



Masarykova univerzita
Přírodovědecká fakulta



Studium rádiových bouří na Slunci a Jupiteru

Zdeněk Janák

Bakalářská práce

Brno 2009

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literatury uvedené v závěru práce.

Zdeněk Janák, v. r.
V Brně dne 28. května 2008

Shrnutí

Tato práce se zabývá vznikem rádiového záření Slunce a Jupiteru, jeho projevy v podobě rádiových bouří a jejich pozorováním pomocí přístroje JOVE. Cílem práce je popsat děje vedoucí ke vzniku rádiových bouří, jejich charakteristika a možnosti detekce běžně dostupným zařízením.

Klíčová slova

Slunce, Jupiter, rádiová bouře, JOVE.

Abstract

This work is concerned with the origin of radio emission of the Sun and Jupiter. It deals with the phenomenon of radio storms and its observation through the JOVE device. The aim of this work is to describe the process leading to the origin of the radio storms, its characteristics and ways to detect them by available devices.

Key words

Sun, Jupiter, radio storm, JOVE.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

„Vesmír je velký. Fakticky velký. To byste nevěřili, jak je hrozně obrovitánsky veliký, že z toho zůstává rozum stát. Myslíte si třeba, že drogerie ve vaší ulici je daleko, ale proti Vesmíru je to úplný houby. Tak poslouchejte...“

*Douglas Adams,
Stopařův průvodce Galaxií*

Obsah

1	Úvodem	9
1.1	Rádiová observatoř	9
1.2	Rádiové bouře	10
1.3	Dekametrové záření	10
1.4	Určení práce	10
2	Počátek radioastronomie	11
2.1	Objev rádiových vln	11
2.2	Objev rádiového záření z vesmíru	11
2.3	Objev rádiového záření Slunce	12
2.4	Objev rádiového záření Jupiteru	12
3	Rádiové záření	13
3.1	Elektromagnetické spektrum	13
3.2	Rádiové okno	13
3.3	Rádiové pásma	14
3.4	Zdroje rádiového záření	14
3.4.1	Tepelná emise	14
3.4.2	Cyklotronové záření	15
3.4.3	Synchrotronové záření	16
3.4.4	Brzdné záření	16
4	Rádiové záření Jupiteru	17
4.1	Magnetosféra Jupiteru	17
4.1.1	Interakce Jupiterovy magnetosféry s měsícem Ió	18
4.2	Rádiové bouře na Jupiteru	18
4.2.1	L-burst	19
4.2.2	S-burst	19
4.3	Předpovědi rádiových bouří	20
4.3.1	Délka centrálního poledníku	20
4.3.2	Lokalizované zdroje	20
4.3.3	Fáze Ió	20
4.3.4	CML-Ió diagram	20
4.3.5	Jovicentrická deklinace Země	23
4.4	Vlastnosti rádiových bouří	23
4.4.1	Emisní vzory	24
4.4.2	Polarizace záření	24
4.4.3	Charakteristika bouří	25
4.5	Zdroje rádiového záření	26

5	Rádiové záření Slunce	28
5.1	Klidné Slunce	28
5.2	Plazmové kmity	28
5.3	Rádiové bouře	29
5.3.1	Typ I	29
5.3.2	Typ II	29
5.3.3	Typ III	29
5.3.4	Typ IV	29
5.3.5	Typ V	30
5.3.6	Průběh erupce	30
5.4	Projevy rádiových bouří na Zemi	31
6	Radio JOVE	32
6.1	Rádiový přijímač	32
6.2	Anténa	34
6.2.1	Zapojení ve fázi	35
6.2.2	Zapojení v protifázi	36
6.2.3	Sfázované zapojení	37
6.3	Radio-SkyPipe	38
6.3.1	Virtuální observatoř	38
7	Vlastní pozorování	39
8	Závěrem	42

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Viktoru Votrubovi za hrdinskou odvahu a neskonalou trpělivost v jeho nelehké úloze. Dále Filipu Hrochovi za motivující poznámky, bez nichž bych tuto práci asi nikdy nedokončil. Mojí Klárce za nekončící důvěru a podporu a krásnou češtinu. A nakonec všem, že to ve zdraví přežili.

Zadání bakalářské práce

Slunce a Jupiter jsou nejjasnějšími objekty na obloze v krátkovlnném rádiovém oboru. Silná rádiová aktivita Jupitera úzce souvisí s jeho silným magnetickým polem a měsícem Ió, zatímco u Slunce je dána sluneční aktivitou. Rozlišujeme různé druhy rádiových bouří s rozdílnými charakteristikami. Jejich studium umožňuje hlubší pochopení mechanismu vzniku bouří a jeho vlivu na další charakteristiky okolí.

V rámci této bakalářské práce se student seznámí se základy pozorování Slunce a Jupitera v rádiovém oboru. S pomocí rádiového přijímače JOVE a vlastnoručně zkonstruované antény by pak měl provést sérii pozorování obou objektů, analyzovat pořízená data a vyhodnotit. Výsledky pozorování pak lze zkonfrontovat s daty pořízenými jinými observatořemi.

Mgr. Viktor Votruba, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

1 Úvodem

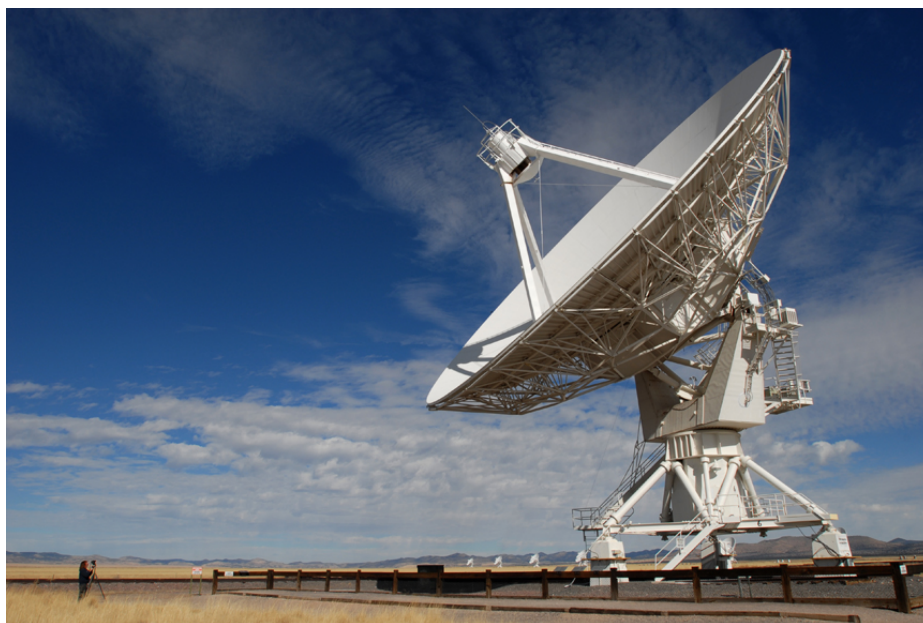
Elektromagnetické záření je často jediným zdrojem informací o nedosažitelně vzdálených vesmírných objektech. Dlouhou dobu se lidské bádání omezovalo jen na jednu jeho úzkou část – viditelné světlo, které jsme schopni přirozeně vnímat očima. Otevření nových *oken do vesmíru* nám umožnilo nahlédnout do dříve neviditelných zákoutí vesmíru a spatřit oblohu ve zcela novém světle.

Rádiové záření vzniká za odlišných podmínek než viditelné světlo, a tak nám dává možnost prozkoumat fyzikální děje v daném prostředí, které k jeho vzniku vedou.

1.1 Rádiová observatoř

Radioastronomie používá i zcela odlišné přístroje než klasická optická astronomie. Místo precizně vyleštěných zrcadel dalekohledů slouží k příjmu slabého signálu hrubé kovové talíře parabolických antén, prutové antény nebo jen obyčejný drát zavěšený nad zemí mezi pár dřevěných kůlů. Konstrukce rádiových teleskopů nebo celých anténních polí dosahují mnohdy enormních rozměrů.

Signál je registrován rádiovým přijímačem a dále zpracován. Může být rovněž převeden do zvukové podoby. To se najednou neviditelné části vesmíru stanou slyšitelnými. Je i možné rádiová data zobrazit, a to nejen jako graf intenzity signálu. Sice jen ve falešných barvách, ale pro člověka v mnohem atraktivnější podobě jako prostý obrázek.



Obrázek 1.1 Jedna z 27 obřích parabol radioteleskopů VLA (Very Large Array).

1.2 Rádiové bouře

Rádiový signál přijímaný od Slunce nebo Jupiteru má podobu slabého šumu. Dojde-li k náhlému zvýšení jeho intenzity, hovoříme o rádiové bouři.

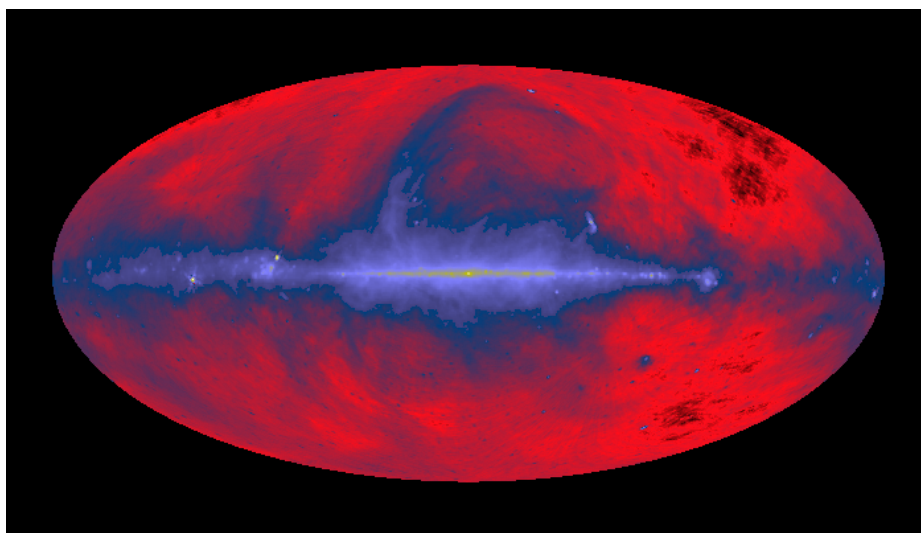
Rádiové bouře nemají nic společného s meteorologickými bouřkami, při kterých létají blesky a hřmí hromy. I když i ty se mohou projevovat rádiovým zářením.

1.3 Dekametrové záření

Ačkoliv vesmírná tělesa vyzařují rádiové záření v širokém rozmezí vlnových délek, v této práci se budu zabývat jen vznikem a registrací pomocí přístroje JOVE rádiového záření Slunce a Jupiteru s vlnovými délkami v řádu desítek metrů. Tyto spadají do takzvaného *dekametrového pásma*.

1.4 Určení práce

Tato práce si rozhodně neklade za cíl do detailu popsat všechny fyzikální procesy související s rádiovým zářením Slunce a Jupiteru. Spíše má pro čtenáře představovat odrazový můstek komplexně vysvětlující základní pojmy a jejich vzájemné souvislosti nutné k pochopení celé problematiky.



Obrázek 1.2 *Nezvyklý pohled na rádiovou oblohu. Takto vypadá vesmír kolem nás na frekvenci 408 MHz.*

2 Počátek radioastronomie

Radioastronomie je velmi mladé vědní odvětví. Zrodila se nečekaně v komerční a amatérské sféře, ale již záhy se dostala i do zorného pole zájmu vědců. Prudký rozvoj zažila po Druhé světové válce díky hojnosti už nepotřebné, ale přesto užitečné vojenské rádiové techniky. Dnes díky důmyslnější technice a modernímu zpracování informací přináší stále nové poznatky o vesmíru.

Pro sepsání této kapitoly bylo čerpáno převážně z [1].

2.1 Objev rádiových vln

Rádiové vlny zná lidstvo poměrně krátkou dobu. Za jejich objevitele můžeme považovat Heinricha Hertze, který mezi lety 1886–1889 experimentálně potvrdil Maxwellovy předpovědi o šíření elektromagnetických vln. Dokázal u nich stejné vlastnosti jako má světlo, tedy odraz, lom a stejnou rychlost šíření. Dal tak vzniknout dnešní všudypřítomné bezdrátové komunikaci.

Na jeho počest nese jeho jméno jednotka frekvence – hertz (Hz).

