

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

S. B. Pikelner

Magnetické pole v galaxii

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 3 (1958), No. 1, 81--89

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137380>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1958

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>

MAGNETICKÉ POLE V GALAXII*)

S. B. PIKELNĚR
doktor mat. fys. věd.

Jak je známo, Galaxií nazýváme hvězdnou soustavu, obsahující kolem dvou set miliard hvězd, z nichž jednou je naše Slunce. Z dálky by se naše Galaxie podobala jedné z blízkých spirálních mlhovin. Její průměr je kolem 100 tisíc světelných roků. Část hvězd Galaxie tvoří t. zv. plochý podsystém — jsou soustředěny v tenké vrstvě (kolem 500 světelných roků) v blízkosti roviny Galaxie a alespoň část jich je seskupena ve spirální strukturu. Ve spirálních větvích jsou rozloženy zejména nejžhavější, t. zv. O a B hvězdy. Některé třídy hvězd tvoří střední podsystémy s tloušťkou 1—2 tisíce světelných roků, a konečně většina hvězd (hlavně podtrpaslici) tvoří kulový podsystém, který má tloušťku 30.000 světelných let. Galaxie se otáčí, při čemž v jejích vnějších částech, kde leží Slunce, se rychlost otáčení zmenšuje se vzdáleností od středu.

Prostor mezi hvězdami není prázdný, i když hustota hmoty je tam značně menší než v nejlepší vakuu, které můžeme získat v laboratorii. Nejsnáze můžeme pozorovat hustější plynné mlhoviny (několik desítek atomů v cm^3), které září, jestliže je v jejich blízkosti žhavá hvězda. Spektrum mlhovin se skládá z jasných čar na slabém spojitém pozadí. Energie, vyzařovaná mlhovinou, se čerpá z ultrafialového záření žhavé hvězdy, která ionisuje mlhovinu a zahřívá ji. Rozměry mlhovin jsou několik světelných roků, hmoty až do několika tisíc hmot Slunce.

Žhavé husté mlhoviny tvoří pouze malou část mezihvězdného plynu. Jeho větší část spočívá v tak zvaných plynných mračnecích, která obsahují 10—20 atomů v 1 cm^3 , a mají rozměry řádu několika desítek světelných let. Tato mračna se projevují tak, že vytvářejí absorpční čáry ve spektrech hvězd, které leží za nimi. Posuv čar ukazuje, že se mračna pohybují s rozptylem rychlostí kolem 6 km/sec, i když u slabých čar můžeme pozorovat rychlosti do 90 km/sec. V důsledku poměrně nevelké rychlosti se mračna nemohou vzdálit od roviny Galaxie na větší vzdálenost a tvoří plochý podsystém.

Základním prvkem v mezihvězdném plynu je vodík. Na tisíc atomů vodíku připadne asi sto atomů helia, méně než jeden atom kyslíku, dusíku a uhlíku a ještě méně jiných prvků. V blízkosti žhavých hvězd je vodík ionisovaný, v dálce od nich je neutrální. Hranice oblastí ionisovaného (HII) a neutrálního (HI) vodíku je poměrně ostrá. Pokud se vodík jeví jako nejhojnější prvek, stav jeho ionisace určuje fyzikální vlastnosti plynu. Na příklad v oblasti HII je kinetická teplota řádově 10.000° a v oblasti HI řádově 100° , i když v různých mračnecích může být různá. V oblasti HI volné elektrony vznikají ionisací uhlíku a některých ještě řidších prvků, takže koncentrace volných elektronů je značně menší než koncentrace plynu, v oblasti HII je jich prakticky tolik, jako všech atomů. Existence volných elektronů způsobuje, že mezihvězdný plyn, zvláště v oblasti HII, je dosti dobrý vodič.

Mezi mračny je ještě řidší plyn, s koncentrací kolem 0,1 atomu na 1 cm^3 . Rychlosti a rozložení tohoto plynu do poslední doby nebyly známy.

Kromě plynu je v mezihvězdném prostoru prach. Projevuje se tím, že pohlcuje světlo hvězd, ležících za ním. Jednotlivá prachová mračna můžeme vidět bezprostředně na pozadí Mléčné dráhy. Modré paprsky jsou pohlcovány sil-

*) С. Б. Пикельнер, *Магнитные поля в Галактике*, *Природа*, 1956, č. 12.

něji než červené. Proto mají hvězdy, jejichž světlo prošlo oblakem prachu načervenalé zbarvení. Změříme-li zčervenání, můžeme usoudit, jaký je stupeň zeslabení světla.

