

GIGANTICKÉ SLUNEČNÍ TORNÁDO

OBSAH

1. ÚVOD.....	2
1.1 Sluneční observatoř SDO	2
1.2 Základní přístroje observatoře.....	2
1.3 Základní údaje o Slunci.....	2
2. OTÁZKY.....	3
3. VÝKLAD.....	4
4. PROCES	5
4.1 Popis procesu	5
4.2 Samobuzené dynamo	5
5. ODPOVĚDI NA OTÁZKY.....	6
6. ZDROJE.....	7

1. ÚVOD

Na internetu můžete najít videa, jejichž autoři popisují, jak neidentifikovaný objekt v těsné blízkosti Slunce „čerpá“ hmotu z jeho povrchu. Sekvence snímků pochází ze sluneční observatoře SDO, takže snímky jsou pravé. Výklad ovšem záleží doslova na úhlu pohledu a znalostech konkrétního pozorovatele. V tomto videu je naznačen myšlenkový proces, který vám v mnoha podobných případech může pomoci odhalit pravdu.

1.1 Sluneční observatoř SDO

Od února 2010 je na oběžné dráze umístěna výjimečná sluneční observatoř nové generace, která má název *SDO (Solar Dynamics Observatory)*. Čtveřice dalekohledů o průměru 20 cm fotografuje každých 12 sekund Slunce na různých vlnových délkách. Těsně po sobě jdoucí záběry umožňují vytvářet videosekvence časového vývoje nejrůznějších útvarů při povrchu Slunce s rozlišením 4096 × 4096 pixelů. *SDO* umožňuje lepší pochopení dějů probíhajících na naší nejbližší hvězdě.

1.2 Základní přístroje observatoře

- AIA (Atmospheric Imaging Assembly): Čtveřice dalekohledů o průměru 20 cm s deseti filtry pro různé vlnové délky
- HMI (Helioseismic and Magnetic Imager): Helioseismometr a magnetometr
- EVE (EUV Variability Experiment): Detektor fluktuací extrémního ultrafialového záření

