

Magnetická a rychlostní pole v aktivní oblasti (NOAA 7757, 1994) a v jejím okolí

V. Bumba, Astronomický ústav Akademie věd České republiky, observatoř Ondřejov, Česká republika, bumba@asu.cas.cz

M. Klvaňa, Astronomický ústav Akademie věd České republiky, observatoř Ondřejov, Česká republika, mklvana@asu.cas.cz

A. Garcia, Observatorio Astronomico, Universidad de Coimbra, Almas de Freire - Santa Clara, 3000 Coimbra, Portugal, adriana@mat.uc.pt

Abstrakt

V roce 1996 jsme zde referovali o Evershedově efektu v pravidelně skvrně aktivní oblasti NOAA 7757 a jeho vztahu k okolní fotosféře. Především jsme demonstrovali existenci sekundárního Evershedova efektu, který obklopuje efekt primární a tvoří s ním nedílnou jednotu v rozložení fotosférického rychlostního pole (Bumba, Klvaňa, 1998).

Dnes bychom chtěli na stejné aktivní oblasti ukázat, že existuje také určitý charakteristický vztah mezi rozložením rychlostního a magnetického pole aktivní oblasti a okolní fotosféry. Pole jednotlivých elementů Dopplerových pohybů je přítomností magnetického pole v případě kladné složky silně zředěno, v případě záporné složky koncentrováno a organizováno. Zdá se, že k systému pohybů v celkovém efektu Eversheda přiléhá jiný systém pohybů, vázaný na zbytek pole, mající obrácený směr, ale menší rychlosti.

Porovnání struktury obou polí se strukturou kalciové (K3 CaII) a vodíkové (H α) chromosféry se zdá opět svědčit o významné roli konvekce a jejím vlivu i na rozložení studovaného rychlostního pole.

1. ÚVOD

Na 13. semináři v Upohlavu jsme hovořili o složitostech problémů spojených se studiem Evershedova efektu (Bumba & Klvaňa, 1998). Pro demonstraci jsme použili aktivní oblast, kterou jsme v červenci 1994 pozorovali mnohokrát v různých polohách na disku. Tato mnohonásobná měření se týkala především podélných složek magnetického a rychlostního pole (spolu s intenzitou světla v kontinuu a čarách FeI 5253.47; $g = 1.5$ a FeI 5123.73; $g = 0$). V té době se studovaná oblast skládala z několika malých zbytků nepříliš dobře definovaných skvrn a výrazné vedoucí

skvrny, která zůstávala po maximu vývoje aktivní oblasti NOAA 7757, ke kterému zřejmě došlo na neviditelné části disku. Skvrna prošla centrálním poledníkem 22. července 1994 a její střední poloha byla $L = 332^\circ$, $b = 11^\circ\text{N}$. Byla téměř pravidelná, pouze mírně protažená v severo-j jižním směru. Její topologie i klesající intenzita magnetického pole oblasti a velmi nízká chromosférická aktivita ukazovaly, že oblast byla již na sestupné fázi svého vývoje. I intenzita magnetického pole skvrny, která byla blízko středu disku okolo 2200 Gaussů, se zmenšovala, stejně tak jako její plocha.

Připomínáme, že měření jsme prováděli s jemným (1.6" x 2.4") nebo středním (3.2" x 4.8") prostorovým rozlišením. Získali jsme celkem 81 sad měření, z nichž mnohá byla opakována bezprostředně za sebou nejméně třikrát po 7.5 minutách, aby bylo možné odstranit pětiminutové oscilace.

Hlavním výsledkem, který jsme tehdy presentovali bylo kromě různých charakteristik pohybů ve skupině a v Evershedově efektu i nalezení existence sekundárního Evershedova efektu, tvořícího nedílnou jednotu s efektem primárním, který obklopuje.