Závislost absorpce na délce vlny umožňuje udělat některé závěry o vlastnostech prachu. Částice mají rozměry řádu jednoho mikronu a skládají se z nekovových látek, nejspíše ze zmrzlých sloučenin vodíku — metanu a čpavku, s příměsí jiných látek, včetně kovů. Prach se koncentruje v těchže mračnech jako plyn a tvoří rovněž plochý podsystém v Galaxii.

Po těchto obecných informacích o mezihvězdném prostředí přejdeme k jeho elektromagnetickým vlastnostem. Proberme pro příklad solenoid. Jestliže v něm prochází proud, bude uvnitř magnetické pole. Odpojíme zdroj proudu a spojíme cívku nakrátko. Je známo, že proud neklesne k nule najednou, nýbrž bude klesat postupně, podle toho, jak se magnetická energie přeměňuje v teplo, uvolněné proudem ve vodiči. Totéž se bude dít v celistvém vodiči, vzbudíme-li v něm proud. Můžeme dokázat, že čas útlumu je úměrný vodivosti a čtverci rozměrů vodiče. V mezihvězdném prostředí, kde rozměry měříme světelnými roky a vodivost je srovnatelná s vodivostí kovů, doba zanikání pole značně převyšuje 10^{20} let, takže prakticky můžeme pole považovat za nezanikající. Nezanikající pole můžeme získat i v laboratoři, nezvětšujeme-li rozměry, ale vodivost. Je známo, že při teplotě blízké absolutní nule se některé látky stávají supravodivými. Proud v supravodiči teče, aniž se zeslabí, bez vnějšího zdroje energie.

Supravodivé vlastnosti mezihvězdného prostředí, podmíněné jeho rozměry, vedou k zajímavým důsledkům. Prozkoumáme opět nakrátko spojený supravodivý solenoid. Uvnitř je pole, jehož magnetický tok je charakterisován počtem siločar. Budeme-li solenoidem pohybovat, bude se pole uvnitř pohybovat s ním. Stlačíme-li solenoid, magnetický tok uvnitř se nemůže změnit, počet siločar zůstane stejný, ale budou rozloženy těsněji. Intensita pole se zvýší. Přeneseme-li výsledky těchto uvedených pokusů na mezihvězdné prostředí, obvykle říkáme, že siločáry jsou „vmrazeny“ do látky, že se pohybují zároveň s ní. Jestliže nějaká siločára procházela řadou plynových hmot, bude jimi procházet i dále, až milion let. Za tu dobu se plynné hmoty od sebe vzdálí a siločára může nabýt velmi podivného tvaru. Chaotické pohyby plynu, turbulentní pohyby, zamotávají siločáry. Při tom se musí nevyhnutelně zvětšovat jejich délka. Prodloužení siločar, uzavřených ve stejném objemu, vede k tomu, že se čáry těsněji zabalují, t. j. intensita pole se musí zvětšovat. Přicházíme k důležitému závěru, že nachází-li se supravodivá tekutina v turbulentním pohybu, intensita pole v ní roste. Jak dlouho bude trvat růst? Může intensita pole H růst do nekonečna? Ovšem že ne. V našich úvahách jsme nepřihlédli k tomu, že magnetické siločáry mají vlastnost, podobnou pružnosti, kladou odpor deformacím a stlačování a vykonávají na vodivé prostředí tlak, rovný $\frac{1}{8\pi} H^2$. Taková je též číselná hustota energie magnetického pole. Pokud je $\frac{1}{8\pi} H^2$ znatelně menší než kinetická energie kapaliny $\frac{1}{2}\rho v^2$, pohyb probíhá tak, jako by magnetické pole neexistovalo. Může být úplně chaotický a intensita pole bude růst. Když $\frac{1}{8\pi} H^2$ dosáhne $\frac{1}{2}\rho v^2$, pole bude mít podstatný vliv na pohyb. Bude překážet pohybu tam, kde pohyb zvětšuje intensitu pole, a napomáhat mu tam, kde to vede k zeslabení pole. Nastane jakoby dynamická

rovnováha mezi polem a pohybem látky. V jednotlivých místech intenzita pole roste do hodnoty, převyšující střední hodnotu. Tehdy intenzita pole řídí pohyb plynu, siločáry se napřimují, intenzita pole se znovu zmenšuje. V každém bodě se intenzita pole chaoticky mění s časem co do velikosti i směru, střední hodnota intenzity je určena střední hustotou kinetické energie chaotického pohybu plynu. Počáteční hodnota intenzity pole, od níž začalo zesilování, není důležitá, pole mohlo být jakkoli slabé, a přesto za nějakou dobu nastane výše popsaný stacionární stav.

