

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Zdeněk Švestka

Nový sluneční spektrograf na Ondřejově

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 4 (1959), No. 1, 96--101

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137862>

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>

Literatura

- [1] V. L. Ginzburg, Usp. fiz. nauk sv. 63, vyp. 1, 120 (1957).
- [2] K. G. Henize, Sky and Telescope sv. 16, č. 3, 108 (1957).
- [3] F. Whipple, J. Hynek, Proc. Inst. Radio Engineers, 760—761, červenec 1956; Sky and Telescope sv. 15, č. 12 (1956).
- [4] Sky and Telescope, sv. 15, 12 (1956).
- [5] Transactions of the IX-th meeting of the I. A. U, 9, 693, Cambridge, 1957.
- [6] W. Baum, Astr. Soc. of the Pacific, Leaflet No. 326, 8 (1956).
- [7] L. A. Gončarskij, autorské právo SSSR z 26. listopadu 1934, čís. 43462.
- [8] Naturforschung und Medizin in Deutschland sv. 15, 1939—1946, 96—98.
- [9] Science News Letters, 19. října 1957, sv. 72, č. 16, 244.
- [10] Sky and Telescope, sv. 17, č. 1, 6, listopad 1957.

NOVÝ SLUNEČNÍ SPEKTROGRAF NA ONDŘEJOVĚ

Dr. ZDENĚK ŠVESTKA,

Astronomický ústav ČSAV, Ondřejov

Od začátku června 1958 pracuje na Astronomickém ústavu Československé Akademie věd v Ondřejově nový sluneční spektrograf, jehož hlavním úkolem je shromažďovat spektra rychle se měnících úkazů na Slunci, především erupcí a eruptivních protuberancí. Získání spekter těchto jevů s dostatečně velikou dispersí naráželo doposud na značné obtíže. Tyto obtíže vyplývaly jednak z rychlé proměnnosti těchto úkazů a jednak z toho, že spektrum s větší dispersí má již tak značné rozměry, že je prakticky nelze v celém potřebném rozsahu zachytit na film nebo na fotografickou desku. Na některých hvězdárnách, jako např. na Krymu, v Pulkovu, či na McMathu v USA řešili tento problém tak, že postupně fotografovali různé části spektra. Při přechodu z jedné části spektra do druhé uplyne ovšem vždy dosti značná doba, během níž se fyzikální struktura vyšetřované erupce i protuberance může podstatně změnit. Víme z pozorování, že vzplanutí velké erupce často proběhne v době jedné až dvou minut a trvání maximální fáze bývá ještě kratší. Vedle toho nemáme také nikdy naprosto zaručeno, že ve dvou po sobě následujících dobách snímáme přesně stejné místo erupce nebo protuberance, neboť ani nejlepší hodinový pohon neudrží s dokonalou přesností neměnnou polohu přístroje. Proto se ukázalo, že naprosto nezbytnou podmínkou pro studium těchto jevů je současné zachycení co největšího rozsahu spektra erupce. Jedině tehdy můžeme vzájemně srovnávat chování různých, od sebe vzdálených spektrálních čar a odtud pak usuzovat na fyzikální podmínky, které ve vyšetřovaném místě erupce v daném okamžiku panovaly.

Celé spektrum, jak jsme již uvedli, není možno současně zachytit, neboť při potřebné dispersi 1 Angströmu na milimetr jeho délka měří několik metrů. Proto jsme v Ondřejově vybrali jen několik spektrálních oborů, šířky přibližně 100 Angströmů, v nichž leží zajímavé emisní čáry erupcí a protuberancí. Jsou to především čáry Balmerovy serie vodíku, čáry helia, čáry jednou ionisovaného vápníku K a H a žlutý sodíkový dublet. Celkové schéma spektrografu je znázorněno na obr. 1.

Na věži na jižní stěně budovy je ve výši prvního patra umístěn coelostat C, který pomocí hodinového stroje sleduje trvale Slunce a vrhá jeho světlo do místnosti pozorovatele P. V této místnosti je umístěno konkávní zrcadlo O průměru 22 cm a ohniskové vzdálenosti 14 metrů, které slouží jako hlavní objektiv spektrografu. Svazek paprsků, vycházející z objektivu, je odražen rovinným zrcadlem Z na štěrbinu Š, v jejíž rovině se vytváří

lenosti několika desítek metrů od budovy spektrografu a tímto přístrojem lze pozorovat vzhled slunečního povrchu ve světle čáry H alfa. Pozorovatel zjistí ve spektroheliroskopu snadno výskyt všech erupcí i eruptivních protuberancí na slunečním kotouči a okamžitě oznámí objev každého takového úkazu hlasitým telefonem do budovy spektrografu. Pracovník nalezne ve spektrografu udané místo — většinou oblast slunečních skvrn — na obraze Slunce, který se mu promítá na pozorovacím stole a nastaví tuto oblast na šterbinu spektrografu. Pak ve druhém hledáčku, v němž pozoruje čáru H alfa z prvního řádu spektra, vyhledá místo nejintenzivnější emise erupce či protuberance a může zahájit expozice spektra.

