 A), neorient.
3. kosmická loď	1. 12. 60	UV spektrometr He II (304 A) detektor pozadí záření X (pod 10 A), orient.
Greb, SR 3	29. 6. 61	ioniz. komory s beryl. krytem (asi 10 A)
Discoverer 29	30. 8. 61	detektor záření X
Ariel 1	26. 4. 62	2 detektory (3—14 A) 3 detektory L $\alpha$ (1216 A)
Greb 4, SR 5	15. 6. 63	detektory (0,5—3; 2—8; 8—16 A) detektory L $\alpha$ (1216 A)
Vela 1 a 2	17. 10. 63	detektor (0—4 A)
Greb 5, Solrad 4	11. 1. 64	detektory (1—8; 8—12; 44—60 A)
Elektron 2	30. 1. 64	detektory záření X
Elektron 4	30. 1. 64	detektory záření X
Vela 3 a 4	17. 7. 74	detektory (0—4 A)
OGO 1	5. 9. 64	scintilační detektor (variace toku X)
Greb 6	9. 3. 65	detektory krátkovlnného záření Slunce
Greb 7, SR	9. 3. 65	detektory krátkovlnného záření Slunce
Vela 5 a 6	20. 7. 65	detektory záření X
OGO 2	14. 10. 65	sluneční spektrometr (170—1700 A)
Explorer 30 Solrad 8	19. 11. 65	detektory záření X (0,5—3; 1—8; 8—12; 8—16 A) detektory záření UV (1080—1350; 1225—1350 A)
OGO 3	7. 6. 66	detektor záření X
OV 1—10	11. 12. 66	proporc. počítač (0,5—14 A) krystalový spektrometr (7—25 A) monochromátor (1600—3200 A)
OV 1—5	28. 4. 67	detektor slunečního záření (2—14 A)
OV 1—86	27. 7. 67	krátkovlnné záření Slunce
OGO 4	29. 7. 67	4 rentgenové fotometry
WRESAT	29. 11. 67	ioniz. komory (1050—1340; 1425—1480 A)
OGO 5	4. 3. 68	spektrometr 0,6—6 A pro X erupce
Explorer 37 SR 9	5. 3. 68	detektory (0,1—60 A v šesti oblastech) fotometry (1080—1350 A; 1225—1350 A)



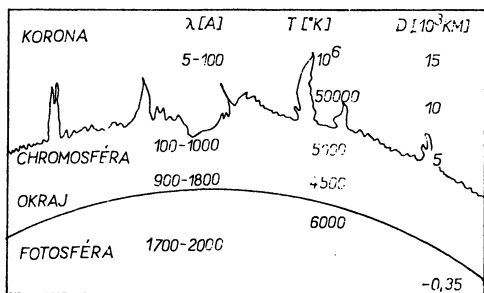
*Pokračování tabulky 3.*

Název	Start	Experiment
ESRO II	17. 5. 68	detektory (44—60 A) detektory (1—20 A)
OV 1—17	18. 3. 69	krátkovlnné záření Slunce
OV 5—6	23. 5. 69	krátkovlnné záření Slunce (erupce)
OV 5—9	23. 5. 69	krátkovlnné záření Slunce (erupce)
OGO 6	5. 6. 69	detektory UV a X záření

Pozn.: Měření slunečního záření X se mělo též provádět na sondách Ranger 1, 2.

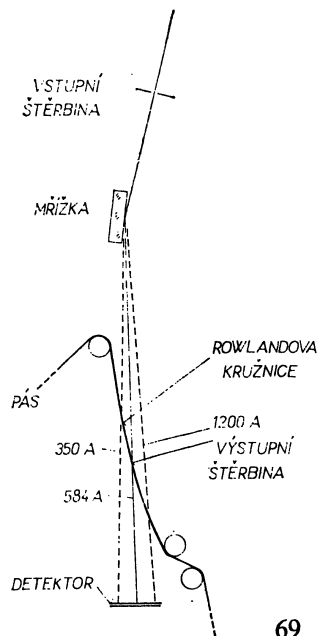
Velkým úkolem pro sluneční fyziky je značný počet neidentifikovaných čar slunečního spektra. Jen ve viditelné oblasti je jich asi 7000 a identifikace v UV oboru je ještě neúplnější [34]. Mezi 2000—3000 Å zůstává zatím asi polovina čar neidentifikována. Je proto stále větší zájem o spektra Slunce s velkou rozlišovací schopností a identifikaci a klasifikaci laboratorních spekter, např. z velkých urychlovačů [49, 52, 58]. Seznam spektrálních čar mezi 500—33 Å je v [53].