Jestliže bylo pole od počátku silné, takže jeho energie byla větší než kinetická energie kapaliny, pak pohyby budou kontrolovány polem. Silné regulární pole klade odpor deformacím svých siločar, proto pohyby napříč jich se rychle brzdí.

Uděláme závěr. Z obecných úvah, známe-li o mezihvězdném prostředí pouze to, že je v pohybu a má velkou vodivost a že útvary v něm mají velké rozměry, můžeme přijít k závěru, že v něm může být chaotické magnetické pole. Počáteční slabé pole může vzniknout na příklad z rozdílů teplot a tlaků na různých místech Galaxie. Tyto rozdíly způsobují difusi elektronů, jež je rychlejší než difuze iontů, t. j. vzniká elektrický proud. Pole tohoto proudu bude velmi slabé, ale, jak jsme již řekli výše, jeho velikost nebude podstatná, pole bude zesíleno do rovnovážné hodnoty. Přijmeme-li na př., že koncentrace v mračnu je 20 atomů v 1 cm^3 a rozptyl rychlostí uvnitř je 2 km/sec, můžeme očekávat uvnitř mračna magnetické pole s intenzitou asi $4 \cdot 10^{-6}$ oerstedů. Tato veličina je 100.000krát menší než intenzita pole Země, není však malá pro mezihvězdné prostředí, neboť má podstatný vliv na pohyb uvnitř mračen. Z těchto faktů a v rámci znalostí, jež máme v nynější době, ještě nevyplývá, že v Galaxii existuje regulární pole.

Avšak astrofysika, stejně jako každá přírodní věda, se nemůže spokojit s obecnými úvahami, ale musí vycházet z pozorování. Přířímým způsobem pozorování pole, který používáme na př. při studiu slunečních skvrn, je Zeemanův efekt, rozštěpení spektrálních čar v magnetickém poli. Ovšem rozštěpení způsobené mezihvězdným polem není možné pozorovat. Musíme se proto obrátit k nepřímým methodám, z nichž žádná nemůže dát vyčerpávající odpověď, ale vcelku ukazují dosti mnoho.

První svědectví o existenci mezihvězdného magnetického pole dalo studium kosmických paprsků. Primární kosmické záření se skládá z jader různých prvků, převážně vodíku a zčásti helia, jejichž energie jsou od 10^8 do 10^{18} eV. Můžeme ukázat, že kosmické paprsky přicházejí k Zemi ze všech stran ve stejném množství, t. j. že kosmické záření je isotropní. Hustota energie kosmických paprsků se přibližně rovná hustotě energie světla hvězd a tisíckrát převyšuje hustotu světelné energie mezi galaxiemi. Kdyby se částice pohybovaly přímočaře, pak by z jejich isotropie u Země vyplývala isotropie v celém prostoru. Museli bychom přijmout, že hustota energie kosmických paprsků je mezi galaxiemi tatáž, jako u Země. Srovnajme to se světlem. Světlo se šíří přímočaře a jeho hustota v Galaxii je větší než mezi galaxiemi. Jako důkaz toho, že intenzita světla, dopadajícího na Zemi z různých částí oblohy, není stejná — vidíme svítící pás v Mléčné dráze. Protože u kosmických paprsků není této Mléčné dráhy, musíme přijmout, že buď téměř zcela rovnoměrně vyplňují celou metagalaxii, nebo že se částice nepohybují přímočaře, ale po křivkách. V prvním případě bychom museli předpokládat, že ve velké části prostoru, jež nás obklopuje, je energie ve formě kosmických paprsků 1000krát

více než ve formě světla. Tento předpoklad se setkává s mnoha obtížemi, a proto musí být opuštěn. Zbývá jen druhý případ. Představme si, že se částice v Galaxii pohybují po velmi složitých drahách, které leží v hranicích Galaxie. Pak intenzita kosmických paprsků bude téměř isotropaní uvnitř Galaxie. Kdyby kosmické paprsky pomalu vznikaly, jejich hustota v Galaxii poroste, protože se nemohou nikam z Galaxie vzdálit. Tento růst se přeruší, když se přítok vyrovná se ztrátou částic, způsobenou srážkami s jádry mezihvězdného plynu a únikem části paprsků z Galaxie. Ztráta není příliš veliká, neboť střední doba života kosmického paprsku do srážky s jádrem je řádově 600 milionů let, takže rovnovážná hustota kosmických paprsků je dosti značná, třebaže rychlost jejich vzniku může být malá.