Expozice jsou prováděny uzávěrkou, která je umístěna na šterbině Š. Zmáčknutím tlačítka se uzavře tato uzávěrka, otevřou se individuální uzávěrky u jednotlivých komor N, uzávěrka na šterbině provede expozici, individuální uzávěrky se zavřou, otevře se opět uzávěrka na šterbině a desky na všech nosnících popojedou o šířku vyexponovaného spektra směrem vzhůru. Tak je vše automaticky připraveno k následující expozici a systém dvou uzávěrek dovoluje, aby pozorovatel i mezi expozicemi mohl sledovat obraz čáry H alfa, který se mu promítá na jeho pozorovacím stole.

Na každou desku lze umístit 12 expozic spektra. Tyto expozice může provádět pozorovatel postupně, způsobem, který jsme si popsali, nebo může uvést do chodu automat, kterému předepíše délky expozic a intervaly mezi expozicemi. Automat pak vyexponuje všech 12 spekter v předepsaných intervalech a práce pozorovatele se omezuje pouze na kontrolu, zda se nemění fotografovaná oblast erupce, nebo případně může změnit tuto polohu, jestliže se ukáže, že některá jiná oblast erupce jeví zajímavé úkazy, které by bylo vhodné spektrálně zachytit.

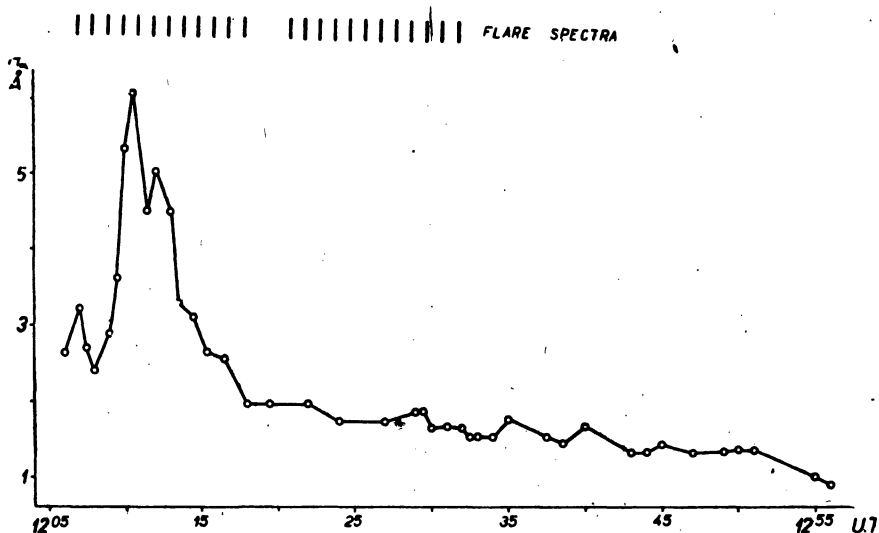
Jakmile je dokončen cyklus dvanácti snímků, vrátí se všechny desky do výchozí polohy. Během tohoto posuvu, který trvá jednu až dvě minuty, může pozorovatel desky na všech kasetových nosnících vyměnit, takže po návratu do původní polohy může okamžitě začít cyklus dalších 12 spekter.

Po ukončení všech expozic je dodatečně exponována na všechny desky fotometrická škála, která je umístěna na šterbině a ozářena světlem středu slunečního disku. Tato škála umožňuje fotometrické proměření všech spektrálních čar, které nás na snímcích zajímají.