Pro výzkum v nízké a střední chromosféře mají základní význam monochromatické snímky Slunce, např. v čarách H $\alpha$  vodíku nebo K ionizovaného vápníku. Spektroheliogramy v dalekém UV oboru umožňují tyto poznatky rozšířit na vysokou chromosféru a korónu. První fotografie byly pořízeny v čáře L $\alpha$  vodíku r. 1956 Coloradskou universitou [54]. Kvalitní spektroheliogramy získali až o tři roky později v NRL



**Obr. 4.** Zářivé oblasti Slunce [69].

**Obr. 5.** Spektrofotometr pro raketový výzkum Slunce, který používá úplného odrazu. Mřížka je konkávní s poloměrem 2 m. Na ocelovém pásu, který je napínán do tvaru Rowlandovy kružnice, je rozmístěno několik štěrbin. Pohybem pásu se dosáhne přehlídky úseku spektra [37].



[41]. Od r. 1963 se získávají obrazy Slunce v jiných čarách. R. 1965 pořídila FREDGA (Švédsko) první monochromatické fotografie v čáře Mg II (2802,7 A) Maksutovým reflektorem s Šolcovým dvojlomným filtrem [55]. Snímky Slunce v dalekém UV oboru pořídil v r. 1964 také ŽITNIK [56]. R. 1966 získali v NRL obrazy v několika čarách mezi 150—700 A s rozlišením 10".

### *Rentgenový obor*

V oboru záření X jsou ještě větší přístrojové potíže než v oboru UV [34, 38]. Nemožnost použít běžné optiky musí se obcházet používáním velmi úzkých svazků paprsků. U mřížek je nutno volit mnohem větší počet vrypů na milimetr než v dlouhovlnné oblasti a vrypy musí být jemné i čisté. Pro tvrdé záření X se místo mřížek osvědčují organické krystaly. Od r. 1963, kdy skupina NRL získala spektrum mezi 13—25 A, používá se také Braggův spektrometr [57].

Jako detektorů se často volí k tomuto účelu počítače plněné plynem (GM počítače), scintilační počítače, krystalové počítače, speciální fotonásobiče a fotografické emulze (předpokládá návrat).

Záření X se od srpna 1949 registrovalo na raketách pomocí Schumanových desek s beryliovými nebo hliníkovými filtry [59]. Již tehdy bylo zjištěno, že záření pod 8 A úzce souvisí s erupcemi. V SSSR začaly přípravy podobných experimentů r. 1956 [40] kdy již měl FRIEDMAN značné množství informací [60] a ELWERT dokončil podrobné teoretické úvahy [61]. První sovětská měření záření X se konala na nestabilizované družici Sputnik 2 (1957 β). Ze signálů předaných na Zemi však nebylo možno určit podíl záření Slunce. Později se ukázalo, že registrované záření pocházelo z pásu zvýšené radiace kolem Země [40, 62]. Roku 1959 byla provedena raketová měření v několika oblastech mezi 2—60 A pomocí fotonásobičů s filtry [63]. Z 35 geofyzikálních raket v letech 1957—65 vypuštěných v SSSR neslo 8 též přístroje pro detekci záření X [11]. Další experimenty na družicích zahrnují tab. 2 a 3. Od r. 1960 se na družicích Solrad [64, 100] registruje záření ze Slunce a výsledky se průběžně sdělují na Zemi (mezinárodní program za účasti i Astronomického ústavu ČSAV). Už Solrad 1 zjistil, že záření 1—8 A při erupcích prudce vzroste, zatímco např. záření v čáře  $L\alpha$  vodíku se prakticky nemění [41].