2.2 Objev rádiového záření z vesmíru

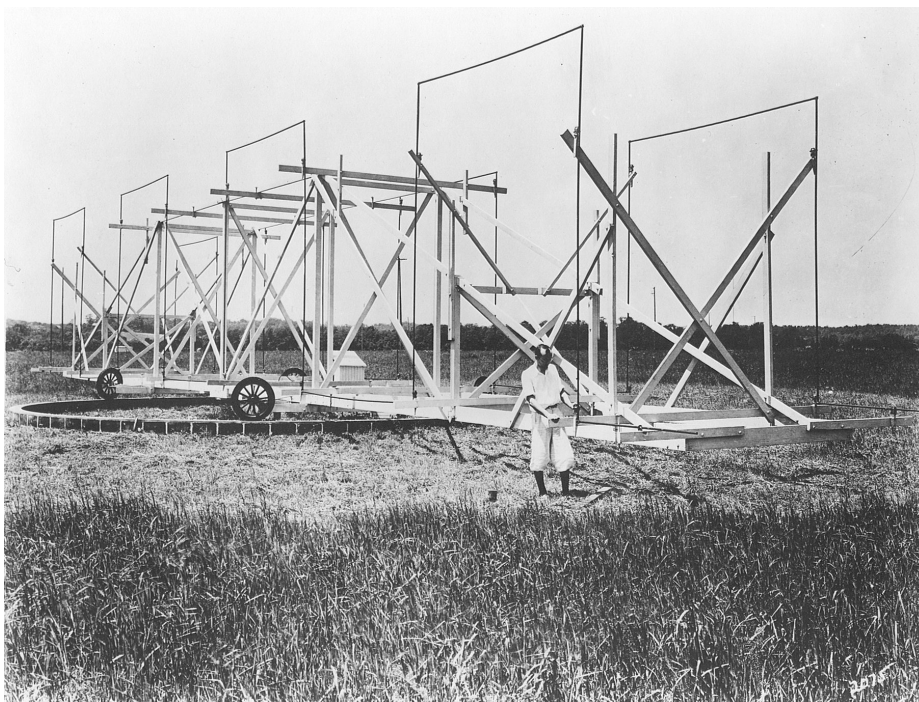
Zanedlouho, již od roku 1927, umožňovaly Bellovy laboratoře telefoní spojení mezi New Yorkem a Londýnem. Nejprve pomocí dlouhých rádiových vln o frekvenci 60 kHz a později kratšími vlnami v rozsahu frekvencí 10–20 MHz. Tato spojení však byla náchylná k poruchám. Odhalením příčiny těchto poruch byl pověřen Karl Guthe Jansky.

Za pouhých 75 dolarů se dalo telefonovat celé tři minuty.

Jansky ve svých měřeních na vlastnoručně zkonstruované rámové otočné anténě pracující na frekvenci 20,5 MHz rozpoznal tři druhy rušení. Příčinou prvních dvou byly elektrické výboje (blesky) z bouří, ať už místních nebo vzdálených, jejichž signál se šířil odrazem od ionosféry. Zdroj třetího typu rušení – kolísajícího šumu – nedokázal určit.

Perioda střídání maxima záhadného šumu o délce jednoho hvězdného dne (23 hodin a 56 minut) a směrovost jeho antény ho přivedla ke středu Galaxie – zdroji rádiového záření, který dnes známe pod názvem Sagittarius A. Jansky tak v roce 1932 odstartoval zrod nového oboru astronomie – radioastronomie.

Jeho objev však zůstal dlouhou dobu mezi astronomy nepovšimnut. Ti se o existenci rádiového záření, které přichází z vesmíru, dověděli teprve v roce 1940 od Grote Rebera – amerického radiotechnika, který detekoval rádiové záření Mléčné dráhy pomocí vlastní 9metrové parabolické antény.



Obrázek 2.1 Janskeho rámová anténa, se kterou jako první přijímal rádiové záření z vesmíru.

2.3 Objev rádiového záření Slunce

Rádiové záření Slunce bylo objeveno v roce 1942 za druhé světové války nezávisle obsluhou amerických a britských radarů, které ním byly rušeny. Jak se ukázalo, k rušení docházelo jen za dne, a když radarové antény mířily přímo na Slunce, kde se v té době nacházela velká skupina slunečních skvrn.

Tento objev však podléhal vojenskému tajemství, a tak se astronomové o rádiovém záření, které přichází od Slunce, dověděli až o rok později opět od Grote Rebera, který jej detekoval svým radioteleskopem, než ho musel pro nevoli sousedů rozebrat.

2.4 Objev rádiového záření Jupiteru

Rádiové záření od planety Jupiter bylo odhaleno v roce 1955 dvojicí astronomů Bernardem Burkem a Kennethem Franklinem. Ti jej objevili opět náhodou při kalibraci radioteleskopu pro rádiovou prohlídku oblohy na frekvenci 22,5 MHz. Jako referenční zdroj rádiového signálu využívali pulzar ve známé Krabí mlhovině ze souhvězdí Raka. Jupiter, který se nacházel ve vedlejším souhvězdí Blíženců, označili za zdroj rušivého signálu, který jejich měření negativně ovlivňoval.

O jedenáct let později, v roce 1964, astronomové odhalili komplikovanou souvislost mezi intenzitou rádiových bouří zaznamenaných u Jupiteru a polohou jeho měsíce Ió.

3 Rádiové záření

Elektromagnetickou vlnu můžeme charakterizovat její vlnovou délkou λ a ekvivalentní frekvencí ν . V dalším textu se omezím na popis rádiového záření převážně pomocí jeho frekvence.

Rádiové přijímače jsou většinou laditelné právě podle frekvence.

3.1 Elektromagnetické spektrum

Rádiové vlny včetně mikrovln jsou dlouhovlnnou částí elektromagnetického spektra s vlnovými délkami v rozmezí od jednoho milimetru až po sto tisíc kilometrů, což odpovídá frekvenci v rozsahu hodnot 3 Hz–300 GHz.

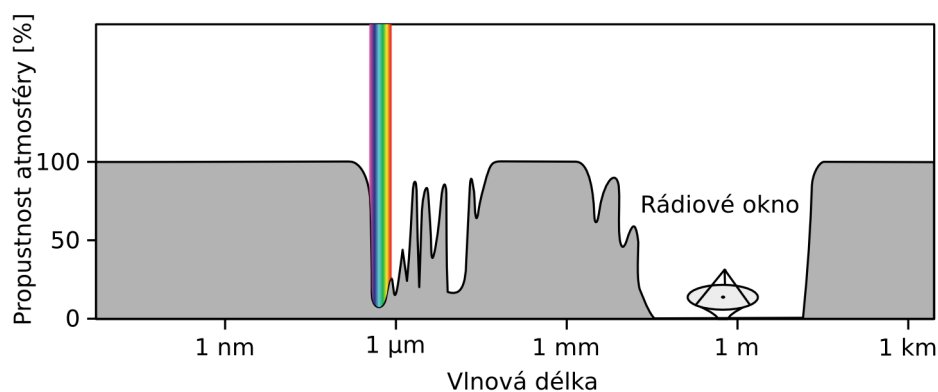
Frekvence ν elektromagnetického záření a jeho vlnová délka λ jsou svázány s jeho stálou rychlostí – rychlostí světla ve vakuu $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s jednoduchým vztahem

$$c = \lambda \nu . \quad (3.1)$$

3.2 Rádiové okno

Na rozdíl od gama, rentgenového, ultrafialového a infračerveného záření, pro které je zemská atmosféra téměř nepropustná, je možné rádiové záření z vesmíru přijímat na povrchu Země v poměrně širokém a spojitém rozmezí frekvencí, přibližně 10 MHz–30 GHz, což řádově odpovídá vlnovým délkám od centimetrů až po desítky metrů. Tento interval frekvencí, které jsme u povrchu Země schopni detekovat, nazýváme *rádiové okno*.

Zvláště jeho okraje nejsou pevně stanoveny a závisí na aktuálním stavu atmosféry, hlavně *ionosféry*. Mocnost ionosféry je přímo úměrná



Obrázek 3.1 Z obrázku je patrné, že rádiové okno je nejširší spojitá část elektromagnetického spektra, ve které jsme schopni na povrchu Země přijímat signály z vesmíru.

sluneční aktivitě. Její stav závisí i na denní době. Během noci, kdy od Slunce odvrácená strana zemské atmosféry není vystavena ultrafialovému záření ze Slunce, které je zodpovědné za vznik ionosféry, dochází k rekombinaci ionizovaných atomů tvořících ionosféru. Ta defacto zaniká a stává se průhlednou pro rádiové vlny.

Záření o vyšší frekvenci je pohlcováno molekulami plynů v atmosféře, převážně molekulami vody – H₂O a kyslíku – O₂ a dále pak molekulami dusíku – N₂ a oxidu uhličitého – CO₂. Naproti tomu rádiové vlny za dlouhovlnným okrajem rádiového okna jsou odraženy ionosférou zpět do kosmického prostoru.

Z těchto důvodů jsou pro radioastronomická pozorování vhodné zejména vysoko položené a hlavně suché oblasti.

3.3 Rádiové pásma

Rádiové záření není jen doménou vesmírných těles. Na Zemi je velice intenzivně využíváno v nejrůznějších oblastech průmyslu, nejvíce asi v telekomunikaci. Do dekametrového pásma spadají jednak *krátké vlny* s frekvencemi v rozmezí 3–30 MHz používané pro rádiovou komunikaci na střední a velké vzdálenosti a rozhlasové *krátké vlny*. Dále pak *velmi krátké vlny* o frekvencích 30–300 MHz. Na těchto frekvencích se vysílá frekvenčně modulované rozhlasové vysílání (známé FM) a některé televizní kanály.

3.4 Zdroje rádiového záření

Dnes je známo, kromě tepelné emise, vícero způsobů vzniku elektromagnetického záření. V souvislosti s rádiovými bouřemi jsou ale podstatné jen některé z nich.

3.4.1 Tepelná emise

Každé těleso zahřáté na určitou teplotu září spojitě ve všech frekvencích elektromagnetického spektra. Pro *absolutně černé těleso* popisuje hustotu zářivého toku v závislosti na frekvenci záření *Planckův zákon*

Tato část je sepsána podle [2].

$$B_{\nu}(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} . \quad (3.2)$$

Který pro nízké frekvence, kde platí

$$h\nu \ll kT ,$$

lze pomocí rozvoje

$$e^{hv/kT} \cong 1 + \frac{hv}{kT} + \dots$$

přepsat v *Rayleighův-Jeansův zákon*

$$B_{RJ}(v, T) = \frac{2v^2}{c^2} kT, \quad (3.3)$$

kde nepřítomnost *Planckovy konstanty* h naznačuje, že z korpuskulárně vlnového dualismu elektromagnetického záření převládají převážně jen vlnové vlastnosti.

Celkovou energii vyzařenou tělesem do okolí lze určit za pomoci *Stefan-Boltzmannova zákona*

$$B(T) = \sigma T^4, \quad \sigma = \frac{2\pi^4 k^4}{15c^2 h^3} = 1,8047 \cdot 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4}. \quad (3.4)$$

Frekvenci, na které těleso vyzařuje maximum energie, lze určit z upraveného *Wienova posunovacího zákona*

$$\frac{v_{\max}}{\text{GHz}} = 58,789 \left(\frac{T}{\text{K}} \right). \quad (3.5)$$

3.4.2 Cyklotronové záření

Dráha nabitě částice, která se pohybuje v homogenním magnetickém poli kolmo k vektoru magnetické indukce, je vlivem *Lorentzovy síly* zakřivena a částice je nucena obíhat kolem magnetických silokřivek po kruhové dráze s *cyklotronovou frekvencí* f_c závislou na jejím náboji Q , hmotnosti m a magnetické indukci přítomného magnetického pole B

$$f_c = \frac{Q}{m} B. \quad (3.6)$$

Svírá-li vektor rychlosti částice s vektorem magnetické indukce jiný než pravý úhel, bude se částice pohybovat po spirále s osou ve shodném směru s vektorem magnetické indukce.

Vyjádříme-li magnetickou indukci v jednotkách *gauss*, získáme pro elektron cyklotronovou frekvenci přímo v jednotkách MHz a vztah (3.6) se zjednoduší na tvar

Gauss je jednotka magnetické indukce v systému CGS (centimetr-gram-sekunda) a platí pro něj převodní vztah $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$.

$$f_c = 2,8 B . \quad (3.7)$$

V důsledku zákona zachování hybnosti vyzařuje magnetickým polem urychlovaná částice elektromagnetické záření o frekvenci rovné celočíselným násobkům cyklotronové frekvence. Jeho spektrum má proto čárovou strukturu.