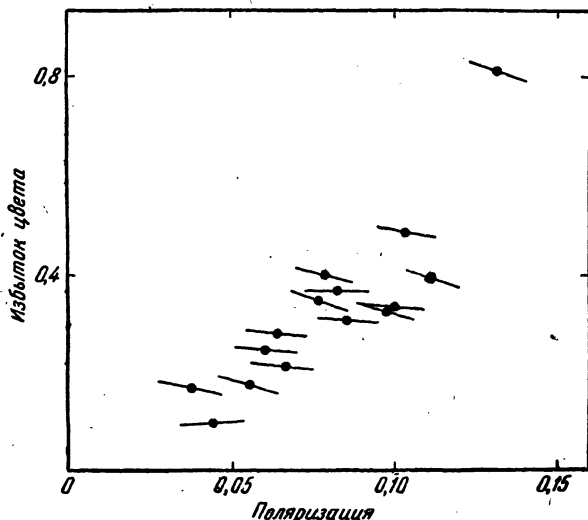
Příčinou zakřivení trajektorií rychlých nabitých částic může být jen magnetické pole. Podmínka pro udržení částice v Galaxii klade určitá omezení na velikost pole. Ukazuje se, že intenzita pole musí být větší, než 10^{-6} oerstedů, což se shoduje s veličinou, kterou jsme dostali výše pro mračna z jejich kinetické energie. Takové pole musí být všude, jak v mračnech, tak i mezi mračny, jinak by kosmické paprsky unikly v úsecích mezi mračny. Kdybychom připustili, že pole, zadržující kosmické paprsky, je tvořeno chaotickými pohyby vodivé hmoty, pak hustota kinetické energie by musela být všude dostatečná k vytvoření pole o uvedené intenzitě. Tato skutečnost umožnila autorovi učinit některé závěry o vlastnostech zředěného plynu. Pokud je plyn mezi mračny asi 100krát řidší než v mračnech a současně je třeba, aby jeho kinetická energie byla téměř táž, můžeme připustit, že rozptyl rychlostí mezi mračny je mnohem větší a měří se na desítky km/sec. Rychlé objekty se slaběji koncentrují k rovině Galaxie, tloušťka vrstvy je přibližně úměrná čtverci rozptylu rychlostí. Proto zředěný plyn netvoří jako mračna plochý podsystém, nýbrž kulový, jehož tloušťka je několik tisíc světelných roků.

Ukázalo se, že ve spektrech vzdálených hvězd jsou čáry, podobné mezihvězdným, ale velmi široké, pravděpodobně příslušející zředěnému plynu. Z šířky čar vyplývá, že rozptyl rychlostí je řádově 70—100 km/sec, což odpovídá tloušťce vrstvy 15—30 tisíc světelných let jako u jiných kulových podsystémů. Intenzita pole, odpovídající takové rychlosti, se přibližně rovná 10^{-5} oerstedů.

Shrneme-li, můžeme říci, že první metodou studia pole Galaxie — analysou podmínky zachování kosmických paprsků — dojdeme k představě o chaotickém poli asi 10^{-5} oerstedů (střední velikost nestejnorodosti řádově 100 světelných roků), vyplňujícím téměř kulový objem. Avšak tento obraz nemůžeme považovat za konečné zdůvodnění. Potřebujeme jiné metody výzkumu pole, doplňující první.

Druhá metoda je založena na údajích radiové astronomie. Poměrně nedávno bylo objeveno, že ze Slunce, z některých jiných objektů a prakticky z celé oblohy přichází radiové záření. Radiové záření Galaxie jeví nápadnou koncentraci k Mléčné dráze, ale zůstává dosti silné i v dálece od ní, zejména na delších vlnách. I. S. Šklovskij rozdělil toto záření na dvě části na podkladě rozdílu v jeho radiovém spektru. Jedna část je podmíněna tepelným zářením ionizovaného mezihvězdného plynu, který se koncentruje k rovině Galaxie. Druhá část je podmíněna netepelným zářením, zesilujícím se směrem k delším vlnám, a jeví slabou koncentraci k rovině Galaxie. Rozložení tohoto záření je takové, jakoby zdroje byly téměř rovnoměrně rozmístěny v objemu o tloušťce asi 30.000 světelných let — jako u kulových podsystémů.