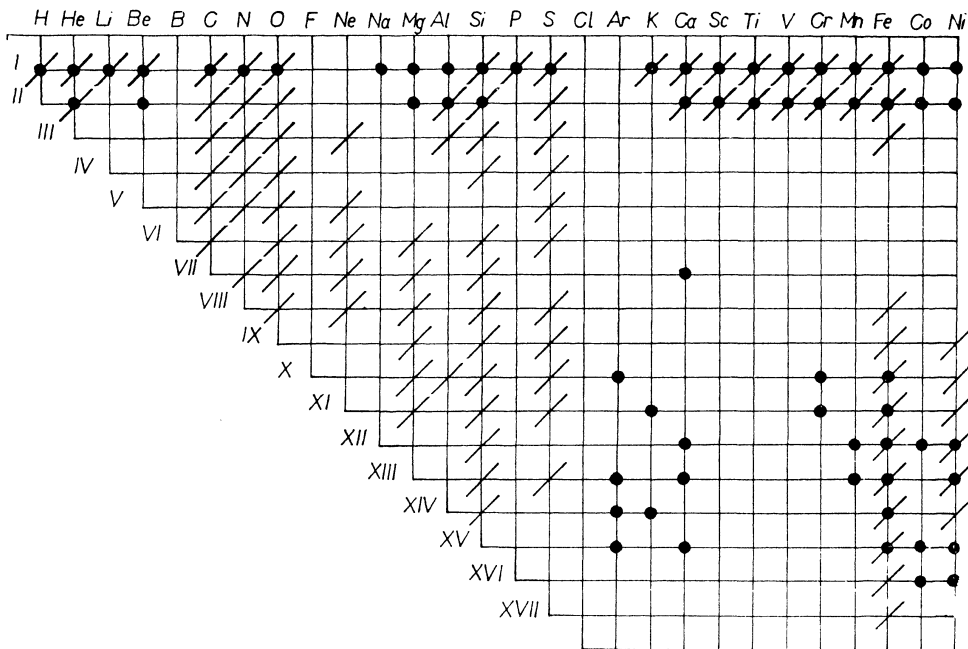
Dokonalá spektra byla získána až v letech 1963—64 Braggovým spektrometrem [34]. V NRL pořídili r. 1963 spektra mezi 13—25 A (BLAKE et al. [57]) mřížkovým spektrometrem (2400 vrypů/mm, rozlišení 0, 1 A). Ve stejném rozsahu získal spektra r. 1966 také POUNDS z Leicesteru. V říjnu r. 1966 pořídil FRIEDMAN spektra v rozsahu 1—8 A a 9—25 A; tyto oblasti se dosud zkoumají. Seznam čar mezi 9,5—33,75 je např. v [40, 56].

Relativně jednodušší než spektrální výzkum v oboru X je pořizování rentgenových monochromatických obrazů, na kterých lze zkoumat zdroje rentgenových emisí na Slunci.

Nejjednodušším přístrojem je dírková komora vybavená příslušným spektrálním filtrem, např. hliníkem nebo mylarem [65]. Dále se používá pro rentgenové zobrazování Fresnelovy zonální desky. Pro dlouhodobější použití je vhodný mechanický šterbinový kolimátor se dvěma nebo více šterbinami. R. 1964 navrhl ODA tzv. stínový kolimátor, u kterého jsou šterbiny nahrazeny

drátěnými mřížkami. Pro zobrazování je vhodná také optika využívající totální reflexe na několika plochách, jejichž optimální tvar navrhl r. 1952 WOLTJER [67]. Bližší popis těchto spektroheliografů je např. v [65].

První obraz Slunce v oboru záření X byl pořízen v NRL z rotující hlavičky dne 19. 4. 1960 v oblasti pod 60 Å dírkovou komorou s filtrem (CHUBB). Rentgenový teleskop, který zhotovili UNDERWOOD a MUNEY, vynesla r. 1967 družice OSO 4. Byla získána řada zdařilých snímků v rozsahu 3–70 Å [51].