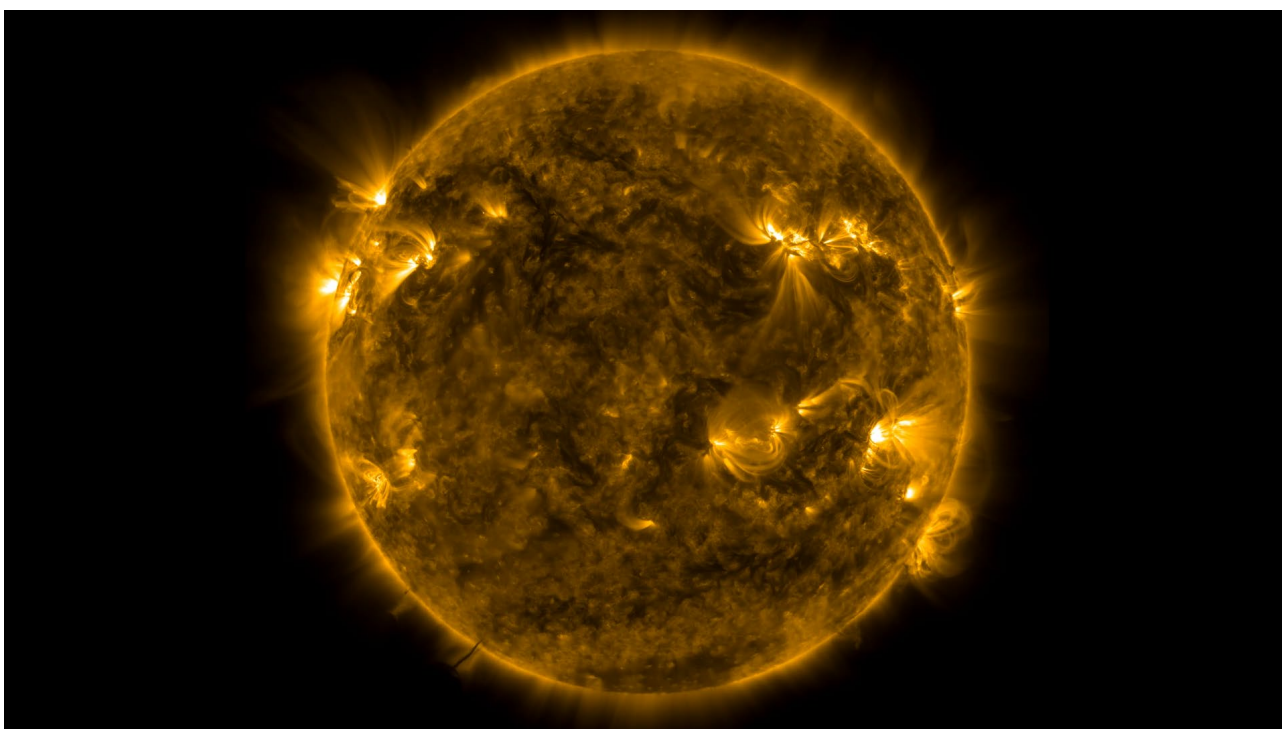
1.3 Základní údaje o Slunci

Umístění v HR diagramu:	Hvězda hlavní posloupnosti
Průměr:	1 392 000 km (přibližně 109 krát větší než Země)
Vzdálenost od Země:	149 600 000 km
Rychlost rotace na rovníku:	1/25 za den
Rychlost rotace na pólu:	1/36 za den
Teplota na povrchu:	5 780 °K
Teplota v centru:	15 000 000 °K
Zářivý výkon:	$3,846 \times 10^{26}$ W
Zdroj energie:	Jaderná syntéza, při které se za každou sekundu přemění v jádru 700 milionů tun vodíku na hélium
Cyklus (periodická změna počtu slunečních skvrn a výkonu):	Jedenáctiletý
Četnost CME (Coronal Mass Ejection) v minimu:	Přibližně jednou za den
Četnost CME (Coronal Mass Ejection) v maximu:	Až třikrát denně

2. OTÁZKY

Pokusme se dokázat nebo vyvrátit zmíněnou hypotézu nebo názor pomocí již známých vědeckých poznatků a položíme si následující otázky:

1. Jaká síla způsobila sloučení několika menších „tornád“ do jednoho?
2. Proč se „tornáda“ spojovala od vrcholu?
3. Co způsobilo, že centrální část výsledného „tornáda“ akcelerovala směrem od Slunce do volného prostoru? Zdá se, že tato hmota nesleduje magnetické siločáry a počáteční vertikální rychlost tornáda je minimální až nulová, to znamená, že hmota tornáda nedostala žádný počáteční vertikální impuls, ale naopak rychlost narůstá postupně.
4. Pokud by se nejednalo o interakci s vnějším objektem, co tedy vymezilo téměř kruhovou tmavší oblast u vrcholu „tornáda“? Oblast je na videu označena otazníkem.
5. Je tento fenomén gigantických „tornád“ ojedinělý nebo běžný. Jak často se vyskytuje?
6. Je možné, že tento fenomén nastal za přítomnosti nějakého dalšího objektu?

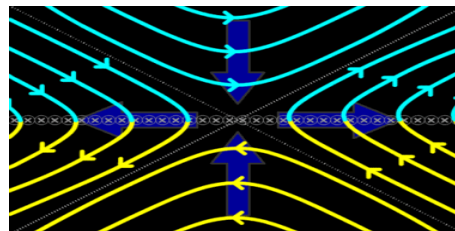


3. VÝKLAD

Po doplnění znalostí můžeme s pravděpodobností blíží se jistotě konstatovat, že se nejedná o interakci s vnějším objektem, ale o velmi zajímavý případ běžného slunečního fenoménu zvaného *protuberance*, které jsou tvořené relativně chladným a hustým plazmatem udržovaným na povrchu Slunce magnetickým polem. Tato soustava se může stát nestabilní především díky změnám konfigurace magnetického pole, které na Slunci probíhají neustále.