3.4.3 Sychrotronové záření

Mechanismus vzniku sychrotronového záření je stejný jako u cyklotronového. Vzniká však u relativistických částic pohybujících se rychlostí blízkou rychlosti světla. Záření je vysíláno ve směru vektoru rychlosti částice a je výrazně polarizováno v rovině oběhu částice. Jeho spektrum je spojitě.

3.4.4 Brzdné záření

Pohybující se elektron, kdykoliv změní směr, vyzáří v důsledku zákona zachování hybnosti určité množství energie ve formě elektromagnetického záření. Ve hvězdném plazmatu, kde je volná dráha elektronu malá, dochází často ke srážkám elektronů s ionty nebo jinými elektrony, a ty tak vyzařují prakticky neustále.

Srážkou se myslí i změna směru částice v důsledku silového působení, bez vzájemného fyzického kontaktu.

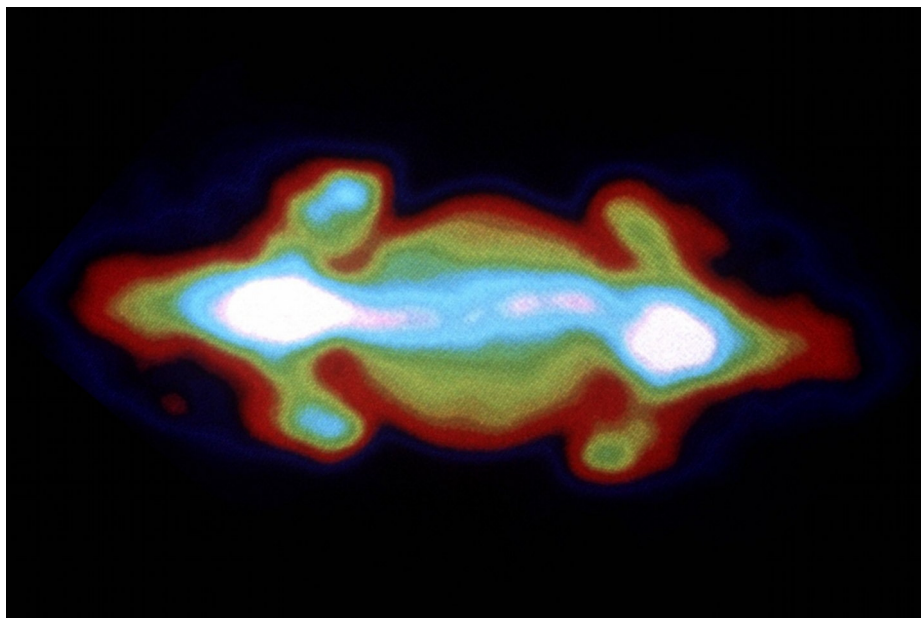
4 Rádiové záření Jupiteru

Planeta Jupiter je na obloze hned po Slunci druhé nejjasnější těleso v rádiovém oboru elektromagnetického spektra. Vděčí za to své rozsáhlé magnetosféře, která je největší strukturou v celé Sluneční soustavě.

Maximum energie v rádiovém oboru vyzařuje Jupiter na frekvenci 10 MHz. V závislosti na jejím stavu však ionosférou nižší frekvence než 10–15 MHz neproniknou a jsou odraženy zpět do vesmíru. Proto se pozemní pozorování rádiových bouří praktikuje nejběžněji v rozmezí frekvencí 18–22 MHz.

Na vyšších frekvencích síla a četnost zaznamenaných bouří strmě klesá. Horní hranice, za kterou již Jupiter v rádiovém oboru spektra nezáří, je 39,5 MHz.

Pro sepsání této kapitoly bylo čerpáno převážně z [3].



Obrázek 4.1 Pohled na planetu Jupiter a její okolí v rádiovém oboru elektromagnetického spektra vytvořený na základě údajů pořízených radioobservatoří VLA.

4.1 Magnetosféra Jupiteru

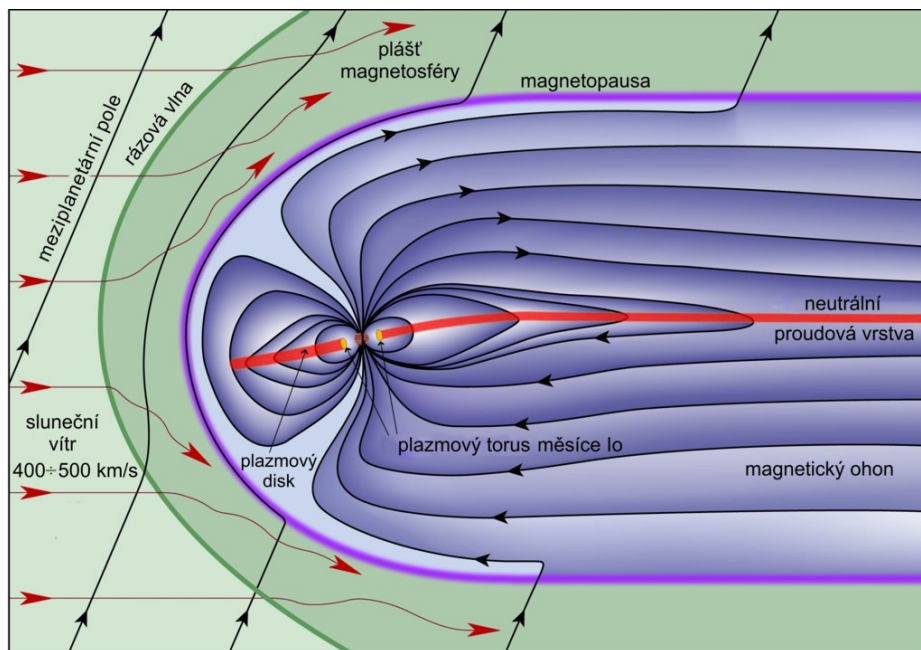
Za vznik silného magnetického pole planety je zodpovědné její nitro, kde se předpokládá oceán kapalného vodíku. Jeho vnitřní část je tvořena *kovovým vodíkem*. Atomy vodíku jsou v důsledku silného stlačení ionizovány a vykazují vlastnosti příslušející spíše kovům.

Vnější část oceánu je tvořena stlačeným molekulárním vodíkem a je považována za samotný povrch planety.

Magnetosféra dosahuje, na ke Slunci přivrácené straně, až do vzdálenosti 90násobku poloměru planety, který (rovníkový) činí 71 492 km,

tedy až do vzdálenosti zhruba 6 500 000 km. Předchází ji rázová vlna způsobená interakcí magnetického pole Jupiteru se slunečním větrem. Na odvrácené straně od Slunce dosahuje až k 5 astronomických jednotek vzdálené oběžné dráze planety Saturn.

Osa magnetosféry Jupiteru je od jeho rotační osy odkloněna o $9,6^\circ$. Střed magnetického dipólu je vůči středu planety posunutý o 0,131 Jupiterova poloměru.



Obrázek 4.2 Znárodnění rozsáhlé magnetosféry planety Jupiter.

4.1.1 Interakce Jupiterovy magnetosféry s měsícem Ió

Ió je jeden ze čtveřice největších Jupiterových (tzv. galileovských) měsíců. Z těchto čtyř se nachází k planetě nejbliže a je tak vystaven silnému působení slapových sil planety, které jej neustále deformují. Tím zahřívají a udržují tak Ió vulkanicky aktivní.

Z ionizovaných atomů, převážně síry, vyvrhovaných při sopečných erupcích až 200 km nad povrch měsíce se podél jeho oběžné dráhy kolem Jupiteru tvoří *plazmový torus*. V něm se uzavírá část *Birkelandových proudů* tekoucích podél silokřivek magnetického pole Jupiteru. Tyto proudy elektromagneticky ohřívají Ió a přispívají tak k jeho vulkanické činnosti.

Galileovské měsíce: Ió, Europa, Ganymed, Kalisto.

Birkelandovy proudy jsou proudy vzniklé pohybem iontů a elektronů s plazmatem v magnetickém poli.

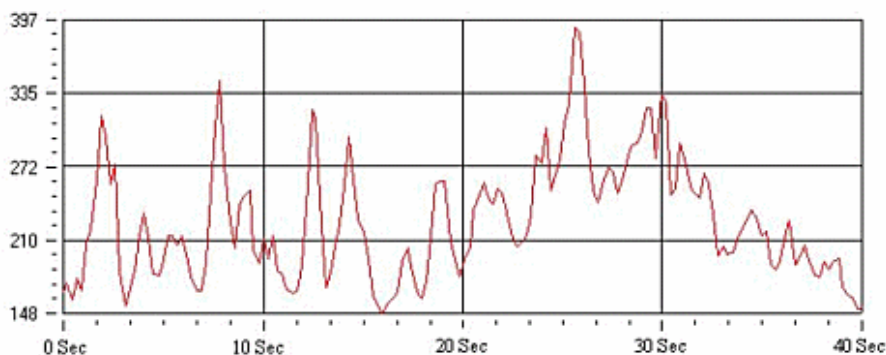
4.2 Rádiové bouře na Jupiteru

Rádiový signál vyslaný Jupiterem a přijímaný na Zemi má podobu šumu. Rádiové bouře se projevují jako náhle zesílení intenzity signálu,

keré může trvat od pár minut až do několika hodin. V záznamech rádiových bouří Jupiteru lze rozlišit dva typy náhlých vzplanutí. Během bouře se vzplanutí po určité době opakují. Bouře může být tvořena jen jedním typem vzplanutí, ale bývají obvyklé i jejich vzájemné kombinace.

4.2.1 L-burst

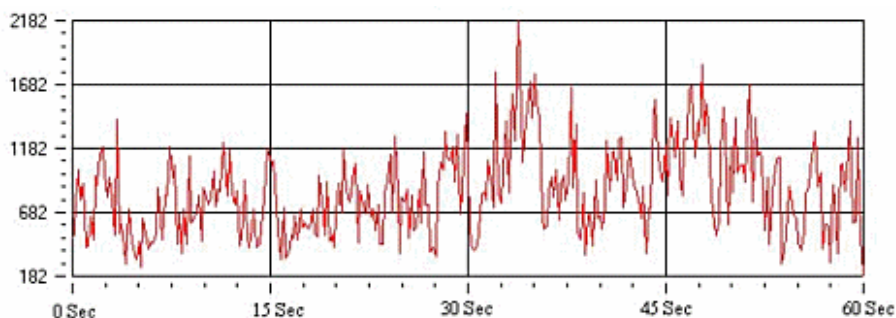
L(ong)-burst – dlouhé vzplanutí zní jako šumění vln na pláži. Trvá v rozmezí sekund až desítek sekund se znatelným opakujícím se nárůstem a následným poklesem intenzity. Je detekovatelné v pásmu o šířce několika MHz.



Graf 4.1 Ukázkový záznam dlouhého vzplanutí – L-burst.

4.2.2 S-burst

S(hort)-burst – krátké vzplanutí, znějící jako krupobyty při silné letní bouři, se může opakovat až několikrát za sekundu. Jeho šířka pásma je v rozmezí jednotek až desítek kHz. Frekvence záření se mění typicky s rychlostí 20 MHz/s od vyšší frekvence k nižší. Právě v důsledku vysoké driftovací rychlosti frekvence jsou S-burst úzkopásmovými přijímači zaznamenány jako krátké vzplanutí.



Graf 4.2 Ukázkový záznam krátkého vzplanutí – S-burst.

4.3 Předpovědi rádiových bouří

Ačkoliv tok rádiového záření od Jupiteru není ve své intenzitě ani čase stálý, lze rádiové bouře velice dobře předpovídat. Spolehlivost předpovědi ovlivňuje několik faktorů.

4.3.1 Délka centrálního poledníku

Pro určení planetární délky útvarů na Jupiteru se používá *délka centrálního poledníku* vůči směru k Zemi. Postupně vznikly tři systémy jejího určování. Systémy I a II vycházejí z doby rotace určené vizuálním pozorováním vrchních vrstev Jupiterovy oblačné atmosféry.

V souvislosti s rádiovým pozorováním Jupiteru se ale běžněji využívá *Systém III*. Ten je odvozený z doby rotace určené právě z rádiového pozorování a odpovídá tak rotaci Jupiterovy magnetosféry. Tato činí 9 h 55 m 29,685 s a je jen o 10 s kratší než doba rotace atmosféry.

Pro délku centrálního poledníku, anglicky Central Meridian Longitude, definovanou v systému III, budu dále používat běžnou zkratku CML III.