Příklad jedné takto získané serie spekter je na obr. 2. Je to ovšem jen jedna z pěti desek současně fotografovaných, a to ta, jež zachycuje oblast čar vápníku K a H. Je na ní zachycen začátek vývoje a maximum velké sluneční erupce z 20. července 1958. První snímek (nahore) byl zachycen ve 12 hod. 08 min. světového času, a ostatní následují v minutových intervalech. Vývoj je možno porovnat s měřením změny šířky emisní čáry H alfa, prováděným současně ve spektroheliroskopu (obr. 3). Vidíme, že erupce byla zachycena krátce po svém začátku ve 12 hod. 06 min., ve 12 hod. 11 min. dosáhla maxima (efektivní šířka čáry přes 6 Angströmů) a poté pozvolněji doznívala. Svislé úsečky na horním okraji grafu ukazují doby, kdy bylo fotografováno spektrum. Byly získány dvě serie 12 spekter, mezera mezi nimi odpovídá době, kdy se kasetové nosníky vracely do své výchozí polohy a pozorovatel vyměňoval desky. Deska, kterou zde reprodukuje, je z první série, kryjící maximum vývoje erupce. Vedle velmi nápadných čar H a K jednou ionisovaného vápníku vidíme zde ještě dvě z čar Balmerovy serie, na nichž lze velmi dobře pozorovat časový vývoj erupce. Čára H epsilon je velmi těsně vpravo od čáry H, čára H zeta je u levého okraje spektra. V době maxima zde pozorujeme ještě řadu jiných, úzkých emisních čar, jež jsou vytvářeny atomy kovů, především železa a křemíku.

Na dalším obrázku 4 je ukázáno pro jeden vybraný okamžik všech pět fotografovaných úseků spektra. Je to spektrum velké erupce z 30. července 1958, vyfotografované v 15

hod. 38 min. 32 sec. světového času, dvě minuty po maximu erupce. Na nejvyšším snímku vidíme širokou emisi v čáře H alfa. Na druhém snímku září intenzivně helium v čáře D₃ a slabou emisi lze pozorovat i v čarách sodíku D₁ a D₂. Na třetím snímku je široká emise v čáře H beta, na čtvrtém v čáře H gama. Na tomto čtvrtém snímku můžeme také již pozorovat některé slabší emise v čarách kovů, hlavně železa. Ještě větší počet těchto emisí vidíme na snímku posledním, který — podobně jako obr. 2 — obsahuje okolí čar H a K vápníku a Balmerovy čáry H epsilon a H zeta.



Obr. 3. Časová změna šířky emisní čáry H alfa, měřená ve spektrohelioskopu u erupce z 20. července 1958. Svislé úsečky vyznačují doby, kdy bylo fotografováno spektrum. Prvá serie úseček odpovídá serii spekter, reprodukováných na obr. 2.

Takto získaná spektra mají velkou důležitost pro studium fyzikálních podmínek ve slunečních erupcích či protuberancích. Na sjezdu Mezinárodní Astronomické unie v Moskvě v srpnu 1957, kde bylo několik ukázek těchto spekter našimi zástupci demonstrováno, dosáhly naše snímky značného mezinárodního uznání a bylo konstatováno, že jsou to první snímky spekter erupcí, snímáné současně v širokých spektrálních oblastech a kryjící celý vývoj erupcí v jejich počáteční, maximální i post-maximální fázi. Současně s našimi spektry byly zde demonstrovány též některé snímky, získané na zahraničních hvězdárnách: Na Krymu byl získán rozsáhlý materiál spekter erupcí, avšak současně jsou zachyceny vždy jen dva spektrální obory, H alfa a H + K, nebo H alfa a H beta a většinou až na sestupné fázi křivky vývoje erupcí. Na hvězdárně v Boulderu v USA bylo zachyceno spektrum velké okrajové erupce, avšak pouze od čáry H delta k vyšším členům Balmerovy serie. Na hvězdárně na hoře Sacramento Peak v USA bylo fotografováno celé spektrum erupce, ovšem s podstatně menší dispersí nežli na Ondřejově. Podobné zařízení na snímání celého spektra v menším měřítku je též zbudováno na hoře Pic du Midi ve Francii, avšak výsledky jejich měření dosud nejsou známy. Tak představuje ondřejovský spektrograf dnes skutečně unikátní přístroj, který zatím nemá na světě ekvivalentní období.

