

KOSMICKÉ ROZHLEDY

NEPERIODICKÝ VĚSTNÍK ČESKOSLOVENSKÉ
ASTRONOMICKÉ SPOLEČNOSTI PŘI ČSAV

3

PŘI

Marcel Grün

Vliv kosmického výzkumu na vědu

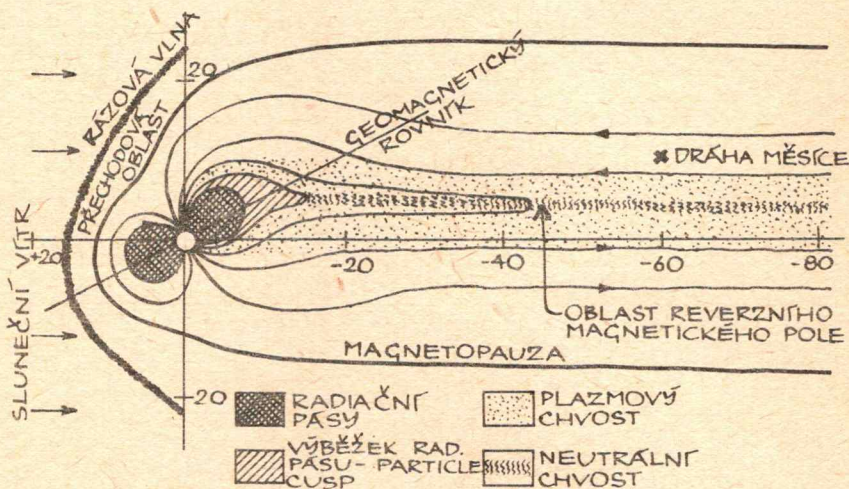
V poválečných letech prošla věda celou řadou základních změn. Rozhodující měrou k tomu přispěla raketová technika a technika pro kosmické lety, která se stala novým nástrojem pro výzkum a zasáhla téměř do všech odvětví tvrdí lidské činnosti. Dopad kosmonautiky se projevuje i v rozvoji a organizaci průmyslu, v technice, ekonomii, společenských vědách atp. Komplexní zhodnocení, byť velmi stručné, by si vyžádalo nejméně rozsah celého čísla tohoto časopisu /viz např. 1-3/. Omezíme se proto jen na několik příkladů vlivu na vědu. Je nutno však upozornit, že se tím zbavujeme jak možnosti uvádět atraktivní příklady z praktické aplikace, tak průkazného finančního měřítka, které je přes relativně značné výdaje pro kosmonautiku příznivé.

Základní vědecký výzkum, prováděný ve vesmíru nebo v přímé souvislosti s ním, dostal název kosmický výzkum. Zahnuje dvě základní oblasti zájmu : sluneční soustavu a vzdálený vesmír. Není samozřejmě ani novou vědou, ani novou vědní disciplínou. Je spíše rozvitím mnoha klasických disciplín a kosmické techniky (tj. jejich aplikace) pro řešení významných vědeckých problémů. Při tom jde nejen o nový útok na staré problémy, ale též o zodpovídání nových otázek, které vznikly na základě kosmického výzkumu. Jeho "vitalita" je právě ve značném rozšíření a zintenzivnění vědy. H.E.Newell a L.Jaffe /4/ uvádějí jako příklad tyto čtyři rozsáhlé obory : vědy o Zemi, fyziku, astronomii a biologii.

Ve vědách o Zemi byl prvním úkolem výzkum atmosféry. Na základě raketových pokusů byla stanoveny standardní atmosféra do 100 km. Kosmická technika umožňuje určovat její základní parametry (tlak, hustotu, teplotu) do výšky 1500 km, ať již měření přímým nebo nepřímým (brzdění družic). Dozvěděli jsme se, že atmosféra sahá nejméně o řád dále, než jsme se domnívali. Byla objevena geokorona (tj. korona Země), složená z atomů vodíku, protonů a elektronů. Nesmíme zapomenout na studium vlastností ionosféry (zejména koncentrace elektronů a prostorové změny struktury) pomocí sondážních raket a družic Explorer, Alouette a Kosmos /např. 5,6/. Tato měření mají význam mj. pro fyziku plazmatu a radiotechniku kosmickou i pozemskou. Studium atmosféry je v současné době existenční otázkou civilizace. Všem je dobře znám problém průmyslových a městských exhalací a smogové pohromy velkoměst. Jedním z opatření by bylo zastavit automobily i továrny. Avšak lépe je poznat zákonitosti atmosférického proudění a těm přizpůsobit výstavbu nových objektů. Jiný příklad dosavadní neznalosti vzdušného oceánu, který nás obklopuje : v důsledku průmyslového rozvoje

stoupl za posledních 60 až 70 let obsah CO_2 v atmosféře o 8 %. Protože CO_2 absorbuje v atmosféře tepelné záření ze Země, teplota se pozvolna zvyšuje. Stačila by střední změna teploty jen o několik stupňů, aby se změnil charakter klimatu, došlo k tání polárního příkrovu a zalití nízkých oblastí kontinentů. Důsledkem by mohl být i zvýšený spád sněhu - počátek nové doby ledové.

