

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

J. Kleczek

Sluneční protuberance

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 2, 169--173

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137092>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

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>

počítat s přítomností plynu a prachu v blízkosti žhavých hvězd až do vzdálenosti jednoho parseku od nich. Slunce, jehož zářivá energie je menší, má tuto hranici pochopitelně kratší. Je tedy možné, že komety vznikly současně s planetami a představují dnes „ukázky“ stavebního materiálu sluneční soustavy. Jak je tedy vidět, je otázka původu komet úzce spjata s otázkou vzniku celé sluneční soustavy.

J. KLECZEK
Astronomický ústav ČSAV

SLUNEČNÍ PROTUBERANCE

(Nové pozorovací výsledky)

Sluneční protuberance patří k nejzáhadnějším zjevům v astrofysice, jak co do povahy sil, které pracují na jejich vytvoření a na pohybech v jejich nitru, tak co do jejich záření. Numerické údaje, které dosud byly získány, se týkají jejich tvaru, spektra a rychlostí pohybů. Bohužel určení velikosti magnetického pole v protuberancích, které by nejvíce přispělo k vysvětlení jejich vzniku, dosud nebylo provedeno.

Obvykle se pod pojmem protuberance rozumějí útvary ve vnitřní koruně, pozorovatelné v čáře H_{α} . Přesahují tedy protuberance výšku $30''$, to je $1,03 R_{\odot}$ čili 21.000 km. Někteří autoři však počítají k protuberancím též spikule a pokládají chromosféru za velké množství drobných protuberancí.

U většiny protuberancí je velikost a tvar individuální a podléhá rychlé časové změně. O rozmanitosti v protuberancích svědčí již značná rozdílnost v jejich životní době: od několika minut do několika měsíců, ba některé pravděpodobně setrvávají po několik roků.

Pro názor o velikosti protuberancí uvedme d'Azambujovy výsledky měření filamentů (klidných protuberancí v průmětu na disk):

tloušťka	6.600 km,
výška	40.000 km,
délka	200.000 km.

Z těchto tří rozměrů je tloušťka nejstabilnější a jen málo se mění od filamentu k filamentu. Tak pro 103 filamenty se od uvedené hodnoty lišila o méně než 1.500 km, v jednom případě byla tloušťka menší než 4.000 km a pro 8 filamentů byla 8.000—12.000 km. Nejvíce však kolísá délka, od 50.000 km do 1.000.000 km.

1. Vývoj filamentu

Při svém vzniku mají filamenty délku kolem 50.000 km a orientaci přibližně poledníkovou. Jejich konce bližší rovníku přesně sledují průměrnou šířku skvrn během jedenáctiletého cyklu. Asi třetina filamentů souvisí ostatně přímo se skvrnami. Na svém konci bližším pólu filament roste a maximální délky dosahuje zpravidla po třetí otočce. V části bližší pólu se víc a více odklání od poledníku. Potom se rozpadá, stává se méně výrazným a konečně mizí.

Vývoj filamentů v polární oblasti je mnohem nejasnější, nelze určit ani jeho vznik, ani zánik. Vysokošífkové filamenty se řadí ve směru rovnoběžek, jeden za druhým a vytvářejí tak celý věnec kolem Slunce. Pro svou orientaci však není na okraji nijak

nápadný. Často bylo pozorováno, že filament z královských pásů přejde do vysokých šířek a zařadí se do věnce filamentů polárních. Není ovšem dosud jasno, zda všechny polární filamenty přicházejí z nižších šířek.

L. d'Azambuja rozbořem synoptických chromosférických map zjistil, že pohyb filamentů směrem k pólu je závislý na heliografické šířce. Čím větší šířka, tím pomalejší posuv filamentu, jak ukazuje následující tabulka:

Šířková zóna	0°—10°	11°—20°	21°—30°	31°—40°	> 40°
Průměrné posunutí $\Delta \varphi$ středu filamentu za jednu rotaci	(2,3°)	1,6°	1,3°	1,2°	0,9°

Na protuberancích na okraji tento posuv ukázal W. Moss.

Pohyb směrem k pólům se však také jeví u filamentů polárních. Není však závislý na šířce a jeho hodnota 0,8°—0,9° je pokračováním uvedené tabulky.