Dnes bychom chtěli své poznatky o pohybech i magnetickém poli této skupiny rozšířit o další podrobnosti, zejména v jejím vztahu k okolní atmosféře. Kromě toho bychom chtěli ukázat i jednotu pohybových i magnetických struktur ve fotosféře a nízké chromosféře, představované čarami ionizovaného vápničku K3 a KIV, a vodíkovou čarou Ha, které byly pozorovány spektroheliografem universitní observatoře v portugalské Coimbre.

2. AKTIVNÍ OBLAST JAKO PORUCHA POLE FOTOSFÉRICKÝCH POHYBŮ

V posuzování naměřených veličin a jejich zobrazení (zejména v rychlostních mapách) velice mnoho záleží na tom, v jakém měřítku je mapa sestrojena.

První tři dny pozorování se zkoumaná oblast nacházela blízko středu slunečního disku (vzdálenost středu skvrny od středu disku se v tyto dny měnila od asi 17° východně od C. M. přes 6.5° severně, k asi 13° západně od C. M.). Každý den pozorování alespoň jedno měření zabíralo plochu nejméně 300" x 300" kolem studované oblasti, většinou však byla měřená plocha podstatně větší. To mělo význam nejen pro stanovení nulové hladiny rychlostí, nýbrž i pro určení charakteru Dopplerova rychlostního pole. Podíváme-li se na takové rychlostní pole s malým rozlišením a odděleně pro kladné a záporné směry rychlostí, vidíme poměrně pravidelné, i když náhodné rozložení ostrůvků obou směrů, až na tu část, ve které se nachází

aktivní oblast. Ostrůvky rychlostí kladných směrů jsou zde silně zředěny, a záporných směrů naopak zhuštěny v kompaktní blok, formovaný do pravidelných tvarů. Nejvýraznější je toto zředění a zhuštění nejbliže středu disku, k okraji se jeho výraznost poněkud smývá. Tím je zřejmě zdůrazněna radiální komponenta rychlostí obou směrů.

Oblasti bez ostrůvků kladných rychlostí, vyplněné blokem rychlostí záporného směru koncentrovaných do dvou-tří kruhových útvarů, je možné prakticky ztotožnit s plochami fotosféry, vyplněnými magnetickými poli, a to obou polarit.

3. MORFOLOGIE Kladných A ZÁporných Dopplerových Pohybů

Nejnápadnějším útvarem v rozložení Dopplerových rychlostí záporného směru je kruhový útvar spojený s kompletním Evershedovým efektem vedoucí skvrny, tedy efektem primárním i sekundárním. Jeho průměr po celou dobu pozorování je blížký 80" až 100", tj. od asi 60 až 75 tisícům km. K tomuto útvaru přiléhají na severovýchodě a severozápadě podobné kruhové koncentrace záporných směrů pohybů, které ne vždy uzavírají plný kruh, a zdají se být časově méně stabilní. Kromě toho celý blok negativních směrů pohybů je nejnápadnější během prvních tří dní pozorování, to je v době, kdy se oblast nachází prakticky ve středu slunečního disku. Ve větších vzdálenostech od středu zůstává nejnápadnějším útvarem celého bloku kruhový kompletní Evershedův systém pohybů a oba přídavné útvary ztrácejí svou výraznost. Ve vzdálenosti kolem 60° od středu začínají splývat s "brázdami" negativních směrů Dopplerových pohybů, kolmých k poloměru disku, tvořících normální negativní složku rychlostního pole fotosféry.

Realitu existence kruhových koncentrací negativních Dopplerových pohybů v místě aktivní oblasti, respektive jejího magnetického pole je možno ověřit na

seriích několikrát opakovaných měření, kde jednotlivá měření serie startovala vždy po 7.5 minutách, abychom vyloučili vliv pětiminutových oscilací.

Na jednotlivých rychlostních mapách takových serií vidíme zřetelně, že kruhové koncentrace záporných rychlostí se opakují na všech jednotlivých mapách ve velmi podobném tvaru, že tedy jsou i málo ovlivněny pětiminutovými oscilacemi.