4.3.2 Lokalizované zdroje

Ve vztahu k CML III lze vysledovat tři oblasti původu rádiového záření na Jupiteru. Označují se jednoduše písmeny *A*, *B* a *C*. *Graf 4.3* zobrazuje relativní pravděpodobnost výskytu rádiových bouří v závislosti na CML III a znázorňuje tak rozložení jednotlivých oblastí. Tyto oblasti vázané na Jupiterovu magnetosféru jsou zdroji rádiového záření. Příčina jejich záření je však stále záhadou.

4.3.3 Fáze Ió

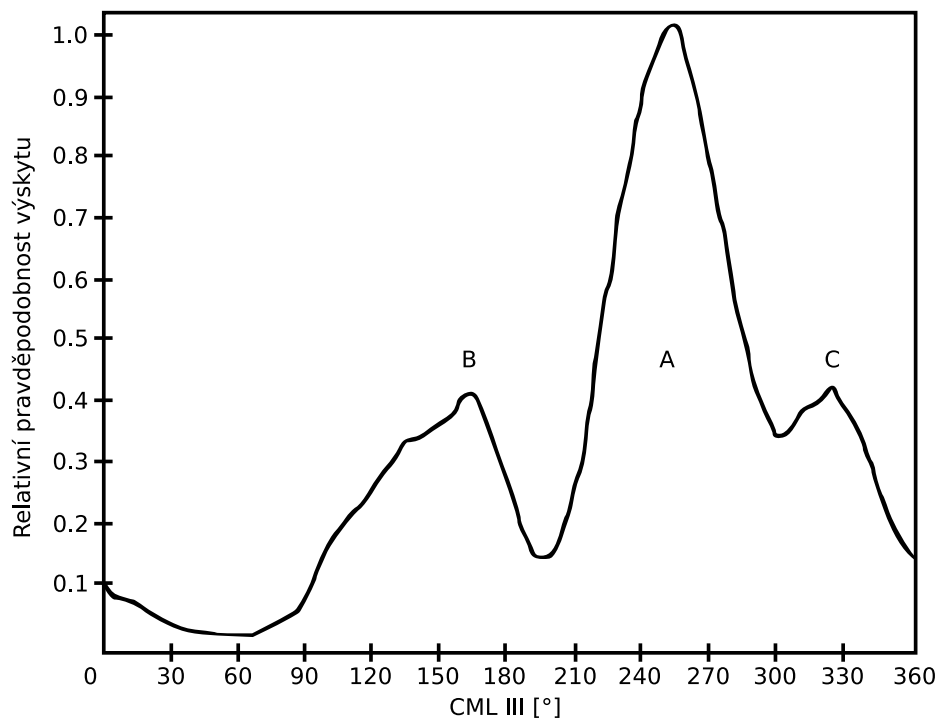
Pravděpodobnost výskytu a intenzita rádiových bouří je závislá nejen na CML III, ale velmi výrazně i na fázi Jupiterova měsíce Ió vůči Zemi. Fáze má počátek, když je Ió při pohledu ze Země v horní konjunkci s Jupiterem.

Graf 4.4 ukazuje dvě maxima relativní pravděpodobnosti výskytu rádiové bouře Jupiteru v závislosti na fázi měsíce Ió.

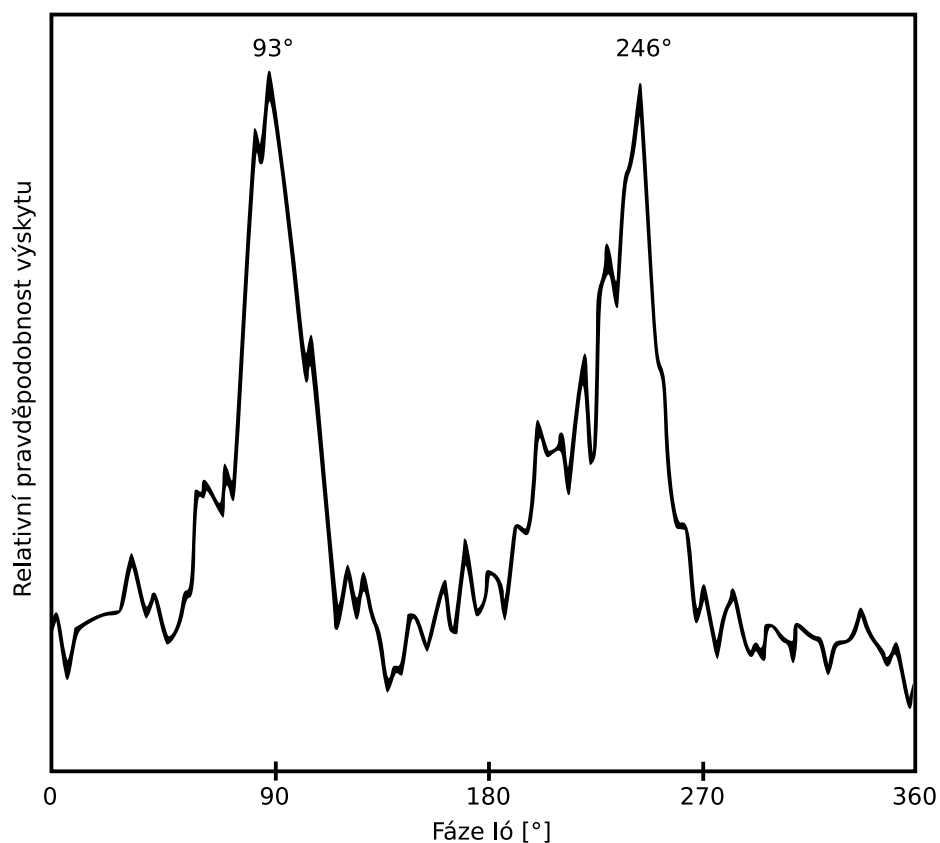
4.3.4 CML-Ió diagram

Zkombinováním obou faktorů do jednoho grafu získáme názorný diagram, ze kterého je patrné, při kterých kombinacích CML III a fáze Ió je největší pravděpodobnost výskytu rádiové bouře.

Rádiové záření Jupiteru

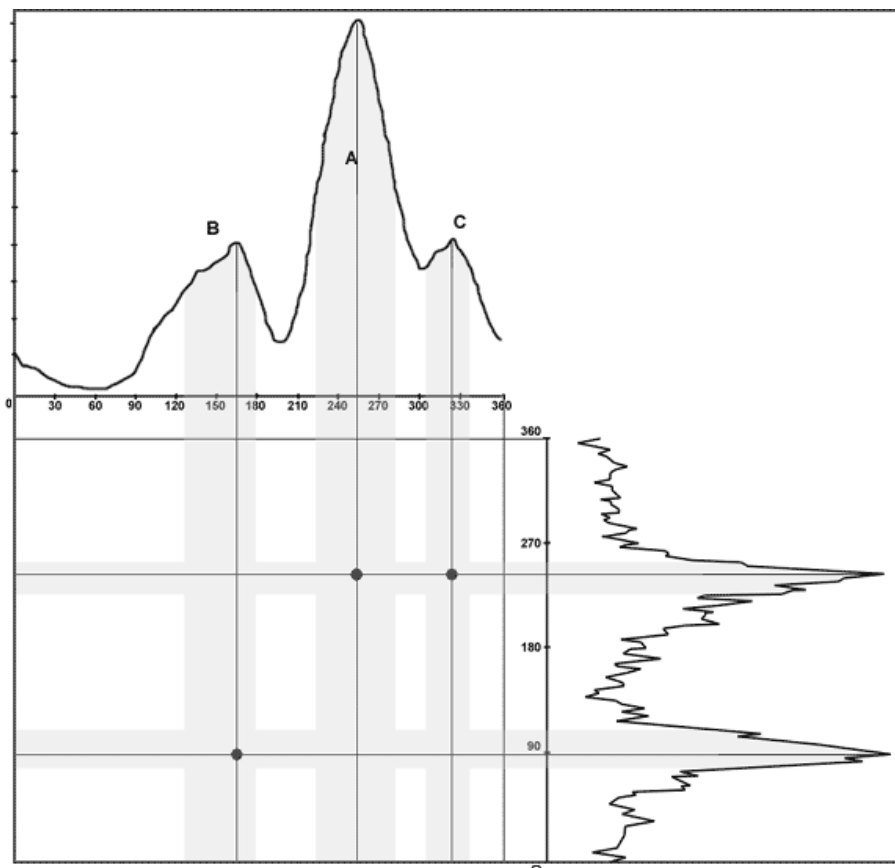


Graf 4.3 Závislost relativní pravděpodobnosti výskytu radiových bouří na CML III.



Graf 4.4 Závislost relativní pravděpodobnosti výskytu radiových bouří na fázi měsíce Ió.

V grafu 4.5 jsou vyznačeny tři oblasti vzájemného konstruktivního působení obou faktorů – příznivé CML III a fáze Ió. Ve shodě s pojmenováním aktivních oblastí daných CML III se tyto označují jako *Io-A*,



Graf 4.5 Vzájemný překryv vyšší pravděpodobnosti výskytu rádiové bouře v závislosti na CML III a fázi Ió určuje jejich vzájemné kombinace s největší pravděpodobností výskytu.

Io-B a *Io-C*. *Io*-související bouře charakterizuje nejen vysoká pravděpodobnost jejich výskytu, ale i větší intenzita přijímaného signálu. Právě *Io*-související bouře jsou středem zájmu rádiového pozorování Jupiteru. Ve zbylých překryvných oblastech nedochází k záření na frekvencích detekovatelných na Zemi.

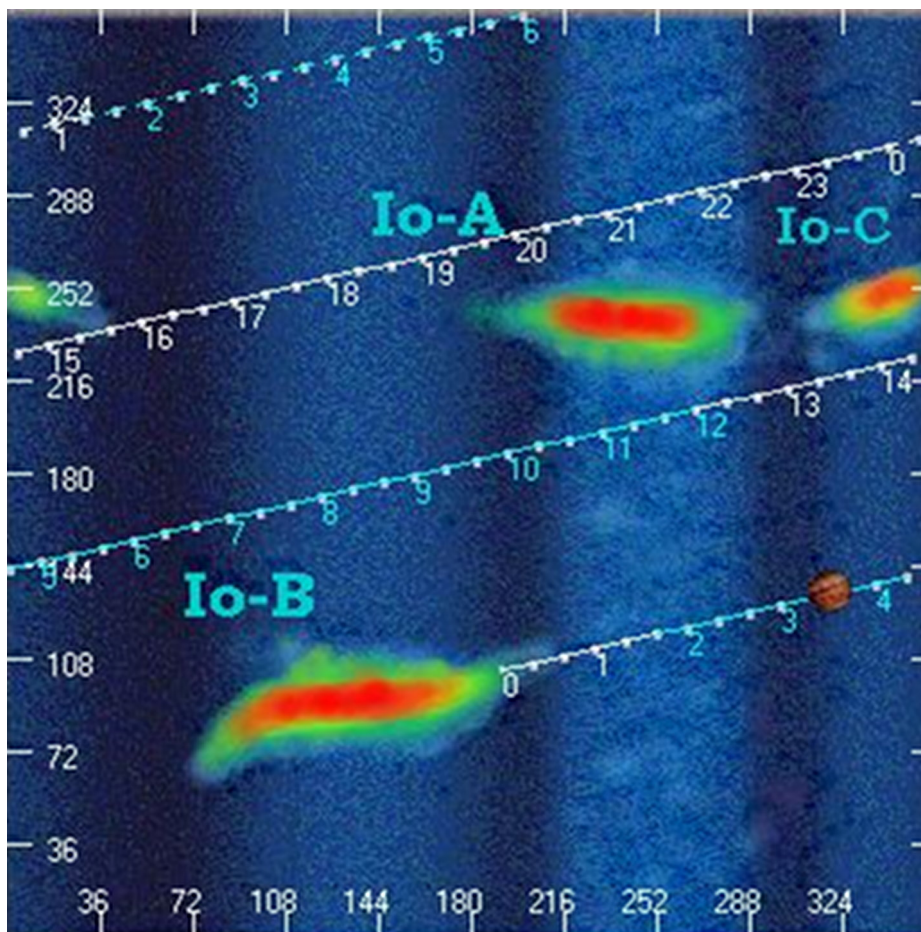
Tabulka 4.1 shrnuje kombinované předpoklady pro nejpravděpodobnější výskyt rádiových bouří.

Zdroj rádiové bouře	CML III [°]	fáze Ió [°]
A	200–290	
<i>Io-A</i>	200–290	195–256
B	90–200	
<i>Io-B</i>	90–200	75–105
C	290–10	
<i>Io-C</i>	290–10	225–250

Tabulka 4.1 Přehled vhodných kombinací hodnot CML III a fáze Ió pro nejvyšší pravděpodobnost výskytu rádiové bouře.