Ze získaných spekter můžeme odvodit velmi mnoho zajímavých poznatků o fyzikální

strukturu fotografovaných zjevů. Z profilů čar Balmerovy serie je možno určit procesy, které tyto emisní čáry rozšiřují. Toto rozšíření může být působeno teplotou (Dopplerův efekt), elektrickým polem ionisovaných atomů a volných elektronů (Starkův efekt), nebo přirozeným útlumem záření v čáře. Tyto efekty působí různým způsobem na různé čáry Balmerovy serie, takže při současném zachycení většího počtu těchto čar lze rozhodnout, jakou měrou se jednotlivé procesy na rozšíření čar podílejí. Při rozšíření Dopplerovým efektem lze odvodit kinetickou teplotu zářících atomů v erupci. Při rozšíření Starkovým efektem lze určit počet volných elektronů v 1 cm^3 erupce, při rozšíření útlumem celkový počet účinných vodíkových atomů nad 1 cm^2 základny erupce. U vysokých členů Balmerovy serie, jež jsou rozšiřovány daleko nejvíce Starkovým efektem, lze určit počet volných elektronů se značnou přesností a navíc zde jde odvodit i elektronovou teplotu plynu, tj. kinetickou teplotu volných elektronů. Elektronová teplota rovněž určuje charakter spektra na hraně Balmerovy serie. Poněvadž ve středu emisních čar je optická tloušťka erupcí velmi značná a směrem na křídla čar se zmenšuje, popisuje nám centrální oblast čar povrchovou oblast erupce, kdežto charakter křídel odpovídá jejím hlubokým vrstvám. Tak lze ze změřených profilů odhadnout i změnu fyzikálních podmínek s hloubkou v erupci.

Další důležité poznatky nám přináší čáry helia, které jsou velmi citlivé na budící teplotu plynu. Obvykle se jeví v absorpci u menších erupcí a jen v maximální fázi velkých erupcí přecházejí do emise. Toto jejich chování nám umožňuje určit se značnou přesností teplotní podmínky, které v erupcích panují. Podobné kritérium nám poskytují i čáry kovů — vápníku, železa, křemíku, sodíku a ostatních, které se objevují v maximální fázi velkých erupcí v emisi. Důležitou úlohu zde mají čáry H a K jedné ionisovaného vápníku, které jsou velmi intenzivní v normálním slunečním spektru a popisují nám podrobně podmínky v nejvyšších vrstvách sluneční atmosféry.

Konečně dalším kritériem pro náš rozbor je spojitě spektrum erupcí a změna jeho intenzity s vlnovou délkou spektra. Pokud se toto spojitě záření vytváří přímo v oblasti erupce, je jeho intenzita výbojným kritériem pro hustotu volných elektronů a elektronovou teplotu plynu, neboť je vytvářeno převážně procesy rekombinace vodíkových atomů do třetí kvantové hladiny (ve visuálním oboru spektra), což je proces, který lze teoreticky snadno zvládnout. Většinou však, jak se ukazuje, vytváří se spojitě spektrum v oblasti fotosféry pod erupcí. Pak můžeme z průběhu jeho intenzity vyvodit zajímavé závěry o změnách, které působí erupce ve fotosféře, což je velmi důležité i pro studium jednotlivých emisních čar, neboť tyto čáry se překládají přes normální čáry absorpční, které se vytvářejí ve fotosféře a změnami fotosféry mohou být proto značně ovlivněny.

kdyby plyn v erupcích byl ve stavu tepelné rovnováhy, vedly by všechny popsané metody k souhlasným výsledkům co do teploty atomů, elektronové teploty i hustoty volných elektronů. Ve skutečnosti tomu tak není, neboť stav tepelné rovnováhy (černé těleso) není pochopitelně v erupcích zachován. Proto dostáváme poněkud rozdílné hodnoty pro různé čáry Balmerovy serie, jiné pro helium a pro kovy a pod. Srovnáním těchto rozdílů můžeme vyšetřovat velikost odchylek od tepelné rovnováhy v erupci, což je problém velmi důležitý nejen pro studium erupcí, samých, nýbrž i obecně pro studium podmínek záření v nerovnovážném plynu. Tak nám erupce slouží jako vesmírné laboratoře, v nichž se uplatňují takové fyzikální podmínky, které v našich pozemských laboratorích nemůžeme uskutečnit.

Souhrn všech těchto poznatků umožní patrně v blízké době poznat též proces, který vznik erupcí na Slunci působí. Poznání takového procesu mává zhusta i praktické důsledky pro náš pozemský život. Vzpomeňme si na příklad na nukleární reakce, které po prvé byly odkryty v nitrech hvězd a teprve poté napodobeny i u nás na Zemi. Vedle toho nám poznání těchto procesů umožní také poznat podmínky, za nichž může na

Slunci ke vzniku erupce dojít. Tak dospějeme do stadia, kdy budeme moci větší či menší měrou výskyt erupcí na Slunci přímo předpovídat, což bude mít značný význam pro řadu geofyzikálních oborů.

Přirozeně, že práce ve spektrální laboratoři představují jen dílčí úsek studia erupcí. Spolu s námi bude záření erupcí studováno zcela novými metodami přístroji, umístěnými na umělých družicích Země a ve výškových raketách. Jisté však je, že přínos spektrální laboratoře na Ondřejově k tomuto oboru studia bude značný, a že československá astronomie na tomto poli vykoná dobrou práci, s níž se dobře uplatníme i v nejširším mezinárodním měřítku.