Mezi nové oblasti věd o Zemi patří výzkum magnetosféry (tj. meziplanetárního prostoru pod převažujícím vlivem magnetického pole Země). Ten začal v roce 1958, kdy družice objevily van Allenova pásma záření, čímž byla vyvrácena domněnka, že radiace stoupá přímo úměrně se vzdáleností od Země. Od počátku 20. století, kdy Störmer přišel se svou teorií drah nabitých částic v zemském magnetickém poli, existovaly jen teoretické koncepce. Teprve v posledním desetiletí bylo možno je experimentálně podepřít a dotvořit. Tvar zemské magnetosféry je na obr. 1. Její čelo leží nad osvětlenou částí Země ve vzdálenosti 60 000 - 90 000 km a do vzdálenosti asi 450 000 km se její průměr (250 000 km) nemění. Výsledky družic (např. IMP, Vela, Luna) byly doplněny kosmickými sondami. Mariner 4 ve vzdálenosti 20 milionů km už stopy magnetosféry nezjistil, avšak předběžné výsledky Pionera 7 potvrzují, že turbulentní chvost zemské magnetosféry se projevuje ještě ve vzdálenosti 5,6 milionů km od Země.



Studium magnetosféry úzce souvisí jednak s výzkumem polárních září, magnetických bouří, komunikačních poruch a výchylek počasí a jednak se sluneční aktivitou a meziplanetárním prostorem.

Novým přínosem pro vědy o Zemi bude jejich rozšíření na ostatní planety sluneční soustavy. Teorie, přístroje a metody vyvinuté pro pozemský výzkum budou zanedlouho použity na

Měsíce a planetách a výsledky studia budou mít bezprostřední přínos pro výzkum Země. Již dnes je aktuální např. otázka, která tělesa sluneční soustavy mají magnetické pole. V tomto ohledu bude zajímavou planetou Jupiter, jehož rádiové záření dává tušit rozsáhlou magnetosféru, táhnoucí se miliony kilometrů prostorem a radiální oblasti tisíckrát intenzivnější než u Země.

Značný význam má kosmický výzkum pro fyziku. Vesmír je novou laboratoří, jakou na Zemi nikdy nelze vybudovat. Připomeneme, že vakuum ve vesmírném prostoru je nejméně o tři řády dokonalejší než v nejlepších laboratorních vývěvách. Je tu možno sledovat magnetohydrodynamické jevy, přichází si tu na své celá fyzika plazmatu; jaderná fyzika má možnost např. zkoumat částice primárního kosmického záření o energiích o 10 řádů vyšších než v nejvýkonnějších urychlovačích. Celou řadu experimentů připravují relativističtí fyzikové. Při kosmických pokusech může být odhalen původ gravitačních sil (prozatím alespoň laserový odraz od Surveyora 7 umožnil zpřesnit pozici Země - Měsíc v souvislosti s Newtonovou gravitační konstantou). Pro fyziku, prováděnou v prostoru, se začíná používat název kosmická fyzika. Ta úzce souvisí s vědami o Zemi i s astronomií, neboť se zabývá mj. slunečním a stelárním magnetismem, meziplanetárním a galaktickým magnetickým polem, magnetosférou, vznikem a šířením kosmického záření, geofyzikou, slunečním větrem a sluneční fyzikou.

Snad největší revoluci způsobuje kosmický výzkum v astronomii /mj.7/. Díky možnosti dopravit pozorovací aparaturu nad atmosféru, která brání většině elektromagnetického záření proniknout k povrchu, vznikla kosmická astronomie. Nad magnetosférou, která odclonuje elementární částice z meziplanetárního prostoru, je možno sledovat korpuskulární záření. Díky kosmonautice se nejen rozrostl interval optického a rádiového pozorování, ale mohly vzniknout i nové obory (např. astronomie rentgenového a gama-záření). Přístroje na raketách a umělých družicích zjistily asi 20 galaktických zdrojů X-záření (mimo Slunce) a dva extragalaktické (Cyg A, M 87). Zdroje X-záření, poprvé zjištěné v červnu 1962 v souhvězdí Štíra (Giacconi se spolupracovníky), patří k nejnepočkávanějším objevům a spolu s quasary znamenají novou kapitolu soudobé astronomie. První ultrafialová spektra hvězd obdržel Morton při raketovém pokusu v červnu 1965. Od té doby bylo provedeno několik dalších experimentů, mj. ve Francii (laboratoře kosmické astronomie v Marseille). Slabé ultrafialové spektrum se podařilo zaregistrovat při raketovém pokusu též od komety Ikeya-Seki. V roce 1965 byla ve Spojených státech provedena první infračervená pozorování z raket. V kosmické astronomii se dostal poprvé ke slovu člověk : několik experimentů bylo zařazeno do programu Gemini a Apollo. V roce 1968 budou startovat družice Orbiting Astronomical Observatory (v dosahu jejího dalekohledu je 9.10^4 hvězd typu O, 6.10^4 hvězd B, 10^4 hvězd A a 10^3 hvězd typu F, G, K) a Radio Astronomy Explorer (mezi úkoly patří první zmapování Galaxie v oboru velmi nízkých frekvencí, sledování sporadických slunečních rádiových bouří, rádiového záření Jupitera a rádiové emise Země - podobné úkoly budou mít francouzsko-sovětská družice Roseau). Pro pozorování Slunce (včetně záření X, UV, IC) se používá výškových raket a družic (např. OSO, Solrad, USAF, Kosmos). Velkým přínosem bude kombinace pozemské a kosmické astronomie, jak už naznačil mj. úspěšný pokus o identi-