Jaký je mechanismus netepelného záření? Jak předpokládali Alfven a Herlofson a jak kvantitativně propracovali a rozvedli V. L. Ginzburg, I. S. Šklovskij, G. G. Getmancev a jiní, zdrojem radiového záření jsou velmi rychlé, „relativistické“ elektrony, pohybující se v magnetickém poli. Je známo, že v magnetickém poli se pohybuje nabitá částice po spirále, navíjející se na siločáru. Frekvence rotace kolem siločáry je $\omega = \frac{eH}{mc}$, kde e je náboj elektronu, m jeho massa, H intenzita pole a c rychlost světla. Elektron, pohybující se po kružnici, získává zrychlení ve směru poloměru. Z elektro-



Obr. 1. Závislost polarisace na zčervenání hvězdy. Поляризация — polarisace, Избыток цвета — barevný excess.

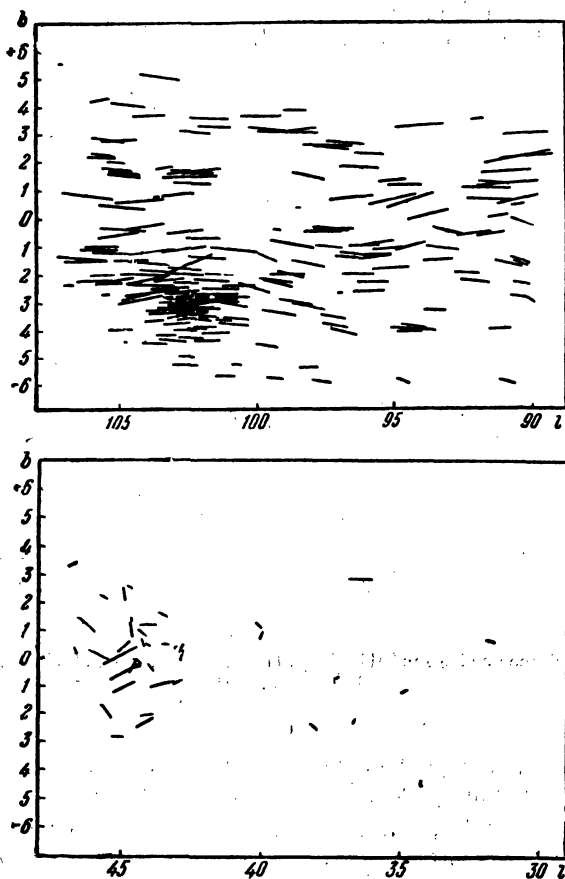
dynamiky je známo, že zrychleně se pohybující náboj vyzařuje elektromagnetické vlny. Elektron v magnetickém poli vyzařuje vlnu s úhlovou frekvencí ω .

U relativistických částic, t. j. u částic, jejichž rychlosti jsou blízké rychlosti světla ve vakuu, je úkaz složitější. Relativistický elektron vyzáří ne jednu frekvenci, ale celé spektrum, při čemž maximum tohoto spektra závisí na intenzitě pole a na energii elektronu.

Popsaný mechanismus radiového záření je jediným dosud ve fyzice známým netepelným mechanismem, který může působit v mezihvězdném prostoru. Existují jiné netepelné mechanismy, ale ty vyžadují hustší plyny, jako na příklad ve vnějších vrstvách hvězdných atmosfér.

Netepelné radiové záření Galaxie svědčí o přítomnosti relativistických elektronů a magnetického pole v mezihvězdném prostoru. Přijmeme-li, že „měkkých“ relativistických elektronů je v Galaxii tolik, jako protonů v kosmických paprscích, musí být intenzita magnetického pole asi 10^{-5} oerstedů. Skutečnost, že zdroje radiového záření tvoří kulový podsystém, dobře se shodující s podsystémem zředěného plynu, utvrzuje představu o chaotických polích

indukovaných rychlými pohyby mezihvězdného plynu. Avšak jiná fakta činí tento poměrně jednoduchý obraz složitějším. Před několika lety bylo zjištěno, že světlo některých hvězd je částečně polarisováno. Rozsáhlý pozorovací materiál, získaný od té doby, umožňuje objevit řadu vlastností této polarisace. Polarizace v jednotlivých případech dosahuje 10% a ukazuje jistou závislost na zčervenání hvězdy, souvisící s mezihvězdnou absorpcí (obr. 1).