Obr. 6. Prvky a ionty pozorované ve slunečním spektru. Šikmé čáry značí, že ionty byly pozorovány pouze mimo zemskou atmosféru, plné kroužky označují ionty, které byly pozorovány ve spektru Slunce nad 2600 Å. Římská čísla značí stupeň ionizace [34].

V období klidného Slunce je tok záření X během dne téměř konstantní. V období týdnů a měsíců se intenzita záření pod 10 Å mění o několik řádů, mezi 10–20 Å o 1 řád a v oboru měkkého záření X jen 2–3krát. Byly zjištěny korelace mezi celkovou aktivitou Slunce a intenzitou rentgenového záření v různých oborech [34, 40, 67].

Rentgenová emise ze slunečních erupcí byla poprvé pozorována r. 1956 [68]. Během erupce vzroste celkový tok energie v oboru rentgenového záření na dvojnásobek proti klidnému Slunci, je registrováno asi čtyřikrát více záření v oblasti pod 10 Å a lze sledovat i intenzivní tok záření pod 5 Å [34].

Významným pokrokem ve sluneční kosmické astronomii bude vytvoření pilotované sluneční observatoře Skylab na dráze kolem Země r. 1972 [69, 70].

*Ultrafialový obor*

Ostatní objekty ve vesmíru se zkoumají samozřejmě mnohem obtížněji než Slunce. Prvním UV pozorováním mimo Slunce byly proto přehlídky UV záření celé oblohy z nestabilizovaných nebo rotujících raketových hlavic (v NRL od r. 1955 [41]). Identifikace měřených objektů se pak dodatečně prováděla podle údajů slunečních senzorů, magnetometrů nebo detektorů obzoru o okamžité poloze hlavičky. Podobná měření prováděla počátkem 1965 družice Kosmos 51 [71, 72], která zjistila celkovou svítivost hvězdné oblohy 2—3krát vyšší, než se předpokládalo [73].

Velmi důležitým zdrojem informací o fyzikálních pochodech na hvězdách jsou měření jasností v širokých spektrálních oborech. Pro fotometrii jsou vhodné jednoduché světelné komory, v jejichž ohnisku je fotonásobič nebo ionizační komora. Spektrální rozsah se vymezuje filtry. Některé ze starších výsledků však nebyly spolehlivé, jak o tom svědčí např. pozorování plynné obálky o průměru  $22,5^\circ$  kolem hvězdy Spicy (1957). Po třech letech bylo zjištěno, že rané hvězdy září jako bodové zdroje, avšak jejich jasnost je o  $1^m$  menší, než vycházelo z teoretických modelů hvězdných atmosfér [38, 74]. Jasnost hvězd v UV oboru se určovala v poslední době na družici OAO-2, kde se používal systém čtyř televizních kamer s filtry; jasnost se zjišťuje porovnáním televizního obrazu hvězdy s kalibračním zdrojem [80].

V důsledku absorpce mezihvězdného vodíku je velmi obtížné pozorovat hvězdné objekty mezi hranou Lymanovy série a měkkým zářením X. O tomto oboru si můžeme udělat představu pouze pozorováním planetárních mlhovin, kde se krátkovlnné neviditelné záření transformuje na světlo a tak nám umožňuje uskutečňovat kosmický výzkum přímo ze Země [75].

První UV spektra se získávala objektivními disperzními optickými prvky (mřížky, hranoly). Teprve v novější době se začíná používat šterbinových spektrometrů; tento pokrok je umožněn dokonalejší pointací přístrojové hlavičky.

UV spektra hvězd do 1800 Å získali poprvé v Goddardově středisku pro kosmické lety (= GSFC) r. 1961 [86]. O čtyři roky později rozšířil MORTON z Princetonu spektrální dosah až do 1200 Å. Např. u hvězd  $\pi$  a  $\delta$  Sco bylo identifikováno 18 a 25 čar; všechny byly absorpční na rozdíl od emisních čar Slunce v tomto oboru [77]. Kromě toho byly sledovány desítky hvězd v souhvězdích Orion, Lupus a Canis Major. Od poloviny šedesátých let vypouštějí také britské výzkumné skupiny přístroje na raketách Skylark pro UV přehlídky oblohy a spektrofotometrii s rozlišením kolem 1 Å [4]. R. 1966 MORTON a JENKINS pokračovali ve výzkumu O a B hvězd v Orionu až k 1130 Å [3]. Nejvíce absorpčních čar bylo zjištěno u hvězd Orionova pasu, u  $\gamma$  Ori se registrovalo až do 2100 Å jen kontinuum.