Názornou představu o aktuální konstelaci CML a fáze Ió si lze udělat z polohy planety Jupiter v CML-Ió digramu, jak je znázorněna na obrázku 4.3. Planeta se postupem času pohybuje šikmo vzhůru diagra-

mem zleva do prava. Velká pravděpodobnost výskytu rádiové bouře nastává, když planeta v diagramu prochází Ió-související oblastí.



Obrázek 4.3 Poloha planety Jupiter v CML-Ió diagramu jak jej vykreslil program Radio-Jupiter Pro 3 společnosti Radio-Sky Publishing (<http://www.radiosky.com>).

4.3.5 Jovicentrická deklinace Země

Sklon rotační osy Jupiteru k jeho oběžné rovině kolem Slunce je $3,13^\circ$. Sklon jeho oběžné roviny vůči ekliptice činí $1,3^\circ$. V důsledku toho se jovicentrická deklinace Země mění v rozmezí $\pm 3,3^\circ$. Ačkoliv je to malá hodnota, je její vliv na úspěšnou detekci rádiové bouře na Jupiteru velký. Během záporné deklinace je registrováno méně signálu od Jupiteru. Nejvíce je ovlivněn signál z oblasti A, která se nachází na severní polokouli Jupiteru. Ió-související signály jsou ovlivněny méně.

4.4 Vlastnosti rádiových bouří

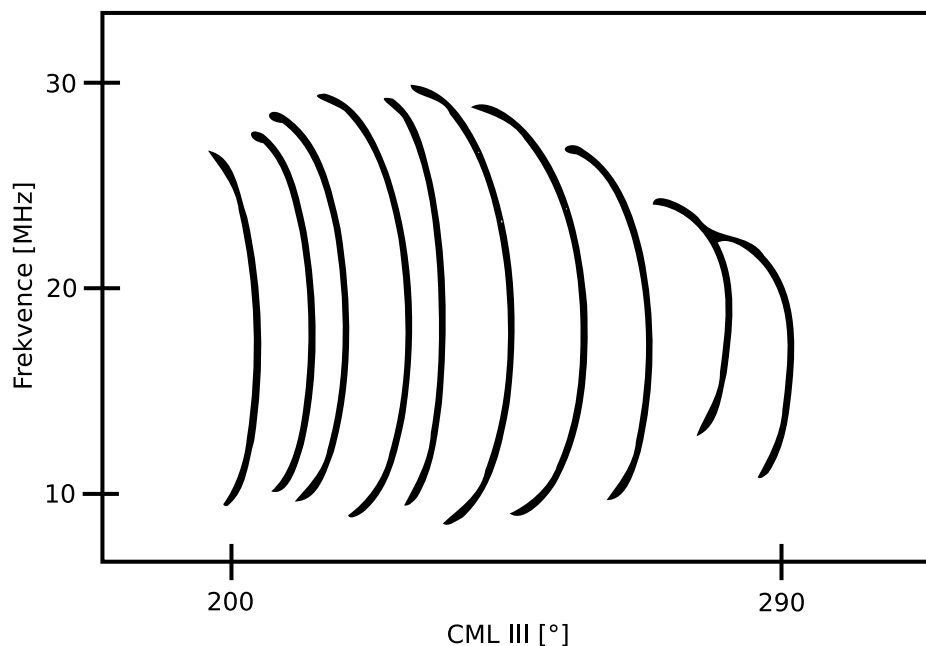
Tak jako jakékoliv jiné přírodní bouře jsou i ty rádiové na Jupiteru vždy unikátní. Přesto však pro ně existují společné charakteristiky.

4.4.1 Emisní vzory

Pro každou z Ió-souvisejících bouří lze sestavit emisní spektrum, tedy závislost frekvence záření na CML III. To je svou strukturou charakteristické pro jednotlivé druhy bouří.

Emisní spektrum Io-A bouře zobrazené v *grafu 4.6* se skládá z takzvaných *opožděných oblouků*, ve smyslu opoždění jejich maxima. Jejich šířka, tedy šířka pásma detekovaných frekvencí záření, napřed povolna roste, a dále prudčeji klesá.

V anglické terminologii se používá výraz „vertex-late arc“.



Graf 4.6 Emisní spektrum pro Io-A bouře.

Io-B bouře mají naprosto odlišné emisní spektrum, které zobrazuje *graf 4.7*. To je složeno z takzvaných *včasných oblouků* v podobě rovných linií. Šířka pásma přijímaných frekvencí záření postupně roste, aby v závěru bouře prudce klesla.

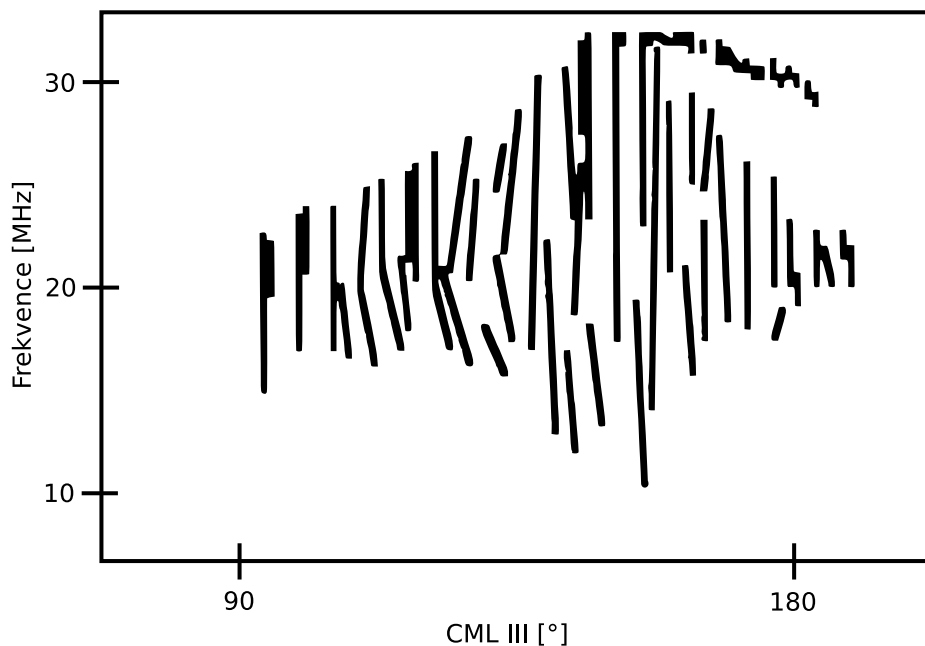
Jako opak k vertex-late arc se v anglické terminologii používá výraz „vertex-early arc“.

Emisní spektrum Io-C bouře zobrazené v *grafu 4.8* je jistou kombinací obou předchozích typů. Na počátku obsahuje velmi úzké včasné oblouky. Z většiny je ale tvořeno opožděnými oblouky, jejichž šířka postupně klesá.

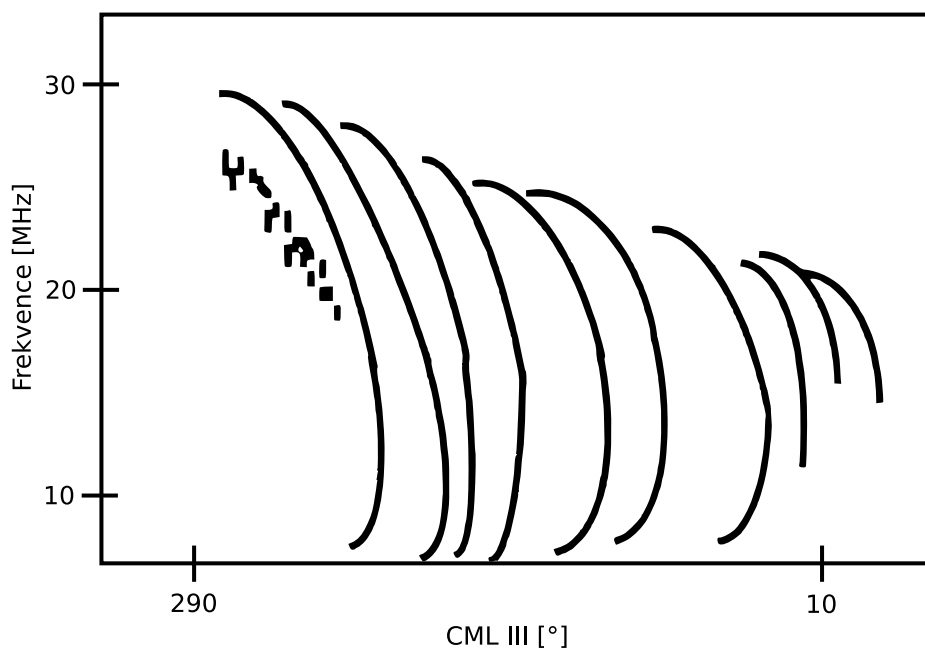
Z grafů je patrné, že aktivita během bouří není konstantní. Zesílení signálu se během bouře opakuje po 10–20 minutách.

4.4.2 Polarizace záření

Rádiové záření přicházející od Jupiteru rovněž vykazuje kruhovou polarizaci. Záření ze zdrojů A a B je zpravidla pravotočivě polarizované, zatímco záření ze zdroje C bývá často levotočivě polarizované.



Graf 4.7 Emisní spektrum pro Io-B bouře.



Graf 4.8 Emisní spektrum pro Io-C bouře.

4.4.3 Charakteristika bouří

A nyní – shrnutí všech charakteristik pro jednotlivé druhy bouří.

Io-A Bouře se skládají převážně z dlouhých vzplanutí L-burst. Záření je pravotočivě polarizované. Emisní spektrum je tvořeno oblouky s opožděným maximem. Šířka pásma napřed roste, a posléze klesá.

- Io-B** Bouře jsou tvořeny krátkými vzplanutími S-burst. Záření je pravotočivě polarizované a jeho frekvence klesá rychlostí 20 MHz/s. Emisní spektrum je tvořené časnými oblouky v podobě rovných linií. Šířka pásma postupně roste k maximu, po kterém prudce klesá. Záření dosahuje nejvyšší možné frekvence 39,5 MHz.
- Io-C** Bouře může být tvořena kombinací krátkých S-burst i dlouhých L-burst vzplanutí. Záření je levotočivě polarizované. Emisní spektrum obsahuje převážně oblouky s opožděným maximem, jejichž šířka pásma postupně klesá.

4.5 Zdroje rádiového záření

Se znalostí charakteristiky rádiových bouří na Jupiteru můžeme vyvozovat některé předpoklady pro jejich zdroje.

Jako mechanismus vzniku dekametrového rádiového záření Jupiteru se uvádí *cyklotronní maserová nestabilita*

„Cyklotronní maserová nestabilita – nestabilita v plazmatu, při které elektromagnetická vlna uspořádá fázi cyklotronního pohybu elektronů tak, aby emitovaly synchrotronní záření ve fázi s původní vlnou. Výsledkem jsou polarizované rádiové emise na frekvenci blízké cyklotronní frekvenci.“

Glosář Aldebaran
<http://www.aldebaran.cz>

Za vznik Ió-souvisejících bouří jsou odpovědné elektrony, které se spirálovitě pohybují v *proudové trubici* Ia, podél magnetických silokřivek Jupiterova magnetického pole. Tam jsou urychlovány silným elektrickým polem, vznikajícím v důsledku pohybu Ia v magnetickém poli Jupiteru. V polárních oblastech Jupiteru se efektem *magnetického zrcadla* odrážejí a vracejí se zpět v *dříve nabitou proudovou trubici*, která může být za proudovou trubici Ia opožděná až o 20°.

Pro označení proudové trubice Ia se používá zkratka IFT z anglického „Io Flux Tube“.