fikaci zdroje Sco X - 1, který byl proveden na raketách i na observatořích v Tokiu, Mt. Wilsonu a Mt. Palomaru. Vizualní složka tohoto nejsilnějšího X-zdroje je modrý, hvězdě podobný objekt 13 m.

Mezi pokroky astronomie však patří i ostatní výzkum vesmíru, který se projevill prozatím nejvýrazněji při studiu Měsíce /souhrn vč. literatury 8/, blízkých planet a meziplanetárního prostoru. Měsíční sondy dodaly tolik snímků a údajů, že jejich konečné zpracování si vyžádá jistě několika deseti-letí. Prof. Z. Kopal hodnotí růst našich možností při výzkumu Měsíce faktorem 10 000 (o 10^4 stoupla rozlišovací schopnost pozorování během 8 - 10 let používání kosmické techniky). A brzy přijde okamžik, kdy Měsíc přestane patřit jen hvězdářům.

Biologie a lékařství jsou dosud na prahu "kosmického věku". I když největší část výzkumu je věnována zajištění životních podmínek při letech člověka, byla uskutečněna řada "čistě" vědeckých experimentů (např. programy Bios, Gemini, Apollo). Jako příklad může sloužit výčet úspěšných biomedikálních pokusů v programu Gemini /9/ (v závorce číslo letu): Adaptace srdečního svalu na beztlížný stav (5,7), cvičení za letu (4,5,7), fonokardiogram (4,5,7), rovnováha tělových tekutin (7,8,9A), demineralizace kostí (4,5,7), rovnováha vápníku v těle (7), studium spánku (7), funkce lidského ústrojí stability (5,7). Praxe z kosmických letů pomůže při řešení otázek, jako např. vliv gravitace na živý organismus, vliv denního cyklu, vývoj života a průběh životních procesů. Připomenme jednou větou, že pro kosmická zařízení byly vyvinuty nejdůkladnější metody sterilizace (např. při letech na planety budou sterilizované i pohonné hmoty). Velkým přínosem pro exobiologii bude setkání s formami života na jiných kosmických tělesech. Pokrokem budou už akce CETI (Communication with Extra - Terrestrial Intelligence), které připravuje prof. R. Pešek.

Významným důsledkem kosmického výzkumu je splývání jednotlivých vědních oborů vědy. "Raketová technika snoubí fyziku s ostatními obory" /10/. Vědy o Zemi, astronomie a fyzika se při výzkumu vesmíru navzájem prolínají a doplňují. Nelze např. oddělovat sluneční fyziku od studia plazmatu, slunečního větru a kosmického záření, stejně jako od zkoumání magnetosféry, ionosféry, fotochemie a třeba i meteorologie.

Několik zde uvedených příkladů ukazuje, jak vývoj vědy je úzce spjat s činností ve vesmíru. Kosmický výzkum umožňuje poznání dosud netušených souvislostí a zákonitostí přírodního řádu.

L i t e r a t u r a :

- /1/ Welsh E.L.: The National Conference for Peaceful Uses of Outer Space, Mc Donnell Planetarium, 1965.
- /2/ Grün M.: "Je kosmonautika zbytečná?", Letectví + kosmonautika, 43 (1967), s. 974.
- /3/ Grün M.: Pokroky družicové meteorologie", Letectví + kosmonautika, 44 (1968), č. 7.
- /4/ Newell H.E., Jaffe L.: Impact of Space Research....", Science 157 (1967), č. 3784, s. 29.
- /5/ Burdo P.E., Chapman J., Maeda K.: "Výzkum ionosféry raketami a družicemi", Kosm.issled.3(1965), 42.

- /6/ Vlachý J., Grün M., Postránecký M.: "Fyzikální výzkum na družicích Kosmos", Čs.časopis pro fyziku A 16(1966), s. 251.
- /7/ Agenda and Draft Reports I.A.U., XIIIth General Assembly, Prague, 1967.
- /8/ Grün M.: Sborník ze semináře o pozorování družic, LH Praha, 1968.
(v tisku).
- /9/ Gemini Midprogram Conference, NASA (SP-121), Washington D.C., 1966.
- /10/ Ordway F.I. (III.): Advances in Space Science, Academic Press, New York - London, 1960.
- /11/ LeGalley D.P., Rosen A.: Kosmičeskaja fizika, Mir, Moskva, 1966.
- /12/ U.S.Report to COSPAR, Vienna 1966, London 1967.
- /13/ Programme Spatial Français, Cospar 1966, 1967.