Podobně ovšem tato opakovaná měření potvrzují i realitu ostrůvků kladných Dopplerových oblastí obklopujících plochy zaujaté magnetickým polem skupiny. Zde je nejstabilnějším útvarem oblast kladných směrů pohybů primárního Evershedova efektu, která tvoří střed hlavního kruhového útvaru negativních pohybů kompletního Evershedova jevu. I když se zdá, že oblasti kladných pohybů jsou v okolí skupiny rozděleny mnohem náhodněji nežli pohyby záporné, při bližším zkoumání zjistíme, že existují místa, kde tyto kladné pohyby zůstávají beze změny polohy po dobu několika dní. Jak uvidíme později, zdá se, že tato místa jsou spojena s rozložením magnetického pole. Pokud jde o amplitudy rychlostí a jejich změna se vzdáleností od středu disku, uvedeme je dále.

4. SPECIFIKA POHYBŮ SPOJENÝCH S OBLASTMI MAGNETICKÉHO POLE

. Magnetické pole studované skupiny je možno rozdělit na tři části: pole vedoucí skvrny, které má zápornou polaritu a dosahuje intensity podélné složky pole o něco více než 2200 Gaussů, klesající podstatně ke konci pozorování (nejen reálně, nýbrž i vlivem sklonu vektoru). Vedoucí záporná polarita má ještě jednu oblast severně od vedoucí skvrny, zbytek po zaniklé skvrně, která během našich pozorování prakticky úplně zmizí. Konečně třetí částí je chvostové pole skupiny kladné polarity, rozdělené v podstatě do dvou částí: severovýchodní cíp o intensitě podélné složky maximálně do 300 Gaussů, který úplně zanikne během tří čtyř dnů, a hlavní část blízko vedoucí skvrny o

intensitě 100 - 200 Gaussů vyšší, stabilnější, ale také téměř zaniklé ke konci pozorování.

O poli vedoucí skvrny jsme již hovořili: jeho plocha je vyplněna i obklopena kruhovým útvarem negativních pohybů, vytvářených kompletním Evershedovým jevem, jejíž střed tvoří stabilní ostrov pohybů kladných. Tento rychlostní útvar je nejstabilnější částí pohybového pole.

Při velmi detailním studiu se zbývajících rychle zanikající část vedoucího pole, zdá být spojena s velmi specifickým rozložením pohybů obou směrů, stejně jako chvostová část pole kladné polarity. Začneme chvostovým polem. Jeho oblast leží v severovýchodním útvaru negativních pohybů. Pokud jde o pohyby kladné, obklopují toto kladné pole velmi zvláštním způsobem. Během prvních tří dnů pozorování, tedy téměř uprostřed disku je toto pole obklopeno větším prostorem bez kladných pohybů, avšak existují tam jednotlivé ostrůvky kladných Dopplerových pohybů o rychlostech nejvýše 200 - 300 m/sec, které těsně přiléhají k tomuto poli v jeho některých zálivech. Musí tedy jít převážně o pohyby radiálního směru. Více obklopena je severovýchodní, rychle zanikající část. Poslední dva dny pozorování (vzdálenost od středu disku větší než 50°) ostrůvky kladných pohybů kolem velmi slabého zbytku chvostového pole prakticky zmizí, jakoby zde vůbec neexistovaly žádné, tedy ani tangenciální kladné pohyby.

Ještě zajímavější je pole Dopplerových pohybů spojené se zanikající severní částí vedoucího pole záporné polarity. Je jakoby obklopeno obvodem složeným z ostrůvků kladných pohybů o průměru blízce 50", tedy 30 - 40 km, což je hodnota blízce průměru normálních supergranulí. Vnitřní část je spojena se zápornými pohyby výše popsaného severozápadního kruhového útvaru tělesa negativních pohybů. Tento kruhový útvar, jakási cela, je lépe či hůře patrná nejméně do 25. července, tedy pátého dne pozorování. Nejúplnější kruh kolem tvoří kladné rychlosti prvé tři dny pozorování, tedy opět blízko středu disku, jejich amplituda je 200 - 300 m/sec. Dále od středu o asi 100

až 200 m/sec vzrůstá. Nakreslíme-li rychlostní mapy s oběma složkami rychlostí neodděleně, kruhové rozdělení kladných pohybů se zdůrazní. Nejblíže středu disku téměř vymizí negativní pohyby uvnitř kruhu. Jinak je jejich amplituda srovnatelná s amplitudou kladných rychlostí.