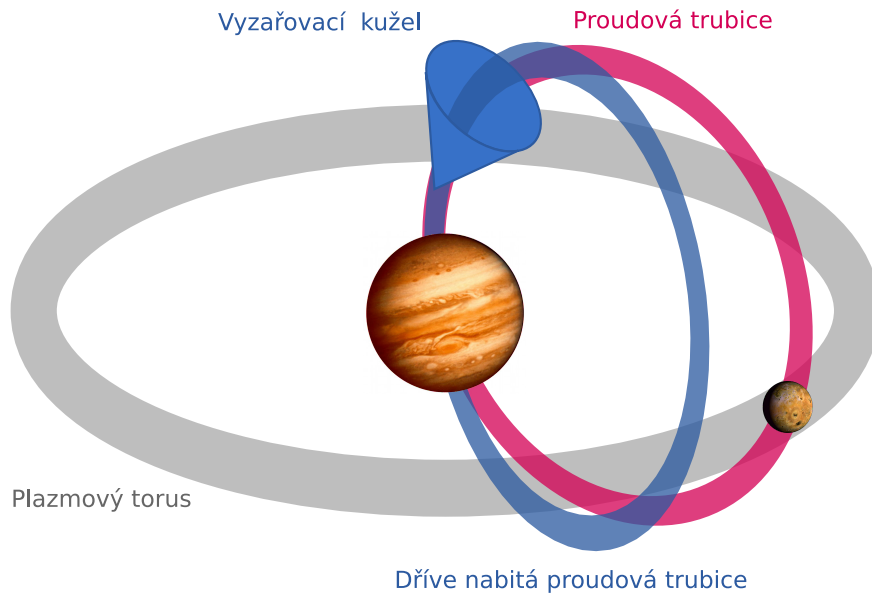
Anglický výraz pro dříve nabitou proudovou trubici Ia je „Previously Energized Flux Tube“, zkráceně PEFT.

Kroužící elektrony vyzařují kruhově polarizované synchrotronové záření o frekvenci jen mírně větší, než je jim příslušející cyklotronní frekvence daná vztahem (3.7) a jen ve směru dutého kužele s vrcholovým úhlem 70–80° a osou tečnou k magnetickým silokřivkám v místě vzniku záření. Na Zemi toto záření detekujeme právě tehdy, když je Země zasazena pláštěm tohoto kužele.

Záření o vyšší frekvenci vzniká v polárních oblastech Jupiterovy magnetosféry, kde jsou magnetické silokřivky hustější, tím pádem je i větší magnetická indukce a jí přímo úměrná cyklotronní frekvence elektronů. Naopak záření o menší frekvenci vzniká dále od planety.

Jelikož pozorujeme u krátkých vzplanutí Io-B bouří pouze pokles frekvence záření, vyplývá z toho, že záření emitují elektrony pohybující se směrem od Jupiteru.

Rádiové záření Jupiteru



Obrázek 4.4 Schématické znázornění situace při vzniku rádiového záření Ió-související bouře.

Pravotočivá polarizace záření z Io-A a Io-B bouří svědčí o tom, že se obě oblasti A i B nacházejí na stejné (severní) polokouli Jupiteru. Naopak oblast C projevující se Io-C bouřemi s levotočivě polarizovaným zářením se nachází právě na jižní polokouli.

Mezní maximální frekvence záření 39,5 MHz odpovídá podle vzorce (3.7) magnetické indukci asi 14 G, což je ve výborné shodě s hodnotou, kterou už před 20 lety naměřily sondy Voyager prolétající v těsné blízkosti planety Jupiter.

5 Rádiové záření Slunce

Slunce produkuje rádiové záření v širokém rozsahu frekvencí. Intenzita rádiového záření je úzce svázaná se sluneční aktivitou projevující se jedenáctiletým slunečním cyklem s nejvíce pozorovatelným projevem v počtu slunečních skvrn.

Pro sepsání této kapitoly bylo čerpáno převážně z [3] a [4].

5.1 Klidné Slunce

V období minima sluneční aktivity, kterým Slunce prochází právě v těchto letech, jsou variace v intenzitě rádiového záření Slunce minimální. Hlavním zdrojem rádiového záření Slunce je brzdné záření produkované srážejícími se elektrony v ionizovaném plazmatu.

Případnou nevýraznou proměnnost intenzity rádiového záření mají na svědomí *koronální díry* – řidší oblasti ve sluneční koróně a *koronální kondenzace* – naopak hustší oblasti koróny. Případně *filamenty* – podlouhlá oblaka chladnějšího plazmatu – uvězněná magnetickými silokřivkami vysoko nad slunečním povrchem, obklopená podstatně teplejším plazmatem koróny.

Menší hustota plazmatu v koronárních dírách, tedy nižší koncentrace částic, stejně jako menší teplota filamentu, vedou k menšímu počtu srážek částic a tím pádem i k menší intenzitě rádiového záření v dané lokalitě.

Slunečním povrchem se myslí fotosféra, odkud pochází většina slunečního záření, a která opticky ohraničuje sluneční kotouč.

5.2 Plazmové kmity

Za normálních okolností je elektrický náboj v určitém objemu plazmatu rozložený rovnoměrně a plazma se tak navenek jeví elektricky neutrální. Pokud se však elektrony budou vůči kladným iontům pohybovat například v důsledku vnějšího působení, dojde při obnově rovnováhy ke kmitání elektronů s frekvencí přímo úměrnou hustotě elektronů v plazmatu, která se nazývá *plazmová frekvence*.

Plazmatem může proniknout jen záření s vyšší frekvencí, než je plazmová frekvence. Frekvence detekovaného záření je tedy úměrná hustotě elektronů v plazmatu, potažmo hloubce ve sluneční atmosféře. Záření o vyšší frekvenci pochází z oblastí blíže k slunečnímu povrchu, než záření o nižší frekvenci.

5.3 Rádiové bouře

Výskyt slunečních rádiových bouří je často úzce svázaný se sluneční aktivitou. Aktivní oblasti na slunečním povrchu jsou zpravidla místa výskytu slunečních skvrn. K rádiovému záření detekovanému na Zemi nejvíce přispívají oblasti nacházející se v centrální části slunečního disku. Prvotní příčinou rádiové bouře bývá vznik sluneční erupce.

Během sluneční rádiové bouře můžeme rozlišit až pět druhů náhlých vzplanutí.

5.3.1 Typ I

Krátká 0,1–10 s trvající úzkopásmové vzplanutí. Vyskytují se nahodile během sluneční rádiové bouře a můžou se projevovat hodiny až dny.

5.3.2 Typ II

Vzplanutí trvající několik minut. Je způsobeno šokovou vlnou, vzniklou na vrcholu oblaku plazmatu vyvrženého při erupci vzhůru od slunečního povrchu do koróny. Ta v okolním plazmatu budí plazmové kmity. V důsledku pohybu do míst s nižší hustotou elektronů, a tedy i nižší plazmovou frekvencí, se frekvence záření posouvá směrem k nižším hodnotám rychlostí okolo 1 MHz/s. Záření je vysíláno jak na základní frekvenci odpovídající plazmové frekvenci kmitání elektronů, tak i na druhé harmonické frekvenci.

5.3.3 Typ III

Je způsobený rychle letícími elektrony, až třetinovou rychlostí světla, uvolněnými při samotném vzniku erupce. Elektrony způsobují kmity plazmatu, které září na základní i druhé harmonické lokální plazmové frekvenci. Vysoká rychlost pohybu elektronů se projeví i ve vysoké driftovací rychlosti frekvence záření – kolem 20 MHz/s.

5.3.4 Typ IV

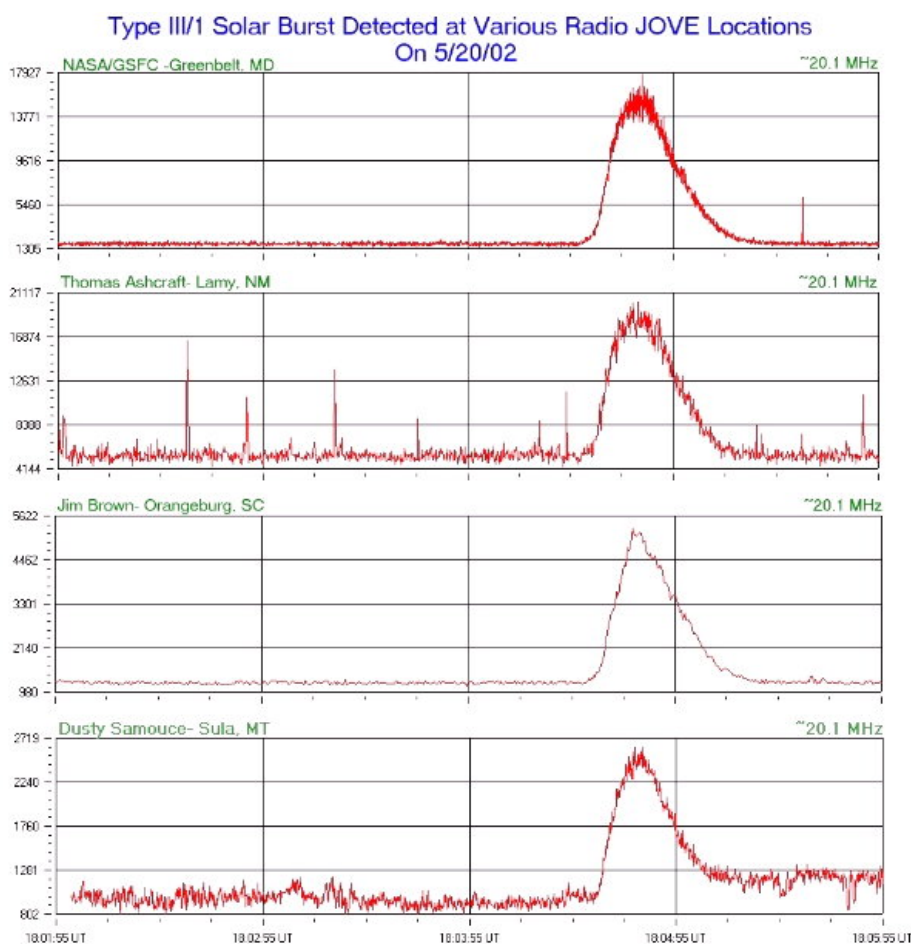
Dlouho trvající zesílení signálu projevující se v širokém rozmezí frekvencí. Obvykle následuje po vzplanutí typu II. Je způsobeno brzděným zářením elektronů v oblaku stoupajícího plazmatu.

5.3.5 Typ V

Zesílení rádiového pozadí, které může doprovázet vzplanutí typu III. Trvá nanejvýš pár minut a doba jeho trvání je nepřímo úměrná frekvenci.

5.3.6 Průběh erupce

Začátek erupce vždy provází vzplanutí typu III způsobené rychle letícími elektrony uvolněnými při anihilaci střídavě orientovaného magnetického pole. To může být doprovázené nevýrazným vzplanutím typu V. Jde-li o silnější erupci, projeví se pozorovatelným výronem hmoty a vzplanutím typu II stimulovaným pohybujícím se oblakem plazmatu. Následuje dlouhé vzplanutí typu IV. Během celé bouře se nahodile objevují krátká vzplanutí typu I. Šířka pásma vzplanutí typu II a III se postupně rozšiřuje i k nižším frekvencím. U typu III mnohem rychleji než u typu II.



Graf 5.1 Srovnání čtyř záznamů rádiového vzplanutí typu III pořizovaných pomocí přístroje JOVE ze dne 20. května 2002. Zobrazují typický průběh vzplanutí – prudký nárůst intenzity a její pozvolnější pokles.

5.4 Projevy rádiových bouří na Zemi

Samotné rádiové záření dorazí k Zemi za asi 8,5 minuty od svého vyzáření u Slunce. Díky své intenzitě projde jeho část ionosférou, která jinak většinu rádiového záření odrazí zpět do vesmíru. Přináší s sebou nejen informaci o právě probíhající erupci na Slunci, ale také varování o blížících se nabitých částicích uvolněných právě při sluneční erupci.

Pokud se aktivní oblast nachází blízko středu slunečního kotouče, je velká pravděpodobnost, že uvolněné částice do dvou dnů zasáhnou Zemi. Podél magnetických silokřivek zemské magnetosféry mohou sklouznout až do vrchních vrstev atmosféry, kde v lepším případě vyvolají polární záři a v horším zkrat na elektrickém vedení vysokého napětí.

Vzdálenost Slunce a Země je právě přibližně 8,5 světelných minut.

6 Radio JOVE

Projekt Radio Jove je iniciativou amerického Národního úřadu pro letectví a kosmonatiku – NASA. Spíše než přinášet seriózní vědecké výsledky je jeho cílem zapojit studenty i širokou, nejen radioamatérskou, veřejnost do pozorování a analýzy přírodního rádiového záření Slunce a Jupiteru. Pro snadný začátek a rychlé zapojení do projektu poskytuje NASA na svých stránkách množství užitečných informací a návodů, archiv pořízených dat z pozorování a v neposlední řadě i potřebné hardwarové a softwarové vybavení.

<http://radiojove.gsfc.nasa.gov>

Anténa i rádiový přijímač jsou navrženy pro práci v úzkém rozsahu frekvencí se středem na 20,1 MHz.