Jan Straka

Smíšený efekt zemského zploštění a odporu atmosféry
v pohybu umělé družice Země

Studujeme-li pohyb umělé družice Země a uvažujeme-li všechny základní síly, které na družici působí, zjistíme, že pohybové rovnice družice nelze analyticky integrovat (je možná pouze numerická integrace, např. s použitím samočinného počítače). Chceme-li však řešit problém analyticky, postupujeme v principu stejně jako v klasické nebeské mechanice :

- a) Poněkud zjednodušíme fyzikální skutečnost tak, aby se pohybové rovnice družice daly řešit analyticky. Řešením obdržíme tzv. intermediární dráhu. Jinak řečeno, obdržíme souřadnice družice a složky rychlosti jako funkce času a šesti integračních konstant (elementů dráhy), z nichž dva určují polohu intermediární dráhy v prostoru a zbyvající čtyři určují její tvar a rozměry.
- b) Určíme poruchy intermediární dráhy, způsobené těmi efekty, které jsme zanedbali ve zjednodušeném fyzikálním modelu pohybu družice.

Nejjednodušší model představuje pohyb družice kolem kulové symetrické Země bez atmosféry, se zanedbáním efektu tlaku slunečního záření a celé řady dalších efektů. V tomto případě intermediární dráhou je keplerovská elipsa určená svými šesti elementy. Tento klasický model však má jisté nevýhody :

1. Poruchy elementů keplerovské elipsy jsou příliš velké a elementy eliptické dráhy družice se mění s časem velmi rychle. Tak např. efekt zemského zploštění vyvolává sekulární stáčení uzlu a perigea dráhy nízké družice o několik stupňů za den.
2. Velmi obtížné se studují smíšené efekty zemského zploštění a odporu atmosféry. Považujeme-li totiž poruchy dráhy, způsobené zemským zploštěním anebo odporem atmosféry, za malé veličiny prvního řádu, budou tyto smíšené efekty veličinami druhého řádu a lze je obdržet až ve druhé aproximaci. Vybudování poruchové teorie druhého řádu je však velmi obtížné. Je proto výhodné aproximovat pohyb umělé družice v zemském gravitačním poli takovým fyzikálním modelem, který by obsahoval základní efekty zemského zploštění a asymetrie

zemského gravitačního pole vzhledem k rovníku. Fyzikální model, splňující tyto požadavky, lze s výhodou reprezentovat tzv. zobecněným problémem dvou pevných center. Jedná-li se o pohyb tělesa zanedbatelně malé hmoty a rozměrů v gravitačním poli dvou pevných hmotných bodů o reálných hmotách m_1 a m_2 , mezi nimiž je reálná vzdálenost $2c$, mluvíme o klasickém problému dvou pevných center. Jsou-li však obě hmoty m_1 a m_2 imaginární

$$m_1 = \frac{M}{2} (1 + i\sigma) \quad m_2 = \frac{M}{2} (1 - i\sigma)$$

a je-li mezi nimi imaginární vzdálenost $2c$, jedná se o tzv. zobecněný problém dvou pevných center. Považujeme-li M za hmotu Země, σ za malý parametr, charakterizující asymetrii zemského gravitačního pole vůči rovníku a $c = 210$ km za parametr, vyjadřující zploštění Země, pak pohyb tělesa zanedbatelně malé hmoty a rozměrů v takovém zobecněném problému dvou pevných center velmi přesně aproximuje pohyb družice v zemském gravitačním poli. Pohybové rovnice lze i v tomto případě řešit analyticky, čímž se obdrží intermediární dráha mnohem bližší ke skutečné dráze družice než klasická keplerovská elipsa. Protože tato intermediární dráha problému dvou pevných center vychází z takového fyzikálního modelu pohybu družice, který bere v úvahu vliv zemského zploštění a asymetrii zemského gravitačního pole vůči rovníku, nebude ovlivněna těmi sekulárními poruchami, kterým podléhá klasická keplerovská elipsa (stáčení uzlu a perigea). Pokud uvažujeme pouze vliv zemského gravitačního pole, bude se tento vliv na intermediární dráhu problému dvou pevných center projevovat ve formě poruch druhého řádu (pokud řád vztahujeme ke klasické keplerovské elipse), neboť poruchy prvního řádu jsou již obsažené v intermediární dráze. Tudíž tato intermediární dráha nemá ty nevýhody, které jsme popsali v bodě 1. Velmi lehce se přesvědčíme, že nemá ani nevýhody, popsané v bodě 2. Zkoumáme-li totiž poruchy prvního řádu této intermediární dráhy problému dvou pevných center, způsobené odporem atmosféry, obdržíme najednou základní poruchy, způsobené atmosférou i smíšené poruchy od zemského zploštění a odporu atmosféry, aniž bychom museli počítat poruchy řádu druhého pro tuto intermediární dráhu. Chceme-li určit uvedené smíšené efekty, postupujeme takto :