Popsaný posuv filamentů směrem k pólům by mohl objasnit metamorfosu rovníkových filamentů v polární. Ovšem k posunutí z nižších šířek je v některých případech třeba delší doby (asi tři roky), kdežto nejdéle žijící filament nedožívá ani roku. Často se však pozoruje, že na místě, kde zanikl filament, se po nějaké době vytvoří nový, stejného tvaru a polohy. Jestliže toto stadium neviditelnosti filamentu nepovažujeme za přerušení jeho existence, je životní doba filamentů značně delší a vysvětlení původu polárních filamentů pak nečiní obtíž.

2. Třídění protuberancí

Protuberance jsou obrovské útvary s nejrůznovějším tvarem a životní dobou. Je proto pochopitelné, že se astronomové již dlouho snaží v této rozmanitosti zjistit nějaký řád. Třídění bude v první řadě závislé na hledisku autorově. Tak Petit dělí protuberance podle tvaru, Severnyj podle pohybu, Waldmeier užívá poměru intenzity čar helia a vodíku. V novější době zavedli Evans a Menzel klasifikaci protuberancí na základě jejich magnetických vlastností. Protože magneto-hydrodynamické síly mají podstatnou úlohu v životě protuberancí, není Evansova a Menzelova klasifikace jen fenomenologická, ale zasahuje až k podstatě věci. V dalším stručně uvedeme základní rysy jejich jednotlivých skupin.

Protuberance, které vznikají v koronálním prostoru, se podstatně liší od těch, které jsou vyvrhovány z chromosféry. Tím je určeno hlavní rozdělení do dvou skupin: *A* protuberance vznikající v koruně (above-nahoře) a *B* protuberance z chromosféry (below — dole). Další dělení je na protuberance z aktivních oblastí, označené *S* (spot — skvrna) a mimo ně označené *N* (nonspot). Další uspořádání E. M. klasifikace je patrné z následujícího přehledu:

A) Protuberance vznikající v koronálním prostoru.

AS Protuberance v blízkosti skvrn:

f Nálevkovité protuberance (funnels). V Petitově klasifikaci jsou tyto protuberance *AS_f* nazvány koronálními mraky. Plyny padající dolů z korony mají tvar nálevky. Ač jsou *AS_f* vázány na blízkost skvrn, čerpají mnohdy plyny ze vzdálených oblastí korony.

l Smyčkové protuberance (loops) naopak čerpají materiál vždy z nejbližších oblastí korony. *AS_l* bývají velmi jasné. Rostou obvykle shora dolů. Vyvinutá *AS_l* sestává z řady smyček různě nakloněných k slunečnímu povrchu.

AN Protuberance mimo aktivní oblasti připomínají:

a Koronální déšť. Jednotlivé proudy klesají k chromosféře a občas se rozpadají na množství jasných uzlů a podélných vláken.

b Kmen stromu (tree trunk), který patrně představuje velmi hustý koronální déšť. Někdy je patrná rotace.

c Strom. V mnoha případech *AN_b* expanduje a vytvoří dlouhá horizontální vlákna, připomínající větve stromu. Plyn proudí od kmene k povrchu.

d Živý plot. Vyskytne-li se více *AN_c* v téže oblasti, jejich větve navzájem splývají, prolétají se a vytvářejí složitou strukturu připomínající živý plot. *AN_d* dosahují značné délky (statisíce kilometrů). Tento typ je stabilní.

m Mohyla (mound). Tak je označena každá protuberance *AN*, která je tak kompaktní, že jeví jen nepatrnou nebo vůbec žádnou strukturu, má ostré ohraničení a širokou základnu. Jsou to neklidnější protuberance vůbec. Při rozeznatelné struktuře je pozorovatelný pomalý pohyb vláken směrem dolů. Ohraničení při tom zůstává beze změny, neboť nový materiál je stále dodáván kondensací koronálních plynů.

B Protuberance vznikající v chromosféře.

Jsou to proudy nebo uzly svítícího plynu, vyvrhovaného z aktivních oblastí slunečního povrchu. Vyvržené plyny jeví tendenci vracet se po téže dráze zpět k povrchu Slunce. Protuberance *B* dosahují největších rychlostí mezi všemi protuberancemi, sta kilometrů za vteřinu.