Poslední tři - čtyři dny pozorování, tedy dále od středu disku, zaujme stabilita struktur rozložení pohybů kladného směru.

5. Kladné a záporné pohyby ve fotosféře a emise v K3 CaII

Velmi zajímavé je srovnání našich map Dopplerových pohybů obou směrů s rozložením emise čáry K3 ionizovaného vápníku. Ztotožníme-li je nejdříve s rozložením magnetického pole a pak je srovnáme s mapou záporných a kladných pohybů, vidíme nejdříve, že tvar útvaru, který tvoří nejintenzivnější emise, plně souhlasí s tělesem negativních pohybů, včetně kruhového útvaru kompletního Evershedova jevu. Většina "prázdných okének" v emisi, vnitřků supergranulárních cel bez emise, často dosti nápadných právě absencí emise, obklopujících emisi, souhlasí s rozložením a strukturou kladných pohybů, včetně části centrálního kladného vrcholu Evershedova jevu.

Při tom je třeba si uvědomit, že tyto "prázdné" cely bývají někdy vyplněny částmi klidných filamentů. Je tomu tak i v našem případě, jak je vidět na spektroheliogramech pořizovaných ve vodíkové čáře H α , a to v blízkosti severní části hranice polarit magnetického pole.

6. Diskuse výsledků

Obdržené výsledky týkající se spojení magnetických polí s rychlostním polem Dopplerových pohybů jsou pro nás poněkud neočekávané. Je ovšem třeba si uvědomit, že i když náš pozorovací materiál je nebyvale bohatý, přece jen se týká jedné aktivní oblasti, k tomu takové, která už je za

maximem svého vývoje. Nicméně tyto výsledky otevírají řadu otázek a jsou vlastně příkazem k pokračování v podobném zkoumání na dalších oblastech v různých vývojových etapách. Interpretace nalezených souvislostí je zatím velice obtížná.

Naše mapy rozložení pohybů ve studované skupině a jejím okolí skutečně ukazují, že Dopplerovo rychlostní pole fotosféry s náhodným rozložením rychlostí je silně narušeno přítomností magnetického pole skupiny. Při tom nejde zřejmě o to, že bychom chybně určili střední hodnotu nuly. Všeobecně se soudí, že vlivem různých instrumentálních i pozorovacích efektů měříme v přítomnosti magnetického pole červený (záporný) posun nuly (viz na př. diskusi v Bumba, Klvaňa, 1995). Posunem nuly bychom ale nezískali podstatnou změnu v rozložení jednotlivých rychlostních elementů obou směrů. Přítomnost pole u naší skupiny koncentruje a organizuje záporné pohyby a vyklízí a zředuje elementy pohybů kladných.