- a) určíme integrační konstanty, charakterizující intermediární dráhu problému dvou pevných center (šest integračních konstant, analogických keplerovským elementům);
- b) určíme elementy keplerovské elipsy, která v libovolném čase oskuluje naši intermediární dráhu;
- c) sestavíme diferenciální rovnice pro poruchy těchto elementů (obdrženy v b), způsobené odporem atmosféry. Řešením těchto rovnic obdržíme hledané základní a smíšené poruchy. Opravíme-li teď elementy obdržené v b) o tyto poruchy, dostaneme konečné hodnoty keplerovských elementů družice. Integrační konstanty, charakterizující intermediární dráhu, lze určit z počátečních podmínek (např. z hodnot souřadnic a složek rychlosti pro daný čas). Elementy keplerovské elipsy, oskulující v libovolném čase intermediární dráhu, lze obdržet ve formě rozvoju podle mocnin parametru, charakterizujícího zemské zploštění, při-

čímž koeficienty těchto rozvoje jsou zřejmě funkcemi času a šesti integračních konstant, jimiž je intermediární dráha určena. Tyto elementy však vystupují na pravých stranách diferenciálních rovnic pro poruchy. Zde však vystupují i složky rušícího zrychlení, vyvolaného odporem atmosféry, které jsou úměrné jistému koeficientu, charakterizujícímu odpor atmosféry. Dosadíme-li do pravých stran místo elementů uvedené rozvoje, objeví se na pravých stranách členy, úměrné součinu parametru, který vyjadřuje zploštění, a parametru, vyjadřujícího odpor atmosféry. Tyto členy dávají po integraci hledané smíšené efekty.

Pro družici TRANSIT 1B, která 24. května 1967 měla velkou poloosu $a = 6737$ km, lze popsanou metodou spočítat, že sekulární zmenšování velké poloosy činí 45 metrů za jeden oběh a smíšené efekty v poruchách velké poloosy se projevují jako dlouhoperiodické poruchy s periodou 45 dní a s amplitudou 1,5 metru. Uvedené výpočty jsou však platné pouze v malém časovém intervalu kolem 24.5.1967, neboť integrační konstanty pro intermediární dráhu jsou určeny z polohy a složek rychlosti této družice pro epochu 24. května 1967. Jedná se o družici poměrně nízkou, na kterou hodně působí odpor prostředí, a proto integrační konstanty jsou použitelné jenom v malém časovém intervalu.

Pavel Ambrož

Heliografy pro rentgenové záření

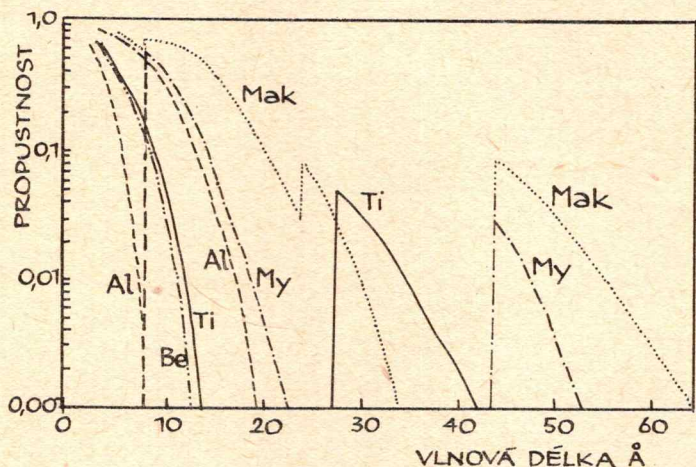
Kosmický výzkum i jeho moderní a přitažlivá metodika záhy po svém vzniku vzbudily veliký zájem i u pracovníků ve sluneční fyzice. Jak známo, zemská atmosféra téměř úplně pohlcuje elektromagnetické záření z kosmického prostoru, jehož vlnová délka je kratší než 2900 Å. Kosmický výzkum se proto zaměřil právě na výzkum tohoto doposud nepřístupného záření. Rentgenové záření Slunce je vyzařováno téměř výlučně horkou sluneční korunou a podařilo se zjistit, že jeho celková intenzita závisí na sluneční aktivitě. Jeho energetický podíl na celkové zářivé energii Slunce je velmi malý. Jen pro srovnání, jestliže světelný tok slunečního záření s vlnovou délkou kratší než 3000 Å tvoří pouze 1,5 % celkového záření Slunce a činí $1,4 \cdot 10^6$ erg/cm²s, potom tok záření s kratší vlnovou délkou než 100 Å je 10^4 až 10^5 krát menší, tedy řádově 10^2 až 10^1 erg/cm²s.