BS V aktivních oblastech:

p Malé, kulové chomáče plynů, které vystřelují z aktivní oblasti jako chuchvalce dýmu z lokomotivy (puřf). Jejich rychlost dosahuje 400 km/sec a v letu se rozpínají až zmizí. Zřídka zůstávají viditelné i při zpětném pohybu, při návratu k místu svého zrodu.

s Rychlé filamenty doprovázející chromosférické erupce (surge). Zdá se, že *BS_p* jsou pouze uzly jinak neviditelného *BS_s*.

Ns Útvary klasovitého tvaru (spikule) pohybující se do výše ~ 15.000 km, kde se rozplývají, aniž by zpomalily vzestupnou rychlost. Jejich průměrná životní doba je 2—4 minuty. V každé chvíli je na slunečném obvodu pozorovatelných asi 50 spikulí. Spikule jsou patrně hlavním dodavatelem koronálního materiálu, který protuberance typu *A* vracejí zpět do chromosféry.

U mnohých protuberancí *A* dochází v určitém stupni vývoje k aktivaci, to je k velkému oživení pohybů v protuberanci. Materiál se rychle přečerpá z protuberance do chromosféry a protuberance mizí. Někdy však nekončí aktivní fáze protuberance jejím vymizením, nýbrž vede k vytvoření velkého, expandujícího oblouku, který se zvedá nad sluneční povrch a pozvolna mizí. Dříve byla tato fáze označována jako eruptivní protuberance.

3. Vztah k ostatním projevům sluneční činnosti

Protuberance a lokální magnetická pole. Jak upozornili Babcockové, tvoří se protuberance buď po okraji sousedních magnetických oblastí, nebo na jejich rozhraní tak, že od sebe rozděluje oblasti s různou polaritou.

S Babcockovými magnetografickými pozorováními souhlasí pozorování chromosférická: velké filamenty tvoří rozhraní mezi dvěma oblastmi s různou chromosférickou jemnou strukturou (dva různé typy patřící různým skupinám, nebo oblast s podélnými elementy a oblast bez nich).

V souhlase s Babcockovými pozorováními je i Bruzkův zjev (viz dále).

Protuberance a chromosféra. Jejich vztah vyplývá z toho, co bylo řečeno o klasifikaci protuberancí. Protuberance tvoří pravděpodobně článek koloběhu látky mezi chromosférou a korunou, a to v jednom (typy *B*) i druhém směru (typy *A*).

Pokud jde o přechod klidných protuberancí v chromosféru, je třeba připomenout uspořádání jemné struktury vzhledem k filamentům. Eliptické až vláknovité elementy jemné struktury a jejich uspořádání po bocích filamentů je způsobeno magnetickým polem na úpatí filamentu.

Velikost magnetické intensity, nutné k orientaci elementů, lze odhadnout z porovnání kinetické a magnetické energie v jednom krychlovém centimetru:

$$\frac{H^2}{8\pi} = \frac{1}{2} \rho \bar{v}^2.$$

V chromosféře ($\rho = 10^{-12}$ g/cm³, $\bar{v} = 10$ km/sec) vychází $H = 6$ gausů, v protuberancích jeden gaus.

Při zmizení filamentu v oblasti skupiny skvrn se někdy (8 případů z pozorovaných 12) objevují v místě rozpouštění zvláštní chromosférické flokule o životní době asi půl dne s náhlým zjasněním.

Protuberance a skvrny. Některé magnetické oblasti na Slunci se vyvinou do aktivních oblastí s průvodními projevy, z nichž jsou nejvýraznější skvrny. Lze proto očekávat vztah mezi skvrnami a protuberancemi.

Statistická porovnání obou projevů sluneční činnosti ukázala, že protuberance mají přibližně shodný průběh s velikostí skvrn. Největší koeficient korelace odpovídá tříměsíčnímu opoždění filamentů za skvrnami.

Pokud jde o individuální souvislost, je asi jedna třetina protuberancí přímo vázána na skupiny skvrn a to tak, že ve svém prodloužení směřuje zpravidla filament na vedoucí skvrnu ve skupině.

V blízkosti skvrn bývají protuberance různě skloněny. Sklon odpovídá magnetickým silokřivkám. Tak nás mohou filamenty informovat o poli skvrn i v těch oblastech, kde spektroskopická přímá měření jsou nemožná.