6.1 Rádiový přijímač

NASA nabízí možnost objednání přijímače ve formě stavebnice obsahující všechny potřebné součástky, včetně návodu pro vlastní sestavení za cenu \$ 120, nebo i rovnou sestavený a otestovaný přijímač za \$ 250.

K ceně je třeba přičíst ještě dalších \$ 40 za poštovné.

Kvůli poměrně vysoké ceně je logickým krokem nakoupení jednotlivých součástek a následné vlastní sestavení přijímače. To však naráží na zásadní technickou překážku v podobě nedostupnosti některých potřebných součástek mimo Spojené státy americké a obtížné hledání jejich vhodných ekvivalentů dostupných na evropském, natož českém trhu.



Obrázek 6.1 Pohled na rádiový přijímač JOVE z přední strany.

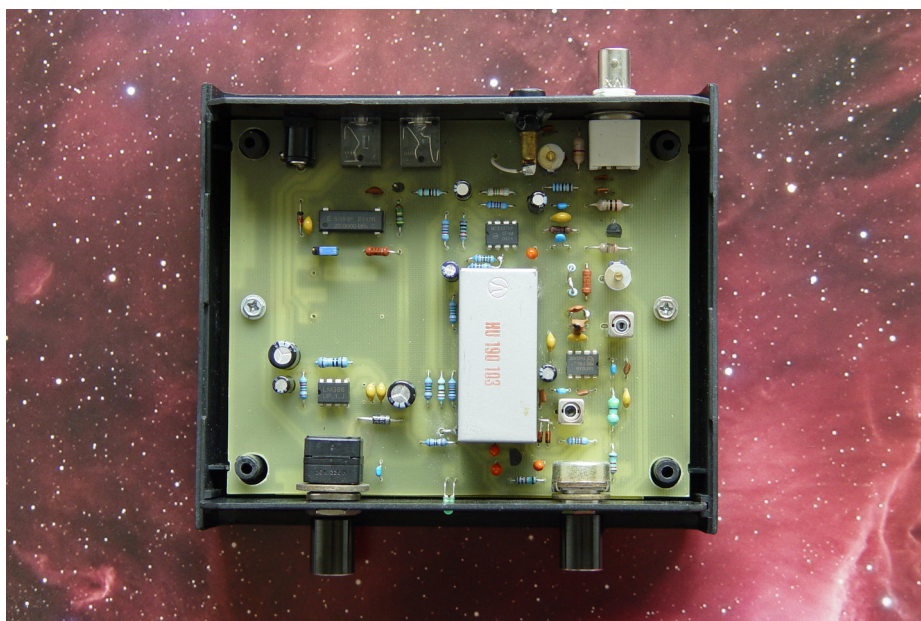
Přijímač je kompaktní a zároveň komplexní zařízení. Obsahuje, mimo jiné podstatné součásti, i zesilovač a pásmový filtr pro zesílení slabého signálu přijímaného od Jupiteru a odstínění rušivého signálu z okolí. Na vstupu přijímá signál z připojené antény a na výstupu poskytuje zvukový signál, který je možné vést na vstup zvukové karty v počítači a dále jej digitálně zpracovávat.

Na přední straně se nachází vypínač a zároveň regulátor hlasitosti. Di-oda signalizující zapnutý stav přijímače a druhý knoflík pro ladění přijímače.

Zadní strana přijímače obsahuje anténní vstup koaxiálního kabelu, zdířku pro nezbytné uzemnění přijímače a výstup zvukového signá-



Obrázek 6.2 Pohled na rádiový přijímač JOVE ze zadní strany.



Obrázek 6.3 Pohled dovnitř rádiového přijímače JOVE.

lu pro připojení ke vstupu zvukové karty počítače. Dále zde najdeme druhý výstup zvukového signálu pro přímé připojení sluchátek nebo reproduktoru a vstup pro napájení.

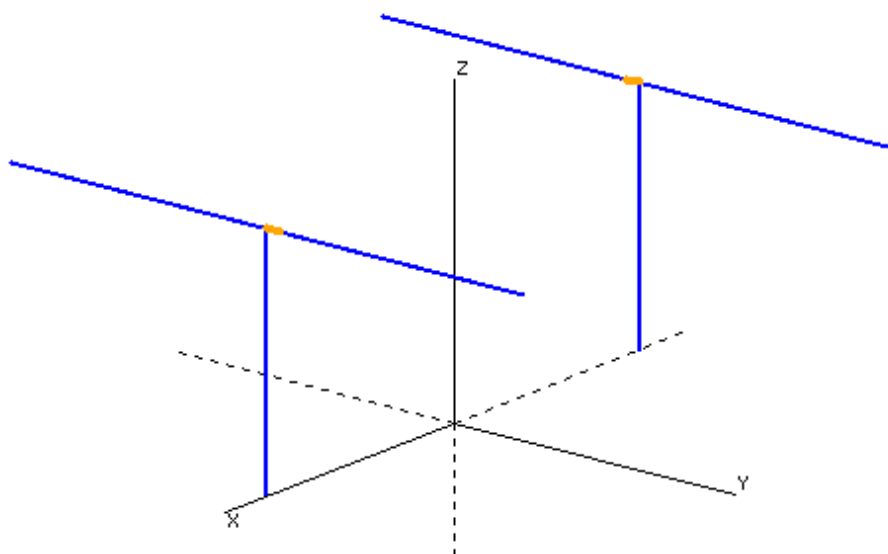
Přijímač je napájen stejnosměrným proudem o maximálním napětí 13,5 V. Dá se tedy připojit i k běžné autobaterii.

Na spodní straně přijímače se nachází zabudovaný reproduktor pro přímý poslech přijímaného signálu.

Uvnitř přijímače se nachází veškerá elektronika pevně napájená na jedinou desku tištěného spoje. Původní elektronické součástky jsou voleny tak, aby přijímač vykazoval co nejmenší vlastní šum, což je jeden z klíčových požadavků pro úspěšnou detekci rádiových bouří tímto přístrojem.

6.2 Anténa

Anténa pro příjem rádiového signálu od Slunce a Jupiteru je tvořena dvojicí sprážených vzájemně paralelních půlvlnných dipólů.



Obrázek 6.4 Schéma dvojité sprážené dipólové antény.

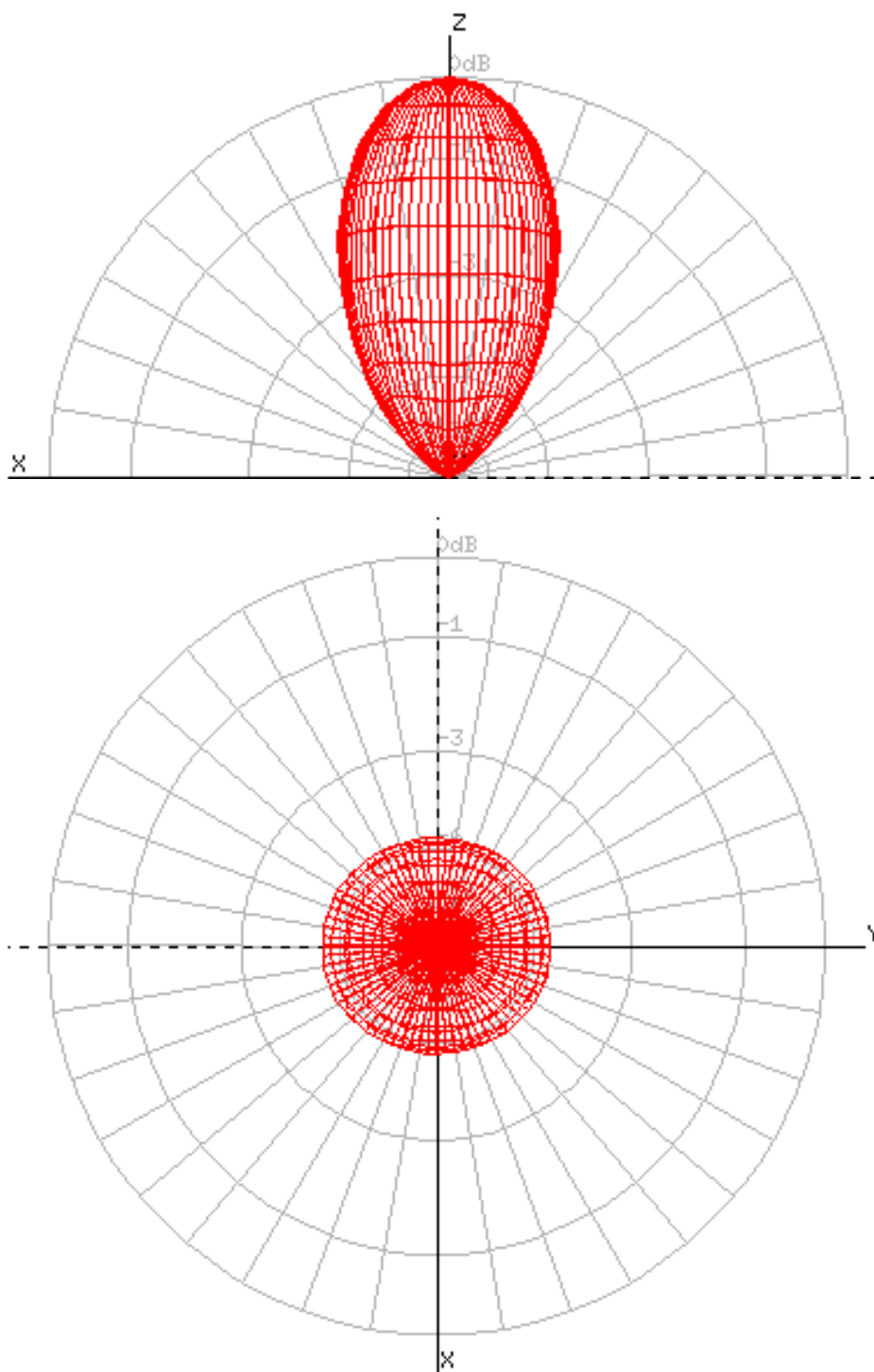
Pro její konstrukci je nejlepší využít měděný drát, který se zavěsí do potřebné výšky nad zem, kolem čtvrt vlnové délky. Oba dipóly se vzájemně spojí dvěma koaxiálními kabely o délce půl vlnové délky a k přijímači je signál veden koaxiálním kabelem o délce v celočíselných násobcích vlnové délky.

Anténa se většinou orientuje osou x v severo-jížním směru, aby směr jejího maximálního zisku mířil směrem kulminace sledovaného objektu.

Použití antény typu yagi, která by sice vykazovala větší zisk, však není vhodné pro její velké rozměry dané přijímanou vlnovou délkou.