Z pozorování mezihvězdné absorpční čáry  $\text{L}\alpha$  vodíku lze odhadnout množství atomů mezihvězdného vodíku na  $1,1 \cdot 10^{20}$  at./ $\text{cm}^2$  (o řád méně než vyplývá z radiového výzkumu na vlně 21 cm). O tři roky později opakoval CARRUTHERS měření se stejným výsledkem.

R. 1968 JENKINS a MORTON sledovali absorpci ve směru hvězd  $\delta$  a  $\pi$  Sco. Byla

zjištěna hustota  $10^{21}$  atomů/cm<sup>2</sup> neboli 2 atomy/cm<sup>3</sup> při vzdálenosti 170 parsec. To odpovídá hustotě, kterou určil STECHER pro ζ Oph. BOHLIN určoval také absorpci ze spektra hvězdy γ Cas a zjistil hustotu 0,05 atomu/cm<sup>3</sup>, podobně jako pro hvězdy v Orionu, Canis Major, Vela a Puppis. Výsledky lze shrnout do zjištění, že od γ Ori a ke γ Vel i poblíž γ Cas je hustota mezihvězdného vodíku asi o řád menší, než se předpokládalo, avšak ve směru ζ Oph, β, δ, π Sco je oblak o hustotě asi  $10^3$  at/cm<sup>3</sup>, jak předpokládá např. HERBIG [78].

UV spektra hvězd získala Wisconsinská universita mj. též z raketových letadel X-15. Za zmínku stojí též spektra komety Ikeya-Seki, která v roce 1965 pořídily čtyři americké skupiny [3], spektra Marse (1959 BOGGESS a DUNKELMAN) a Jupitera (1963 STECHER 1700—4000 Å; 1968 KONDO 1100—4000 Å) [79].

Tabulka 4.  
*Družice a sondy s experimenty stelární astronomie*

Název	Start	Experiment
Zond 1	2. 4. 64	měření rozptýleného UV záření
Kosmos 51	10. 12. 64	svítivost hvězdné oblohy (3700—5500 Å, 2200—3000 Å)
USAF/SN 43 (1964—83 C)	13. 12. 64	UV fotometrie hvězd (1376 Å)
OSO 2	3. 2. 65	UV fotometrie hvězdných objektů
Zond 3	18. 7. 65	UV záření Měsíce (2100—2700 Å)
Venera 2	12. 11. 65	rozptýlená UV záření, čára L $\alpha$ Slunce a Mléčné dráhy (1050—1340 Å)
Venera 3	16. 11. 65	dtto (1050—1340 Å, 1225—1340 Å)
Luna 10	31. 3. 66	záření X fluoresc. povrchu Měsíce (8—14 Å; hořčík, hliník, křemík)
OA0 A-1	8. 4. 66	UV výzkum hvězd — pro technickou poruchu nemohlo být pozorování provedeno
Luna 11	24. 8. 66	jako Luna 10
Luna 12	22. 10. 66	jako Luna 10
OSO 3	8. 3. 67	zjišťování toku a směru X a $\gamma$ záření (7,7—210 keV)
Venera 4	12. 6. 67	jako Venera 3
OSO 4	18. 10. 67	rentgenový teleskop (0,1—10 Å)
OGO 5	4. 3. 68	UV sledování komety Tago — Sato — Kosaka
Kosmos 208	21. 3. 68	kosmické záření X (2—55 keV)
Kosmos 215	18. 4. 68	UV a X záření raných hvězd a atmosféry, optická fotometrie (1000—3000 Å)
OA0 A-2	7. 12. 68	4 televizní UV fotometry (1000—3000 Å) stelární fotometr (900—3000 Å)
Venera 5	5. 1. 69	pravděpodobně jako Venera 3
Venera 6	10. 1. 69	dtto
OSO 6	8. 8. 69	X a $\gamma$ záření (20—200 keV)