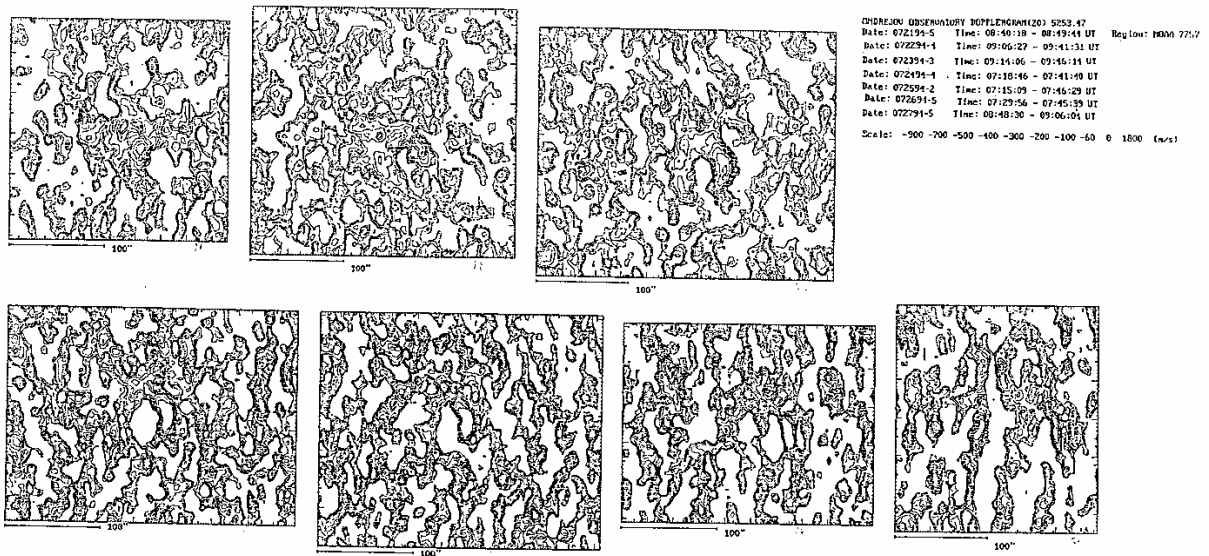
Nejstabilnějším a nejvýraznějším jevem z hlediska studované skupiny i obecněji je "trvalý výron hmoty" v zanikající skvrně, vyjadřovaný stabilním rozložením Dopplerových pohybů v kompletním efektu Eversheda, měnícím svůj tvar jen s geometrií vzdálenosti od středu disku. Ale ostatní pole, všechna postupně se rozpadající a rychle slábnoucí, se zdají mít opačný charakter pohybů, které ovšem zdaleka nedosahují velikosti amplitud rychlostí Evershedova efektu. Znamená-li to obrácený směr pohybu hmoty v celé skupině kromě vedoucí skvrny je zatím těžko říci. K tomu je třeba rozboru dalších měření. Ale zdůraznění radiální složky pohybů ve studované skupině, vyplývající ze změny konfigurace pohybů se vzdáleností od středu disku, lze snad připustit.

Velmi zajímavá se zdá být souvislost míst bez emise ionizovaného vápníku s elementy kladných pohybů a vice versa záporných pohybů s emisí. Svědčí to o těsné spojitosti fotosférického a chromosférického rychlostního pole, ale schéma rozložení vektorů pohybu se zatím neodvážíme navrhnout. Je zajímavé, že supergranulární struktura rozložení emise čáry K3 CaII,

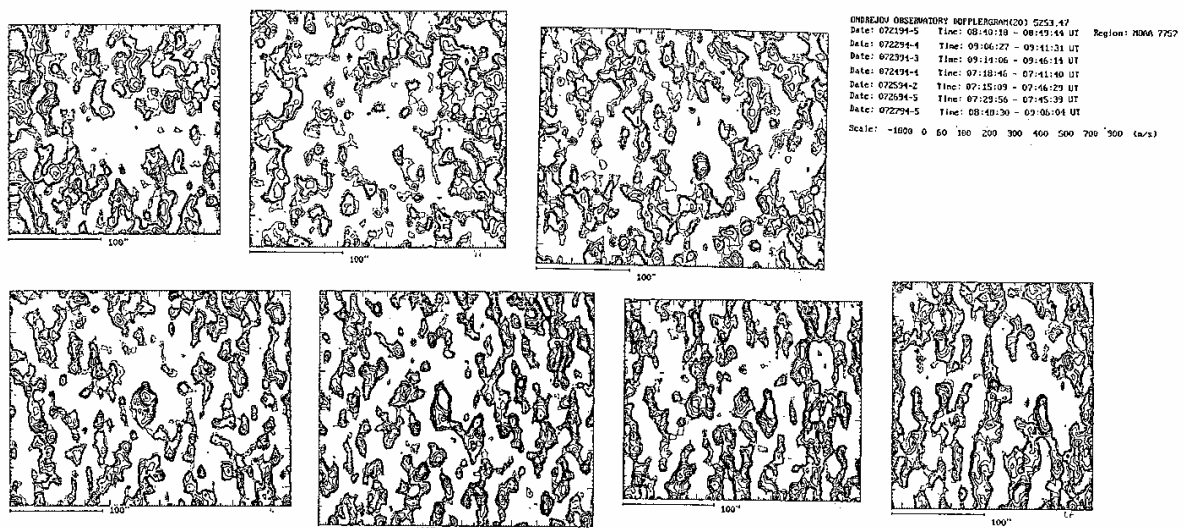
viditelná nezřetelně zejména v poli negativních pohybů ve skupině, si odpovídají, což mluví o konvektivní podstatě této struktury.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat grantové agentuře České republiky za grant č. 205/01/0658, a grantové agentuře Akademie věd České republiky za grant č. A3003903 a za klíčový projekt K1-003-601, díky kterým byla práce umožněna.