Bruzek studoval obsáhlý pozorovací materiál zmizení filamentů. Ukázalo se, že většina zmizení nastává krátce (do pěti dnů) po vzniku skupiny skvrn a ve vzdálenosti menší než 25°. Rychlost poruchy od skvrny je asi 1 km/sec.

Nicméně skvrny nejsou jediným projevem sluneční činnosti. Lepší souhlas jeví chod protuberancí v minulém cyklu s erupcemi a náhlými ionosférickými poruchami než se skvrnami (Kleczek).

Protuberance a erupce. Vztah mezi erupcemi a oživením filamentu (Bruzkův zjev) není ještě vysvětlen. Někdy malá erupce působí silné oživení vzdáleného filamentu, kdežto jindy zůstává klidný filament nedotčen i mohutnou erupcí, která vzplanula v jeho blízkosti.

Vcelku se pozorované zjevy chovají takto: a) filament je oživen erupcí vláknovité struktury, je-li v jejím geometrickém prodloužení. b) Porucha se šíří od erupce k filamentu rychlostí kolem sta kilometrů. c) Struktury erupce i ovlivněného filamentu jsou podobné, někdy mezi nimi dojde k vzájemnému splynutí.

Rozruch způsobený erupcí je patrně přenášen magnetickým polem. Je možné, že oba jevy, totiž erupce i zmizení filamentu, jsou důsledkem téže příčiny. Tomu by nasvědčoval i Robertsonův zjev současného objevení erupcí ve vzdálených oblastech.

Protuberance a korona. Již Lockyer upozornil na to, že nejvyšších šířek dosahují protuberance v době, kdy korona rozestírá své vějíře do všech směrů. Tehdy je totiž v polárních oblastech dost koronálního materiálu ke kondensaci v protuberance.

Protuberance pozorované v bílém světle v době úplného zatmění bývají obklopeny tmavým prostorem — dómem. Dómy jsou projevem značného poklesu hustoty v okolí protuberance. Pro pokles hustoty v dómeh svědčí rovněž emise v koronálních čarách,

kteřá je úměrná $\int_{-\infty}^{\infty} N^2 dy$. Tak koronální kondensace (v žluté, zelené a červené čáře) se vyhýbají protuberancím. Emise červené čáry je v protuberancích značně oslabena.

Naopak krátkodobé, intenzivní protuberance typů *S* jsou doprovázeny zvýšenou emisí v koronálních čarách.

U. Becker studoval průběh isofot koronální monochromatické emise a jeho souvislost s polohou filamentů. Mimo jiné se ukázalo, že isofoty kolem filamentů jsou deformovány v tom smyslu, že ukazují zřetelně pokles hustoty v oblasti kolem filamentů.

Z fotografií vnitřní korony je na prvý pohled zřejmá souvislost protuberancí s koronálními oblouky. Tak Vsechsvjatskij ukázal pro zatmění z r. 1936, že uvnitř všech systémů koronálních oblouků (více než dvacet) byly protuberance, které měly beze sporu původ v tomtéž silovém poli jako oblouky.

Závěr

Všechna pozorovací data o protuberancích a souvislých jevech svědčí o tom, že

a) rozhodujícím činitelem při tvoření a udržování protuberancí je magnetické pole, především místní. Podle jedné theorie magnetická pole na Slunci existují po miliony let, aby byly čas od času vyneseny napovrch, podle jiné theorie jsou to jevy dočasné, vyvolané silnými elektrickými proudy;

b) protuberance typů *A* vznikají kondensací koronální látky. Vlastní mechanismus kondensace a ochlazení není ještě zcela znám. Je to však otázka velmi zajímavá a zasluhuje zvláštního pojednání;

c) studium pohybů uvnitř protuberancí ukazuje, že jejich plyny proudí pozvolna k chromosféře (u typů *A*). Abychom mohli tedy vysvětlit dlouhou životní dobu některých protuberancí, je nutno předpokládat, že kondensace koronální látky v protuberance je dlouhodobým procesem. Kiepenheuerovy odhady ukazují, že denně kondensuje z korony v protuberance 10^{38} atomů vodíků;

d) plyny odebrané koruně protuberancemi *A* jsou doplňovány pravděpodobně protuberancemi *B*, především spikulami. Tím by byl koloběh plynů mezi korunou a chromosférou uzavřen. Je však ještě řada otázek, které v této souvislosti čekají na odpověď.