Obr. 2. Velikost a směr polarisace světla hvězd ve směru podél spirální větve (dole) a při velkém úhlu (nahore).

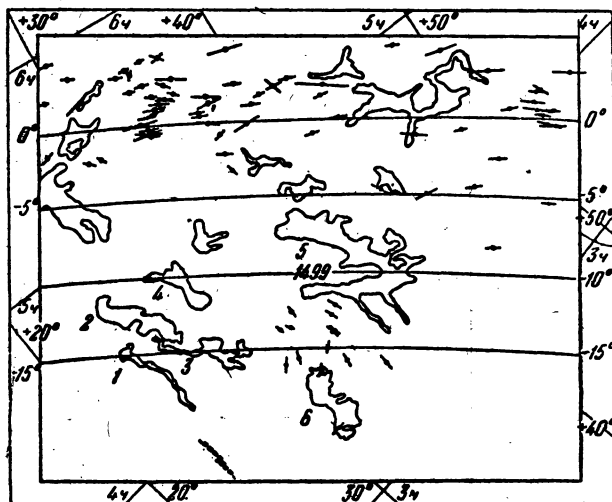
Tuto závislost můžeme charakterisovat takto: kdyby hvězda nezčervenala, t. j. kdyby její světlo neprošlo prachovým mračnem, pak by se neukázala polarisace. Když hvězda zčervená, pak může být její světlo více či méně polarisováno. Jestliže její světlo je značně polarisováno, pak pravidelně pozorujeme i značné zčervenání. Můžeme to vysvětlit, uvažujeme-li, že se světlo polarisuje při průchodu prachovými mračny, ale různá mračna polarisují světlo v různém stupni. Je zajímavé srovnat charakter polarisace v různých oblastech Mléčné dráhy. Na obr. 2 délka úsečky charakterisuje stupeň

polarisace a směr rovinu kmitů elektrického vektoru. Horní obrázek se týká oblasti, kde zorný paprsek je téměř kolmý na spirální větev Galaxie, a dolní oblasti, kde zorný paprsek je rovnoběžný s větví. Rozdíl je zřejmý. Ve směru podél větve je polarisace malá a její rovina je orientována pod různými úhly do různých směrů, kolmo k větví polarisace je větší a její rovina je orientována téměř rovnoběžně s rovinou Galaxie.

Polarisace světla při průchodu prachovým mračnem se může objevit, mají-li částice protáhlý tvar a jejich směry jsou uspořádané. Prochází-li okolo částice různě polarisované složky, oslabují se nestejně, více je absorbováno světlo, jehož elektrický vektor je rovnoběžný s delší osou částice. Téměř všechna pozorovaná fakta můžeme vysvětlit, považujeme-li, že delší osy částic jsou kolmé na spirální větev Galaxie. Pak, díváme-li se podél větve, jeví se nám částice orientovány chaoticky; nevelká polarisace, rozdílná pro různé hvězdy, se utváří vzhledem k nevelkým místním odchylkám, odchylky směru orientace od roviny obrázku. Ve směrech, kolmých k větví, vidíme částice jakoby z boku, jejich část je kolmá na rovinu Galaxie a dává pozorovanou polarisaci, u druhé části delší osy směřují k nám a polarisaci nepozorujeme. Theoretické výpočty holandského astrofysika H. van de Hulsta ukázaly, že částice z krystalů s příměsí kovů, jejichž delší osy jsou dvakrát až třikrát delší než krátké osy, mohou dát pozorovanou polarisaci, jestliže převážná část částic je orientována uvedeným způsobem. Jaká příčina může způsobit takovou orientaci? Z několika předložených mechanismů může pouze magnetické pole do jistého stupně obstát při kvantitativním rozboru. Theorie uspořádání částic magnetických polem rozvinuli američtí vědci L. Dawis a D. Greenstein. Její podstata je taková:

Srážkami s atomy mezihvězdného plynu je částice ve stavu stálého pohybu a rotace. Příměs kovových, včetně ferromagnetických látek způsobuje paramagnetické vlastnosti částice, její magnetická prostupnost je větší než jednotka. Částice, jež je v magnetickém poli Galaxie, se zmagnetuje a získává jistý magnetický moment. Kdyby se částice neotáčela, pak by její moment byl rovnoběžný s vnějším polem. Avšak pro rychlou rotaci částice se zmagnetování, jež vyžaduje jistou dobu, liší od směru vnějšího pole; mezi polem a momentem je určitý úhel. Pro vzájemné působení magnetického momentu a pole vzniká pootočení částice, což dává jistý moment síly, brzdící rotaci. Je známo, že moment sil, které působí na setrvačnick, způsobuje u něho precesi. Tak na příklad osa setrvačnicku působením gravitační síly opisuje kužel. V případě částice je směr momentu takový, že rotační osa koná precesi, přibližující se k směru magnetického pole, při čemž s přibližováním se vzájemné působení zmenšuje a zmenšuje se rychlost precese. Na rozdíl od normální se tato precese nazývá aperiodická. Výsledek je, že se částice otáčí okolo jedné ze svých kratších os, přičemž je orientována podél pole tak, že delší osa je kolmá na pole; je to potřebné k vysvětlení polarisace, jestliže pole směřuje podél větví. Kdyby nebylo srážek s atomy, pak by během doby částice získaly tento uspořádaný stav. Avšak srážky jej narušují a stupeň uspořádanosti závisí na poměru těchto dvou faktorů. Doby potřebná k uspořádání závisí na vlastnostech částice a na intenzitě pole, doba porušení uspořádanosti na hustotě a na teplotě plynu. Můžeme vypočítat, že pole v podmínkách plynných mračen není dostatečné k úplné uspořádanosti, abychom mohli vysvětlit pozorovanou polarisaci, musí být intenzita asi 10^{-5} oerstedů. Také třetí metoda výzkumu pole dává poměrně tutéž hodnotu pro intenzitu jako první dvě.

Je zde však podstatný rozdíl. První dvě metody ukazovaly na pole, zaplňující kulový podsystém v Galaxii a jak se zdá, mající chaotický charakter, podmíněný pohyby mezihvězdného plynu. Třetí metoda mluví o existenci regulárního pole, směřujícího podél spirálních větví. Třebaže vzájemný vztah mezi regulárním a chaotickým polem není jasný, můžeme se domnívat, že je reálné to i ono, poněvadž jedno pole nemůže vysvětlit existenci kosmických paprsků mezi větvemi, kde je Slunce a nemůže vysvětlit kulové rozdělení neteplotního radiového záření Galaxie. Jak se zdá, mezi chaotickými poli probíhá relativně tenká siločára — větev.



Obr. 3. Vztah mezi směrem polarisace světla hvězd a protáhlostí mlhovin.

Určení pole z pozorování polarisace světla dává neúplné údaje. Za prvé nedává místní, ale průměrné charakteristiky pole, polarisace vzniká na celé dráze světla, v délce tisíců světelných let. Za druhé nedává s dostatečnou přesností poměr mezi energiemi pole a látky. Na začátku bylo však poznamenáno, že tento poměr má velký vliv na chování látky — ve slabém poli se děje pohyb téměř volně, v silném poli může probíhat jen podél siločar.

Uvedené nedostatky nemá čtvrtá metoda studia pole. Akademik G. A. Šajn upozornil na to, že mnohé svítící mlhoviny mají velmi protáhlý tvar, přičemž tato protáhlost nemůže být vysvětlena rotací Galaxie. Protáhlé jsou prakticky všechny velké mlhoviny. Také mezi tmavými mlhovinami je mnoho protáhlých. Již dříve dokázal G. A. Šajn, že svítící mlhoviny se rozšiřují. Podle všeho se totéž vztahuje i na tmavé mlhoviny. Rozšiřování může způsobit protáhlý tvar v tom případě, jestliže mlhovina je v dostatečně silném magnetickém poli, které pak překáží pohybům napříč siločar. Aby dokázal, že mlhoviny jsou protáhlé skutečně ve směru pole, sestavil G. A. Šajn schematické mapy mlhovin s údaji o polarisaci světla hvězd.

Na obr. 3. je vidět, že jak protáhlost mlhoviny, tak i polarisace jsou obecně rovnoběžné s galaktickou rovinou. Existují však zřetelné odchylky, přičemž i protáhlost i polarisace se nechovají v tomto případě stejně. Zvláště je to patrné v dolní části obrázku, kde směr magnetického pole svírá velký úhel

ř rovinou Galaxie. Tato shoda, jež platí i v jiných oblastech, potvrzuje hypotézu o magnetickém poli, jako o příčině obou úkazů.