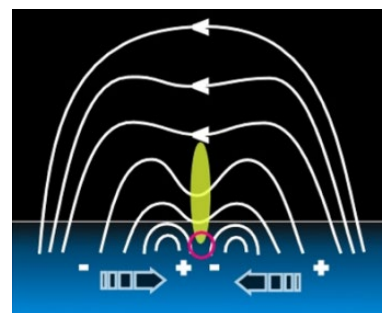
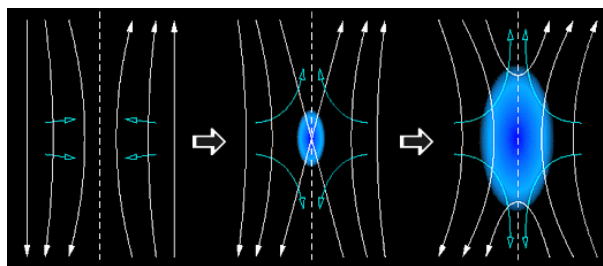
V tomto konkrétním případě taková nestabilita nastala ve směru, kdy vidíme *protuberanci* podél její hlavní osy, a proto se jeví jako úzká vertikální struktura zvaná také *tornádo*. Dochází tedy k takzvanému přepojování neboli *rekonexím* magnetických siločar v místech, kde mají siločáry opačný směr, což znamená přeměnu magnetické energie na kinetickou energii plazmatu, energii svazků urychlených částic, energii odnášenou rázovými vlnami a tepelnou energii. U části hmoty *protuberance* převládne sluneční gravitace a zkracování nově zformovaných siločar magnetického pole, takže se plazma vrací zpět k povrchu.



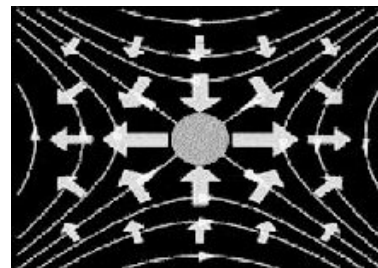
4. PROCES

4.1 Popis procesu

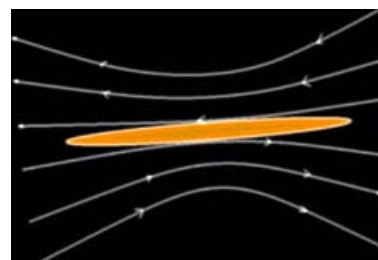
Ve velmi dobře vodivém prostředí plazmatu *sluneční koróny*, což je velmi řídká a horká nejvyšší vrstva sluneční atmosféry, se magnetické siločáry chovají jako tenké kovové struny „zamrzlé“ do slunečního plazmatu. Pokud se pak dva proudy plazmatu unášející s sebou tyto „zamrzlé“ siločáry s opačnou orientací pohybují proti sobě, protiběžné siločáry se dostanou do vzájemné blízkosti a za určitých okolností může dojít k jejich přepojení neboli *rekonexi*. Když se tak stane, vytvoří jiný pár. Kromě toho vzniknou po přepojení také uzavřené siločáry ve tvaru oválu, které spolu s plazmatem vytvoří pohybující se magnetický ostrov neboli *plazmoid*. Energie magnetického pole se přemění na tepelnou energii, energii záření a kinetickou energii plazmatu magnetického ostrovu neboli *plazmoidu*. Siločáry nově vytvořeného páru se díky svému silnějšímu napětí snaží více zkrátit. Současně „vytahují“ ze středu oblasti i na nich „zamrzlé“ plazma. V oblasti *rekonexe* tak vzniká podtlak a v jeho důsledku je shora a zdola „nasáváno“ plazma, jehož vtok do oblasti přináší další magnetické siločáry. Ty se opět přepojí a celý proces tak pokračuje. *Rekonexe* tedy funguje jako jakýsi motor, který mění mimo jiné magnetickou energii na pohyb plazmatu.