Při výzkumu tak narážíme jak na nízkou intenzitu záření, tak i na některé principiální přístrojové obtíže. Jestliže v blízké ultrafialové oblasti stačí pro uspokojivou funkci nahradit obyčejnou skleněnou optiku jinými materiály (např. křemen, LiF), s klesající vlnovou délkou se běžné optické systémy stávají nepoužitelné a je třeba je nahradit soustavami, které nepracují s lomem záření, nýbrž pouze s jeho přímočarým šířením, ohybem nebo s úplným odrazem. V zásadě od heliografů ve všech spektrálních oblastech žádáme

- a) vysokou světelnost,
- b) velikou rozlišovací schopnost,
- c) malé rozměry zobrazovací soustavy,

d) vymezení úzké spektrální oblasti, v níž pracují.

K definici spektrální oblasti se používají filtry. Zpravidla to jsou různé tenké folie, ať již kovové (berilium, hliník) nebo z organických látek, které se nejčastěji umísťují těsně před detektor. Vzájemnou kombinací a volbou vhodných tloušťek se dá měnit jak šířka propouštěných oblastí, tak i propustnost. Průběh propustnosti filtrů v závislosti na vlnové délce, o jejichž použití v souvislosti s rentgenovým teleskopem se zmiňují Underwood a Muney, je na obr.1.

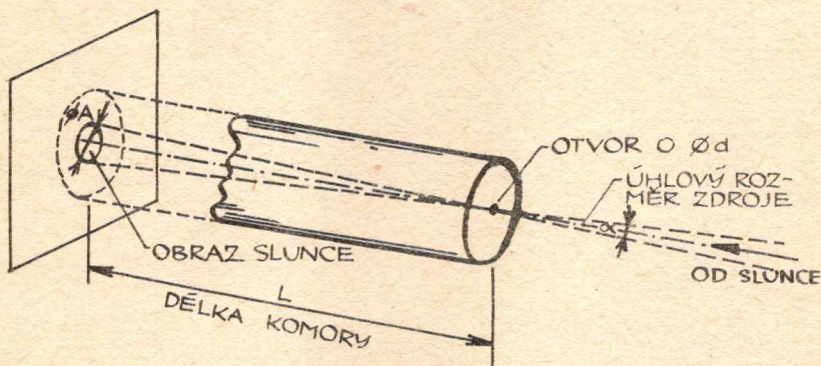


Obr.1. Křivka propustnosti pěti filtrů.

Al : 1,71 mg/cm² hliníku; Be : 14,0 mg/cm² berylium;
 Ti : 0,99 mg/cm² titan; My : 0,53 mg/cm² "Mylar" +
 + 54 g/cm² hliník; Mak : 0,24 mg/cm² "Makrofol" +
 + 54 g/cm² hliník.

Nejstarší, nejznámější a nejjednodušší zobrazovací soustavou v krátkovlnné oblasti je dírková komora. Její princip je prostý. Je to světlotěsná komora, v jejíž jedné stěně je malý otvor o průměru d a na opačné straně ve vzdálenosti L je stínítko nebo fotografická deska (obr.2). Soustava k zobrazování nepoužívá žádné optické členy, využívá pouze zákona o přímočarém šíření světelných paprsků ve stejnorodém prostředí. Zůstaneme-li u zákonů geometrické optiky a neuvažujeme difrakci na vstupním otvoru, je rozměr obrazu A závislý pouze na délce komory a platí pro něj $A = L \cdot \text{tg} \alpha$, kde α je úhlový rozměr

zobrazovaného předmětu. Úhlové rozlišení, jehož je soustava schopna pro zdroj v nekonečnu, je přibližně úměrné d/L . Se zvětšováním obrazu tedy v našem přiblížení roste i rozlišovací schopnost kamery, což je vlastnost, která se v praxi zhušta využívá. Omezujícím faktorem je zde světelnost soustav, která klesá s rostoucím L . V praxi je tedy třeba hledat vždy optimální hodnotu d a L . Pracovní spektrální oblast se vymezuje vhodným filtrem.



Obr.2. Dírková komora. Filtre se klade obvykle před desku, závěrka před vstupní otvor.

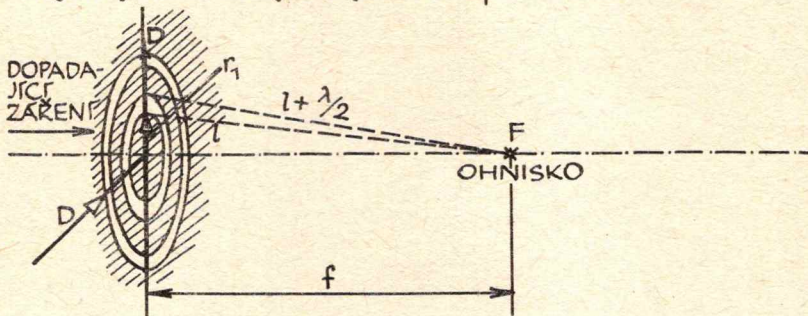
První snímek Slunce v měkkém rentgenovém záření pořídil v USA z rakety dne 19.IV.1960 Chubb a jeho spolupracovníci. Parametry komory byly $d = 130 \mu$, $L = 160$ mm, $A = 1,5$ mm při čemž použili jako filtru napařenou hliníkovou folii s propustností v pásmu 8 až 50 Å.