UV astronomie používá i umělých družic: během prvního půl roku úspěšné činnosti družice OAO 2 [80, 81] se získalo 20krát více informací o záření hvězd v UV oboru než za předchozích 15 let raketových pozorování. O výsledcích se referuje v [82, 83]. Nejzajímavějším zjištěním je menší jasnost hvězdných obrů v UV oboru, než se předpokládalo. [108]

### *Rentgenový obor [85]*

Pro přehledky oblohy v rentgenovém záření se používá různě upořádaných GM počítačů nebo proporciónálních počítačů. Pro přesnější určení polohy zdroje je nutno použít rentgenových detektorů s kolimátory (např. stínový kolimátor ODY [84]). Družice OAO 3 bude vybavena rentgenovým teleskopem pro studium stelárních zdrojů (britské university) [4].

R. 1956 byla určena horní hranice toku rentgenového záření z možných diskretních zdrojů na  $10^{-8}$  erg/cm<sup>2</sup> s (1—10 A) [41]. V červnu 1962 se výzkumná skupina GIACONNIHO snažila registrovat rentgenové záření z Měsíce v oblasti 1—30 A a objevila zdroj X zhruba ve směru k jádru Galaxie [87]. O rok později [88] zjistili pracovníci NRL velmi silný zdroj v těchto místech — v souhvězdí Štíra a další v souhvězdí Býka (oblast Krabí mlhoviny M 1). Zajímavý experiment byl proveden NRL v červenci 1964 při zákrytu M 1 Měsícem. Bylo zjištěno, že záření X přichází z oblasti o průměru 1—2', ležící poblíž viditelného středu mlhoviny.

Po prvních dvou zdrojích X v Galaxii bylo v průběhu šedesátých let objeveno díky raketovým a balónovým měřením asi 50 diskretních zdrojů záření X v rozmezí 12,5—1,25 A (tj. 1—10 keV), ale jejich celkový počet se nyní odhaduje na 1250 [89]. Nejnověji se o této tematice referovalo v květnu 1969 v Římě na 37. symposiu IAU za účasti 170 odborníků z USA, V. Británie, Itálie, Indie a Japonska [90]. Zdroje X jsou pravděpodobně koncentrovány podél galaktického rovníku do vzdálenosti kolem 2000 parsec. Odtud plyne jejich skutečná svítivost kolem  $5 \cdot 10^{36}$  erg/s.

Prvním zcela prokazatelným extragalaktickým zdrojem záření X je výtrysk galaxie M 87, registrovaný 17. 5. 1967 v NRL (FRIEDMAN, BYRAM). Další extragalaktické zdroje (vč. rádiového zdroje Cas A), udávané FRIEDMANEM, nebyly potvrzeny. Pravděpodobným zdrojem X je také galaxie NGC 5128, spojovaná s nedalekým rádiovým zdrojem Cen A a quasar 3 C-273, pro které bude nutno pokusy opakovat. V červnu 1968 byl skupinou Leicesterské university zaznamenán zdroj o průměru 12°, ležící ve Velkém Magellanově mračnu. Jeho existence se však musí ještě zkoumat. Podobně je také nutno ujasnit galaktickou příslušnost několika zdrojů ležících mimo galaktický rovník [91, 92].

Zdroj Sco X-1 byl v roce 1966 velmi přesně lokalizován a byla zjištěna jeho velikost (7'), takže mohla být provedena poprvé optická identifikace. K přesnému měření polohy bylo použito Odova kolimátoru. Pomocí pozorování z Tokia, Mt. Wilsonu a Mt. Palomaru [93] se podařilo ztotožnit Sco X-1 se slabým, modrým, hvězdě podobným objektem. Jak ukázala pozdější simultánní pozorování raketových a pozemních stanic (poprvé CHODIL), optická složka V 818 Sco je proměnnou hvězdou