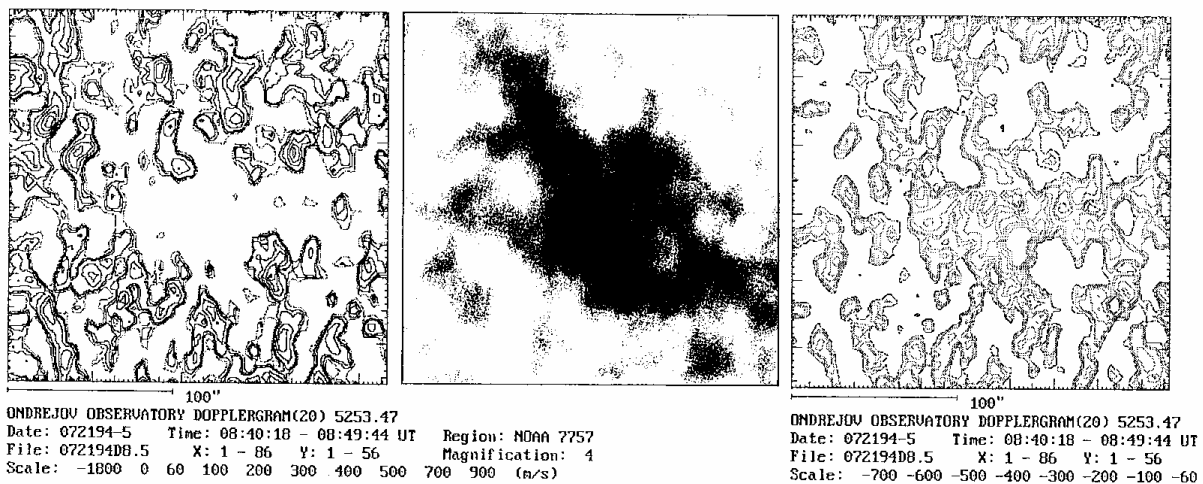
Obr. 1a Mapy rozložení negativní složky Dopplerových pohybů v oblasti skupiny NOAA 7757 a jejím okolí během 7 dnů, a to od 21. do 27. července 1994.



Obr. 1b Stejně mapy pro stejné časové období ukazující však rozložení kladné komponenty Dopplerových pohybů.



Obr. 2 Magnetické pole aktivní oblasti NOAA 7757 (černá barva - kladná, šedivá - záporná polarita) obklopené kladnou složkou Dopplerových pohybů pro stejné období 7 dnů jako v Obr. 1.



Obr. 3 Srovnání rozložení kalciové emise (K3 CaII)(uprostřed) a obou složek Dopplerových pohybů (nalevo kladné, napravo záporné).

REFERENCE

Bumba V., Klvaňa M., 1995, Solar Phys. 160, 245
 Bumba V., Klvaňa M., 1998, Zborník referatov z 13. Celoštátného
 slnečného seminára, Upohlav 1996, Slovenská ústredná
 hviezdáreň Hurbanovo, 17