Studium map, podobných obr. 3, přivedlo G. A. Šajna k závěru, že regulární magnetické pole nemá tak pravidelný charakter, jak se dosud soudilo. Na velkých oblastech oblohy se pole někdy odchyluje od středního směru a tvoří velké odchylky. To souhlasí se skutečností, že spirální větve nejsou taktéž zcela pravidelné, avšak svírají někdy velký úhel s rovinou Galaxie, a na fotografiích spirálních mlhovin je vidět, jakoby se větve skládaly z jednotlivých částí. V některých místech jak směr protáhlosti, tak i polarisace se chovají velmi složitě, rychle se mění od místa k místu. Je možné, že v těchto oblastech bylo pole slabé a pohyby plynu značně zakřivilo siločáry. Ve větší části větví, jak vyplývá z existence protáhlých mlhovin, je pohyb látky regulován polem. Tento závěr, jenž byl předpokládán i dříve, ale v hypotetičtějším tvaru, poněvadž nebyl potvrzen přímým pozorováním, má velký kosmogonický význam.

Abychom dokázali tento význam, vrátíme se opět ke struktuře Galaxie a rozložení různých objektů. Výzkum naší a také jiných galaxií ukázal, že difusní mlhoviny — a jak se zdá — i mezihvězdná plynná mračna se koncentrují na spirálních větvích. Zároveň se i mlhoviny i mračna pohybují. Vzniká otázka, proč neopustí větve. Zvláště přítomnost dostatečně silného magnetického pole může vysvětlit, proč se plyn nerozptýlil po celé Galaxii. Ale tím nejsou vyčerpány všechny důsledky. Můžeme učinit ještě jeden závěr, týkající se vzniku hvězd. Žhavé obří hvězdy jsou podle všeho mladé hvězdy. Na to ukazuje za prvé množství energie, již vyzařují — zdroje energie nemohou vydržet takovou ztrátu během časového intervalu, podstatně převyšujícího 10 milionů roků. Za druhé, mládí žhavých hvězd vyplývá, jak ukázal akademik V. A. Ambarcumjan, z existence asociací, skupin hvězd, jež nejsou tak blízko u sebe, aby je vzájemná přitažlivost držela pohromadě. Asociace se musí rozpadnout za dobu řádově několika milionů roků — a jestliže se nerozpadly, potom je jejich stáří téhož řádu, jako doba rozpadu. Rozšiřování asociací bylo zjištěno pozorováním. Z čeho vznikají asociace? Jak vznikají hvězdy? Určitá odpověď na to dosud není. Jedni badatelé se domnívají, že hvězdy vznikají z mlhovin, jiní, že mlhoviny i hvězdy vznikají z jakýchsi třetích těles. Avšak skutečnost, že asociace i žhavé hvězdy se koncentrují na spirálních větvích, hovoří o tom, že látka, z níž vznikly asociace, existovala po celou dobu trvání Galaxie, t. j. během miliard roků na spirálních větvích, poněvadž je obtížné si představit mechanismus, jenž by shromažďoval rozptýlenou látku v Galaxii do spirálních větví. Tento závěr nezávisí na tom, kolik přeměn tato látka prodělala, účastnila-li se přeměny typu mlhovina — hvězda — mlhovina, nebo zůstala-li v nějaké formě do okamžiku přeměny ve hvězdu.

Neznáme v Galaxii síly, které by měly podstatný vliv na pohyb kompaktních objektů typu hvězd, nebo i méně hustých, mimo sil gravitace. Ale tyto síly působí tak, že všechny nepřilíhly těsné skupiny objektů se rozptýlí v rovině Galaxie. Udržovat objekty na spirálních větvích může jen magnetické pole, avšak jeho intenzita je taková, že udržuje jen poměrně zředěný plyn, jehož hustota je o mnoho řádů menší než hustota hvězd. Můžeme tedy předpokládat, že hvězdy i mlhoviny vznikají z objektů, jejichž vlastnosti jsou blízké mlhovinám. To však neznamená, že hvězdy vznikají z difusních mlhovin, poněvadž se při tomto vysvětlení setkáváme s mnoha obtížemi. Můžeme se jen domnívat, že hvězdy vznikly z jakýchsi difusních a ne hustých těles.

Přeložila Miroslava Široká