12,5—13,4<sup>m</sup> s periodou několika dní (na deskách v Harvardu byla hvězda zkoumána do r. 1896) a s krátkodobými fluktuacemi řádu  $10^{-2}$  min během minut a  $10^{-4}$  min během hodin. G. H. HERBIG popisuje její spektrum jako kombinaci mezi spektrem postnovy a proměnné typu SS Cyg. Spojité spektrum je ploché v optickém oboru a klesá s rostoucí délkou vlny v infračerveném oboru. Záření X lze interpretovat jako brzdné (elektronový plyn o teplotě 45—80 · 10<sup>6</sup> °K, obsah Fe méně než 5%). Dalším pokusem o optickou identifikaci byl zdroj Cyg X-2 přesně lokalizovaný GIACONNIM r. 1966. Přitom se sledovala oblast čtyř postnov v souhvězdí Cygnus (1600, 1876, 1938, 1942) a v Lacertě (1910, 1936). Srovnáním s deskami z Mt. Palomaru byl zjištěn slabý, hvězdě podobný objekt o jasnosti 15,5<sup>m</sup> asi 6' od místa zdroje X. Je to modrá složka, dosti podobná V 818 Sco, se silně proměnným optickým i rentgenovým tokem a spektrem typu F nebo G. Tepelné brzdné záření odpovídá teplotě 35 · 10<sup>7</sup> °K. Prvotní domněnku o zákrytové dvojhvězdě se zatím nepodařilo prokázat. Dalšími opticky identifikovanými zdroji jsou Cen X-2 = WX Cen (13—14<sup>m</sup>) a Vela X-1 (17<sup>m</sup>). V současné době pokračují pokusy o identifikaci a určení vzdáleností optických složek.

Nejméně 3 zdroje X jsou spojeny se zbytky po supernovách (Krabí mlhovina, Cas A, Tychonova supernova).

Značnou pozornost vzbudil objev variability Cyg X-1. Při pokusu r. 1964 bylo registrováno 3,6 impulsů/cm<sup>2</sup>, r. 1965 jen 0,9 impulsů/cm<sup>2</sup>. Přitom se sice použilo rozdílného přístroje, ale srovnávací záznamy od Cyg X-2 se prakticky neliší. Nejvíce proměnným zdrojem je Ceu X-2, který krátce po svém objevení „zhasl“. CHODIL z Kalifornské university předpokládá, že během dvou let vzroste 50krát jeho jasnost (1965 nebyl zjištěn) a pak poklesne za 1,5 měsíce.

Nejnověji byl v lednu 1969 ztotožněn pulsar NP 0532 se slabou hvězdou v Krabí mlhovině. K tomuto objevu došly zároveň tři výzkumné skupiny: 7. 3. 69 Columbia University (oznámeno 30. 4.), 13. 3. 69 NRL (ozn. 22. 4.) a 26. 4. 69 Massachusetts Inst. of Technology (ozn. 24. 5.) [94]. Byla zjištěna periodicitá pulsů v oblasti tvrdého rentgenového záření (0, 033072340 s).

Experimenty rentgenové stelární astronomie byly uskutečněny americkými a britskými skupinami a od r. 1966 také skupinami ve Francii (Krabí mlhovina a Cas A) [5] a v Japonsku (přehlídka oblohy) [6].

Několik experimentů ze stelární astronomie bylo provedeno v rámci pilotovaných letů (též [95—97]).

### *Závěr*

Pokrok kosmické astronomie, doplněný vývojem klasických metod astrofyziky, umožnil v posledních 20 letech podstatně rozšířit obor vlnových délek záření, jež přijímáme z vesmíru, a objevit nové typy objektů. Hlavním důsledkem těchto výzkumů je zjištění mohutných energetických přeměn. Přitom objekty, které mají největší energetickou bilanci, jsou pravděpodobně zdroji záření o vysoké energii. Jejich podrobné studium mění do značné míry ustálenou představu o vesmíru jako soustavě, v níž probíhají jen pomalé evoluční změny.