Dírkové komory se používají velmi často a pro různé úkoly. Někdy je výhodné použít několik komor najednou s různými filtry, tak jak to udělala v roce 1964 skupina z university v Leicesteru pro spektrální oblasti kolem 6, 12, 15, 18, 30 a 60 Å. O tom, že dírkovou komoru lze užít i pro fotometrická měření v koroně, se v roce 1965 přesvědčil Broadfoot z USA. Kamera byla delší ($L = 510$ mm) a daly se u ní během letu měnit filtry, světelnost i úhlové rozlišení, které se při změně vstupního otvoru pohybovalo od 0,8 do 12. Poněvadž se ale exponovalo až 200 s, byla hlavní podmínkou úspěchu dokonalá funkce pointačního zařízení.

Použití dírkové komory bývá obvykle omezeno malou intenzitou zdroje a v oboru vlnových délek pod 20 Å se jí dá použít pouze pro jasné objekty. Zvýšení propustnosti a vidina zvětšené rozlišovací schopnosti při poměrně malých rozměrech vedly k myšlence použít k zobrazování Fresnelovy zonální desky.

V učebnicích vlnové optiky se v kapitole o Huygensově-Fresnelově principu můžeme dočíst, že vlnění se od zdroje ší-

ří po kulových vlnoplochách. K určení kmitů v bodě F (obr.3), jež leží před čelem vlnoplochy ve vzdálenosti f , je nutné studovat kmity přicházející od všech elementů vlnoplochy a potom je složit se zřetelem na jejich amplitudy a fáze. Vlnoplochu lze tak rozložit na Fresnelovy zony, pro jejichž dvě následující hranice platí, že mezi paprsky je dráhový rozdíl $\lambda/2$. Fáze kmitů přicházejících do bodu F ze dvou sousedních zon jsou opačné a navzájem se oslabují. Je zřejmé, že stačí jednu zonu z tohoto páru odstínit a propouštět vždy jen sudé nebo liché zony. Záření profiltrované takovou deskou má v bodě F amplitudu rovnou součtu amplitud dopadajících ze všech propustných zon. Množství záření v bodě F činí asi 10 % celkového záření dopadajícího na desku, což je ale mnohem více, než při nezakrytých zonách. Zonální deska má tedy podobné vlastnosti jako čočka - fokusuje. Její ohnisková vzdálenost závisí na průměru vnitřní clonky r_1 a rovná se $f = r_1^2 / \lambda$. Vidíme, že významně působí použitá vlnová délka. Skutečně, zonální deska má barevnou vadu asi 20krát větší než obyčejná čočka. Zesilovací vlastnosti i rozlišovací schopnost desky závisí na počtu zon. Teoretická rozlišovací schopnost závisí především na vnějším průměru desky D a platí $\sin \beta = \lambda / 2D$.



Obr. 3. Fresnelova zonální deska.

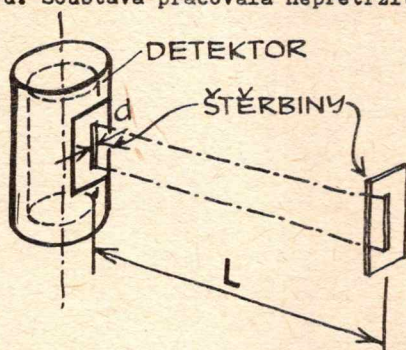
Zonální deska má tedy podobu řady mezikruží, jejichž šířka a vzdálenost od středu se zmenšuje - podobně jako u interferenčních Newtonových kroužků. Vhodným profilem desky a optickými vlastnostmi nepropustných mezikruží lze množství světla soustředěné v ohnisku zvětšit až téměř na 100 % (=bez přístrojových ztrát v dané oblasti).

V běžné optice se zonální desky příliš neujaly. Pro rentgenovou oblast se touto metodikou počali zabývat na univerzitě v Tübingen (NSR). Podařilo se jim sestavit mikroskopickou desku s 38 zonami. Samonosná destička je z mědi, $D = 0,22$ mm, $r_1 = 18 \mu$. Pro $\lambda = 50 \text{ \AA}$ bylo $f = 70$ mm a teoretická úhlová rozlišovací schopnost $\beta = 5,2''$. Laboratorní zkoušky byly sice nejlepší úspěšné, použití v kosmickém výzkumu má ale několik potíží. Předně je nutné pracovní spektrální oblast náležitě zúžit, jinak v důsledku barevné vady klesne rozlišovací schopnost průměrně na 1. Filtry pro izolaci oblasti $44 \div 55 \text{ \AA}$ mají ale propustnost jen 10 %. Prodlouží-li se expozice, dojde

opět k poklesu rozlišovací schopnosti, tentokrát ale v důsledku nedokonalé pointace.