Otázkou je, proč v oblastech vtoku, to znamená nad a pod místem *rekonexe*, jsou siločáry unášeny proudícím plazmatem a v oblastech výtoku jsou přepojené siločáry zkracovány a strhávány s sebou plazmatem. Důvod je ten, že nově vytvořené siločáry jsou mnohem více prohnuté a „napětí“ v nich je tedy silnější než v těch, které do procesu *rekonexe* vstupují. Ty méně napjaté jsou tedy „taženy“ pohybující se plazmatem. Ty napjatější, nově zformované v *rekonexi*, naopak aktivně táhnou plazma s sebou. Jinými slovy, magnetické siločáry sledují cestu nejmenšího magnetického odporu a současně se snaží zkrátit.



Jak víme ze základů elektrotechniky, je s magnetickým polem těsně svázán elektrický proud. V případě protiběžných magnetických siločar je elektrický proud koncentrován do takzvané *proudové vrstvy*. K přepojení magnetických siločar je nutné, aby v místě *rekonexe* došlo k oddělení pohybu siločar od pohybu plazmatu. To je možné pouze tehdy, je-li alespoň v místě vlastního přepojení nenulový elektrický odpor. Ten způsobí vlastní *rekonexi* siločar, což má za následek přerušení *proudové vrstvy*.

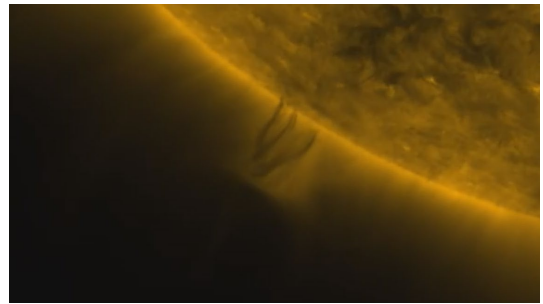


4.2 Samobuzené dynamo

„Zamrzlost“ siločar magnetického pole neboli zachování magnetického toku v plazmatu je pojem z magnetohydrodynamiky a vyjadřuje spojení magnetických siločar s částicemi plazmatu prostřednictvím *Lorentzovy síly*. Termín „zamrzlost“ je pouze obrazný, neboť se jedná o žhavé plazma. Siločáry v plazmatu se chovají podobně jako tenké struny zamrzlé do ledu. Pokud je hustota energie magnetického pole větší než hustota energie plazmatu, rozhoduje o společném osudu magnetické pole. Naopak, převažující kinetická energie plazmatu se z důvodu „zamrzlosti“ siločar transformuje v energii magnetického pole. Tento proces nazývaný *samobuzené dynamo* udržuje a zesiluje magnetické pole v různých vesmírných procesech.

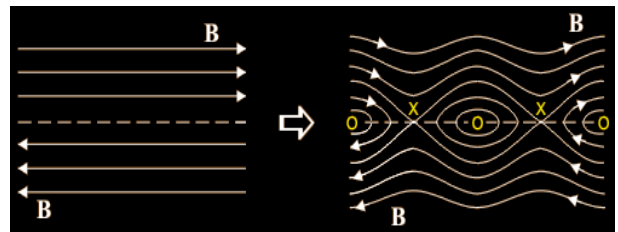
5. ODPOVĚDI NA OTÁZKY

1. Nejedná se tedy o tornáda v pravém slova smyslu. To, co zdánlivě vypadá jako tornáda, jsou ve skutečnosti „nohy“ *protuberance*, což jsou nerotující sloupce plazmatu směřující vertikálně od povrchu Slunce podél magnetických siločar k hlavnímu tělu *protuberance*. Pokud se na podobnou strukturu podíváme z boku, uvidíme, podobně jako na videu, úzké sloupce plazmatu. Díky sluneční rotaci a prostorové projekci se postupně jednotlivé nohy plazmatu dostávají téměř do zákrytu a vytváří tak dojem jednoho velkého tornáda.