## Literatura\*)

- [3, 4, 5, 6, 9, 10] Zprávy pro COSPAR — USA, Velká Británie, Francie, Japonsko, ESRO, SSSR — 1961 až 1969.
- [8] GRÜN M., KANTOR F.: *Letectví a kosmonautika* 44 (1968), 867.
- [13, 34] *Annual Rev. of Astronomy and Astrophys.* 5 (1967), 481 a 279.
- [18, 22, 30] Proceedings of IAU Symposium No. 23, ed. J.-L. Steinberg, Liège 1964, 247, 261 a 305.
- [28, 51] GRÜN M., KOUBSKÝ P.: *Říše hvězd* 48 (1967), 65; 50 (1969), 25.
- [37, 38, 39] *Space Astrophysics*, ed. W. Liller, McGraw-Hill, New York 1961, 34 a 74, 107, 228.
- [40, 11] *Uspechi SSSR v issledovaniji komičeskovo prostranstva*, Izd. Nauka, Moskva 1968, 293 a 19.
- [41] TOUSEY R.: *Applied Optics* 6 (1967), 2044.
- [50] FRIEDMAN H.: *Annual Rev. of Astronomy and Astrophys.* 1 (1963), 39.
- [65] AMBROŽ P.: *Kosmické rozhledy* 6 (1968), 69.
- [71] VLACHÝ J., GRÜN M., POSTRÁNECKÝ M.: *Čs. čas. fys. A* 16 (1966), 251.
- [72] IAU Draft Report (Commis. No. 44), 13th General Assembly, Prague 1967, 974.
- [84] ODA M.: *Space Sci. Rev.* 8 (1968), 507.
- [90] MUMFORD G. S.: *Sky and Telescope* 38 (1969), 96.
- [98] RICHTER H. L.: *Instruments and Spacecraft*, NASA SP 3028, Washington 1966.
- [107] WILSON R., BOKSENBURG A.: *Ann. Rev. of Astronomy and Astrophysics* 7 (1969), 421.

\*) Úplný seznam zahraniční i naší literatury (109 odkazů) zašle zájemcům na požádání redakce.

### První teplotní profily atmosféry určené z družice

První uveřejněné výsledky z měření družice Nimbus III ukazují, že je možno přesně stanovit průběh teploty v atmosféře.

Meteorologická družice Nimbus III byla vypuštěna 14. dubna 1969. Kromě mnoha jiných přístrojů byla vybavena infračerveným spektrometrem, který měří teplotu atmosféry podle návrhu J. F. KINGA a L. D. KAPLANA. Spektrometr měří infračervené záření v sedmi intervalech absorpčního pásu kyslíčnicku uhlíčitého se střední vlnovou délkou 15 mikronů. Současně měří také záření v oblasti 11,1 mikronu. Družice je stabilizována tak, aby mřížkový spektrometr měřil záření přicházející ve vertikálním směru od zemského povrchu. Zorné pole přístroje představuje čtverec o straně asi 200 kilometrů na povrchu Země. Pro kalibraci je na družici umístěno absolutně černé těleso. Vertikální rozložení teploty v atmosféře se získá simultánním řešením sedmi rovnic. Vstupní data poskytuje sedm kanálů spektrofotometru. Osmý kanál, měření v oblasti 11,1 mikronů, dává okrajové podmínky.

Prvních 14 dnů práce družice bylo věnováno velmi důkladné prověrce této metody. Teplotní profily spočítané z měření družice Nimbus III se porovnávaly s měřením radiosond. Výsledky těchto zkoušek byly velmi povzbudivé. Ukázalo se totiž, že vysoké mraky (cirry) celkem neovlivňují měření teplot z družice. Značným problémem zůstává určení teploty pevninského povrchu Země. Nad oceány tento problém odpadá, protože vodní plochy jsou tepelně mnohem stabilnější. Autoři pokusu WARK a HILLARY se domnívají, že tento nedostatek bude možno obejít větším počtem kanálů ve viditelném oboru.

Tímto úspěchem bylo dovršeno úsilí vědců vyvinout přístroj a redukční metody k tomu, aby bylo možné ze záření atmosféry určit její teplotní profil. V budoucnu se této metody použije nejen k měření teploty atmosféry a k meteorologickým prognózám, ale také pro zjišťování ložisek minerálů a ke studiím znečištěného ovzduší v průmyslových oblastech.

WARK D. O., HILLARY D. T.: *Science* 165 (1969), 1256.

Pavel Koubský