Z toho, co jsme si řekli, je zřejmé, že přes některé teoretické přednosti zonální desky před dírkovou komorou je doposud v praxi použití obou systémů v podstatě rovnocenné. Kromě toho fotografická soustava je použitelná pouze krátkodobě a sporadické fotografie jsou naprosto nepostačující pro zaregistrování bodových aktivních útvarů na Slunci s dobou trvání řádově desítek vteřin. Proto se hotoví mechanické šterbinové kolimátory s přijatelnou rozlišovací schopností a citlivostí.

V podstatě to jsou dvě úzké šterbiny umístěné v určité vzdálenosti za sebou (obr. 4a). Úhlovou rozlišovací schopnost určují šířky šterbin i jejich vzdálenost a pohybuje se kolem 2. Detektor je umístěn za druhou šterbinou. Mandelštam použil na umělé družici Kosmos 166 dvou takových soustav, jejichž šterbinové systémy byly navzájem kolmé. Pointační soustava, složená ze setrvačnicku a plynových reaktivních motorků, pohybovala celou družicí ve směru obou měřících os s rychlostí 0,04/s. Pro orientaci se použilo optických čidel, jež určily přesné okamžiky průchodu okrajů Slunce přes zorná pole kolimátorů. Soustava pracovala nepřetržitě asi 3 měsíce.



Obr. 4a. Jednoduchý šterbinový kolimátor.

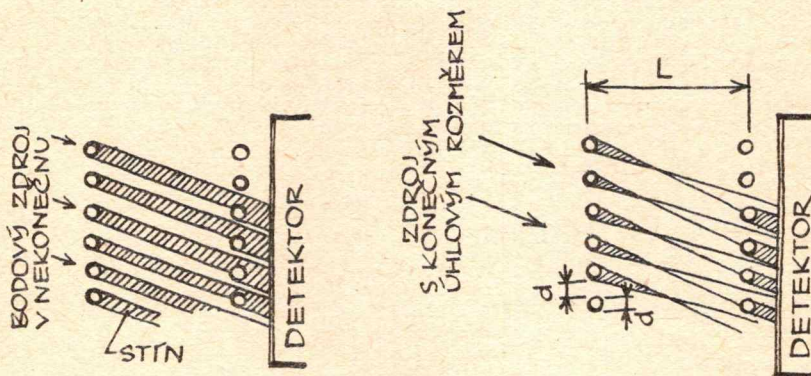
Nedostatkem tohoto uspořádání je velmi malá světelnost a chronické nevyužívání celé účinné plochy detektoru. Z tohoto hlediska výhodnější kombinaci navrhl v roce 1964 Oda. Kolimátor má úhlové rozlišení $10'$. Skládá se ze dvou mřížek o rozměrech 125×150 mm složených z rovnoběžných drátů. Průměr drátu a šířka mezery jsou stejné a činí $0,2 \text{ mm} = d$. Obě mřížky jsou rovnoběžné a vzdálené $37,5 \text{ mm} = D$. Procházejí-li přes zorné pole kolimátoru zdroj s malým úhlovým rozměrem, dopadá na detektor modulované záření, jehož perioda závisí také na úhlu dopadu záření na kolimátor (obr. 4b). Zvětšuje-li se úhlový rozměr zdroje, je modulace stále méně patrná a lze tohoto efektu tedy užít k měření malých úhlových vzdáleností. Perspektivně je možné zvýšit rozlišovací schopnost tohoto kolimátoru na zlomky obloukové minuty.

Hlavním nedostatkem popsaných soustav je nízká světelnost a nedostatečná vstupní kolekční plocha. Zlepšit poměr signálu k šumu a zvýšit rozlišovací schopnost je možné pouze teleskopem. Při návrhu a konstrukci takového přístroje je ale třeba vyřešit tři nesnadné úkoly :

1. Navrhnout optickou soustavu s účinnou reflexí v rentgenovém oboru - zde se neobejdeme bez velikých úhlů dopadu a úplného odrazu.

2. V soustavě zredukovat optické vady na snesitelnou míru a navrhnout geometrický systém s malým stigmatismem a velikým vstupním otvorem.

3. Navrhnout požadované plochy tak, aby je bylo možné za současného stavu technologie vyrobit.



Obr. 4b. Štěrbinový kolimátor s vysokou světelností.

Tvar optimálních ploch navrhl Wolter již v roce 1952 (obr. 5). V nejjednodušším případě postačí válcovitá část rotačního paraboloidu s velkým ohniskovým parametrem. Tuto soustavu ve spojení s proporcionálním počítačem volila skupina z university v Leicesteru pro družici OSO-E. Efektivní ohnisková délka vyšla na 600 mm a odrazná účinná plocha měřila 2,5 cm. Soustava dosahuje úhlového rozlišení 1,5'.

Všechny tři horní podmínky splnili Underwood a Muney, když zhotovili v roce 1966 rentgenový teleskop. Odrazné plochy nechali vyrobit z nerez oceli s dostatečnou mechanickou odolností. K redukci zobrazovacích vad je vhodné využít dvoj-