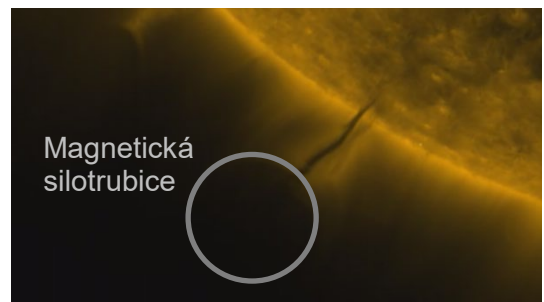


2. To, co na videu vypadá jako vrchol propojující tornáda, je ve skutečnosti tělo *protuberance*, které propojuje její nohy po celou dobu. Takže při pohledu ze strany podél osy *protuberance* to vypadá jako vrchol tornád.

3. Jak jsme mohli zjistit v předchozím textu, je magnetické přepojení neboli *rekonexe* jedním z nejvýznamnějších jevů ve slunečním plazmatu. Magnetické siločary mohou za určitých podmínek naráz změnit svou topologii. Magnetické pole se dostane do stavu s nižší energií a uvolněná energie zahřeje okolní plazma, které pak intenzivně zazáří v celém spektru včetně rentgenového oboru. Taková rentgenová vzplanutí jsou následně doprovázena *koronálními výrony hmoty*, při kterých opustí Slunce shluk plazmatu se „zamrzlým“ magnetickým polem, takzvaný *plazmoid*. Výstupní rychlost je dána přeměnou magnetické energie na kinetickou energii plazmatu.



4. Magnetické pole vytváří nad *protuberancí* magnetickou *silotrubicí* ve které je méně plazmatu než v okolní *koróně*. Tato trubice směřuje podél těla *protuberance*, a proto v případě, že tělo *protuberance* pozorujeme z boku, vidíme přibližně kruhový tmavý tvar nad *protuberancí*.



5. Fenomén slunečních *protuberancí* je velmi častý. Na Slunci je přítomna neustále průměrně alespoň jedna *protuberance*. Ne vždy je tento fenomén pozorovatelný z boku jako na videu. Často je vidíme zepředu nebo shora, kdy tvoří na slunečním disku tmavé pásy, takzvané *filamenty*.



6. Pro vysvětlení tohoto běžného jevu není nutné zvažovat přítomnost dalšího objektu.

6. ZDROJE

Physics of Solar Prominences: II-Magnetic Structure and Dynamics

D. H. Mackay, J. T. Karpen, J. L. Ballester, B. Schmieder, G. Aulanier

Received: 17 July 2009 / Accepted: 5 January 2010 / Published online: 19 February 2010

Space Sci Rev (2010) 151: 333–399 DOI 10.1007/s11214-010-9628-0

© Springer Science + Business Media B. V. 2010

Structure and Dynamics of an Eruptive Prominence on the Quiet Sun

Yingna Su, Katharine K. Reeves, Patrick McCauley, Adriaan A. van Ballegoijen and Edward E. DeLuca

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden street, Cambridge, MA 02138, USA

Nature of Prominences and their role in Space Weather Proceedings IAU Symposium No. 300, 2013

B. Schmieder, J. M. Malherbe & S. T. Wu, eds.

© International Astronomical Union 2013 doi:10.1017/S1743921313011551

Solar Magnetized “Tornadoes” relation to Filaments

Yang Su¹, Tongjiang Wang^{2,3}, Astrid Veronig¹, Manuela Temmer¹, and Weiqun Gan⁴

Received 2012 May 25; accepted 2012 July 27; published 2012 August 24

The Astrophysical Journal Letters, 756:L41 (7pp), 2012 September 10

© The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A. 2012