6.2.1 Zapojení ve fázi

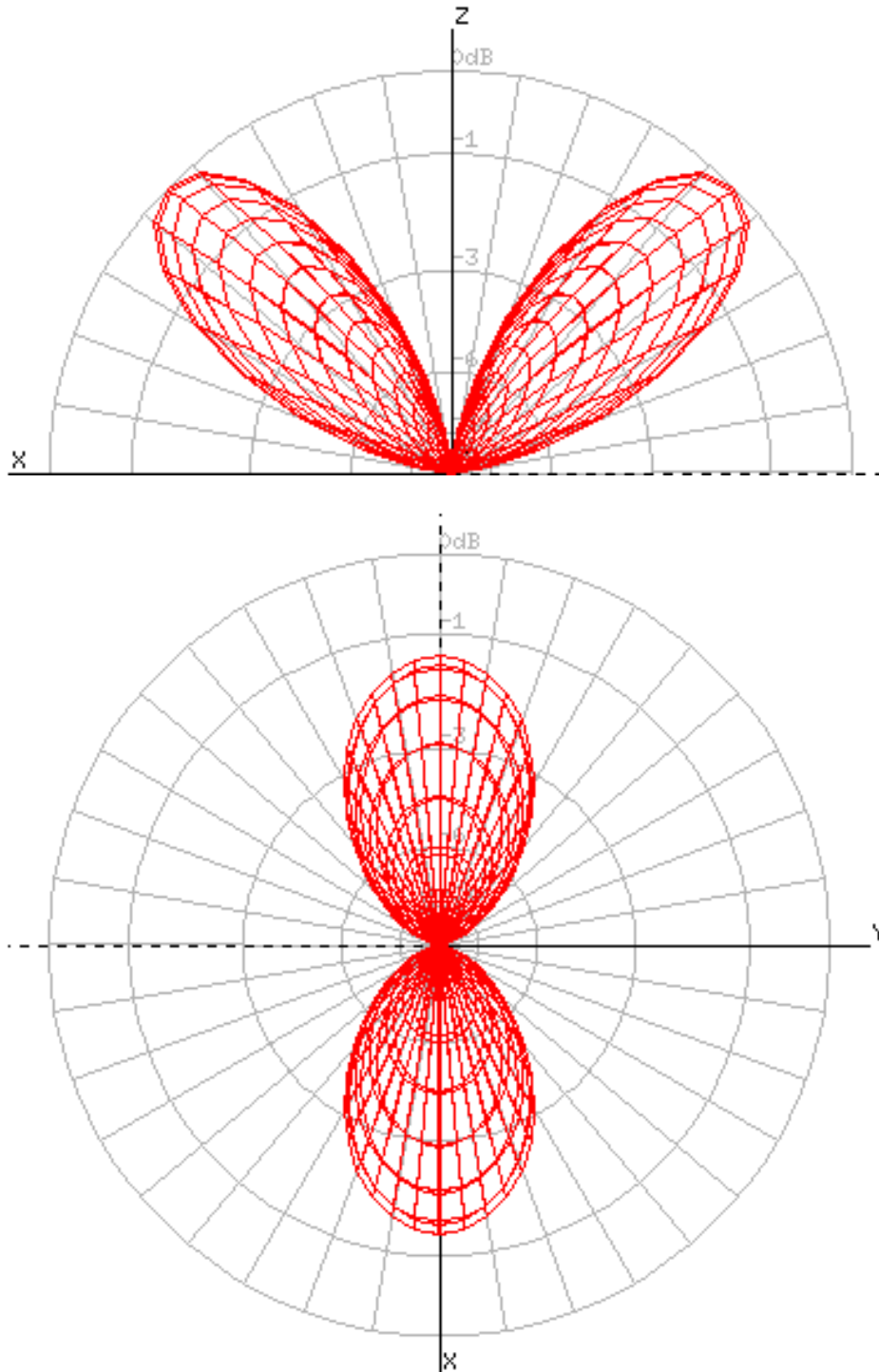
Když jsou oba dipóly zapojeny ve shodné fázi, je anténa v základní konfiguraci. Vyzařovací diagram antény je symetrický s maximálním ziskem ve směru osy z k zenitu. Tato konfigurace je výhodná, když se Jupiter během noci nachází vysoko nad obzorem.



Graf 6.1 Boční a vrchní pohled na vyzařovací diagram ve fázi zapojených dvou spřažených dipólů.

6.2.2 Zapojení v protifázi

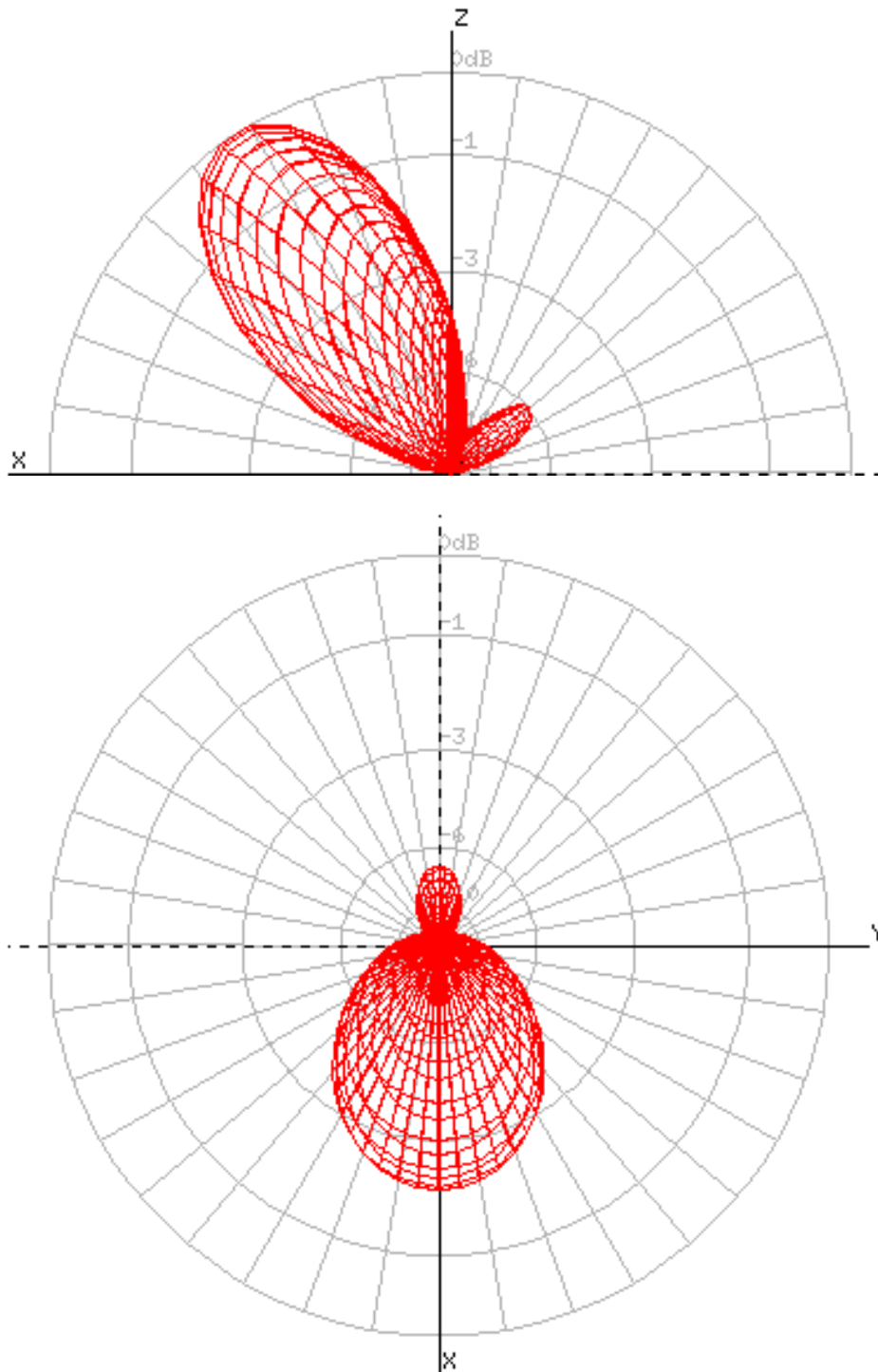
Druhou možností je zapojení obou dipólů vzájemně v protifázi. To se realizuje překřížením zapojení přívodního koaxiálního kabelu u jednoho z dipólů. V důsledku toho se vyzářovací diagram antény stane směrový v obou směrech osy x s maximálním ziskem ve výšce 45° stupňů nad obzorem.



Graf 6.2 Boční a vrchní pohled na vyzářovací diagram v protifázi zapojených dvou spřažených dipólů.

6.2.3 Sfázované zapojení

Zapojením fázovacího koaxiálního kabelu o délce čtvrt vlnové délky k přívodnímu koaxiálnímu kabelu jednoho z dipólu získáme převážnou směrovost vyzářovacího diagramu v jednom směru osy x . Výška maximálního zisku antény nad obzorem se dá mírně měnit její výškou nad zemí.

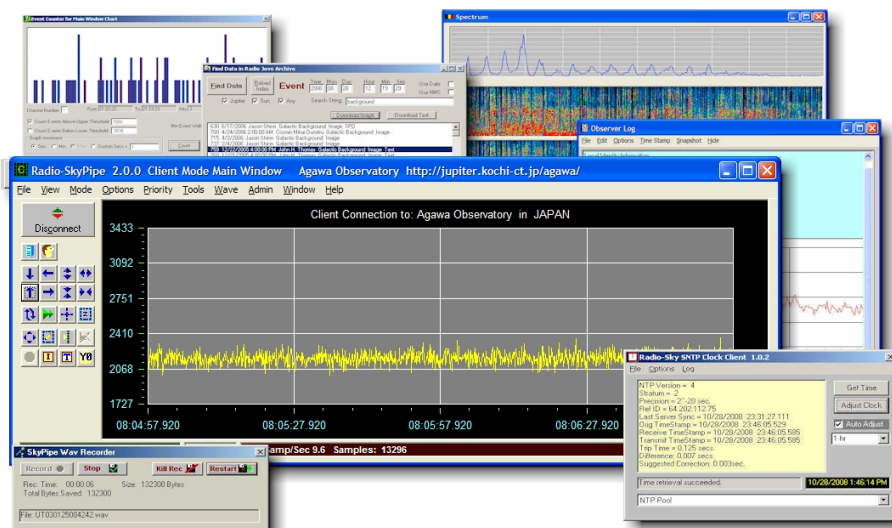


Graf 6.3 Boční a vrchní pohled na vyzářovací diagram sfázovaných ve fázi zapojených dvou spřažených dipólů.

6.3 Radio-SkyPipe

Radio-SkyPipe je software vyvinutý společností RadioSky Publishing pro záznam a analýzu audio signálu poskytovaného rádiovým přijímačem JOVE. Program je aktuálně k dispozici ve verzi 2.1. V základní verzi s minimem funkcí je dostupný zdarma, rozšířená verze za úplaty \$ 50.

<http://www.radiosky.com>



Obrázek 6.5 Snímek běžícího programu Radio-SkyPipe.

Program přijímá signál ze zvukové karty počítače, na kterou je přiveden zvukový záznam z rádiového přijímače JOVE. Ten v reálném čase vizualizuje jako graf intenzity signálu v závislosti na čase. Záznam je možné uložit ve zvukové i datové podobě pro pozdější použití.

6.3.1 Virtuální observatoř

Program může kromě standardního režimu, kdy zobrazuje signál z lokálně připojeného přijímače, běžet taky v režimu server, kdy záznam zpřístupní přes internet. Nebo naopak v režimu klient, kdy získává data od jiných běžících instancí programu v režimu server. Takto lze vybudovat virtuální síť vzájemně propojených pozorovatelů.

Hlavními poskytovateli dat online přes internet v rámci virtuální observatoře projektu Radio JOVE jsou

- Univerzity of Florida Radio observatory online
<http://ufro1.astro.ufl.edu>
- University of Hawaii Windward Community College Radio Observatory
<http://jupiter.wcc.hawaii.edu>

7 Vlastní pozorování

V létě roku 2007, jsem v rámci letní školy astronomie – Astronomické expedice, konané 3.–19. srpna 2007 postavil na pozemku Hvězdárny v Úpici anténní systém složený z dvou spřažených dipólových antén vzájemně zapojených v protifázi.

<http://expedice.astronomie.cz>



Obrázek 7.1 Anténní systém složený ze dvou spřažených dipólových antén pro příjem rádiových bouří ze Slunce a Jupiteru. Vlevo „radiostan“, který chránil cenné elektronické vybavení. Přítomná meteorologická budka posloužila jako zdroj elektrické energie. Foto: Marek Kolasa

Rozměry antény i spojovacích vodičů jsou určeny vlnovou délkou přijímaného záření. Ta je pro záření o frekvenci 20 MHz, pro kterou je anténa i přístroj optimalizován, 15 m.

Nosná konstrukce antény byla tvořena plastovým vodovodním potrubím přichyceným k dřevěným kůlům a zajištěna a napínána lany. Pro ramena dipólů (celkem anténu tvoří čtyři ramena, dvě tvořící každý dipól) o délce odpovídající jedné čtvrtině vlnové délky posloužil telegrafní drát. Ten se zavěsil mezi dva nosné sloupy navzájem vzdálené 8 m do výšky 3 m. Obě ramena dipólu byly k sobě vzájemně i na okrajích ke sloupům připevněny nevodivě.

Anténa byla orientována osou x v severo-j jižním směru. Drát dipólu byl tedy tažený od východu na západ. V prostřední části byl k dipólu připojený koaxiální kabel o délce odpovídající půl vlnové délky. Pokud byl k východnímu rameni dipólu připojen *vnitřní vodič* a k západnímu *vodivé opletení* koaxiálního kabelu, muselo být zapojení protějšího dipólu opačné, aby byla anténa zapojená v protifázi. V místě připojení koaxiálního kabelu k anténě byl jeho konec opatřen *feritovým prstencem*, který slouží k eliminaci ztrátového vyzařování energie na konci vodiče.

Na stavbu byl použit koaxiální kabel o impedanci 50Ω .



Obrázek 7.2 Připojení koaxiálního kabelu opatřeného feritovým prstencem k telegrafním drátům tvořícím jednotlivé ramena dipólu.

Půlvlňné koaxiální kabely byly vzájemně spojeny spojkou ve tvaru písmene „T“ a k přijímači vedl signál už jen jediný koaxiální kabel o délce odpovídající jedné vlnové délce.

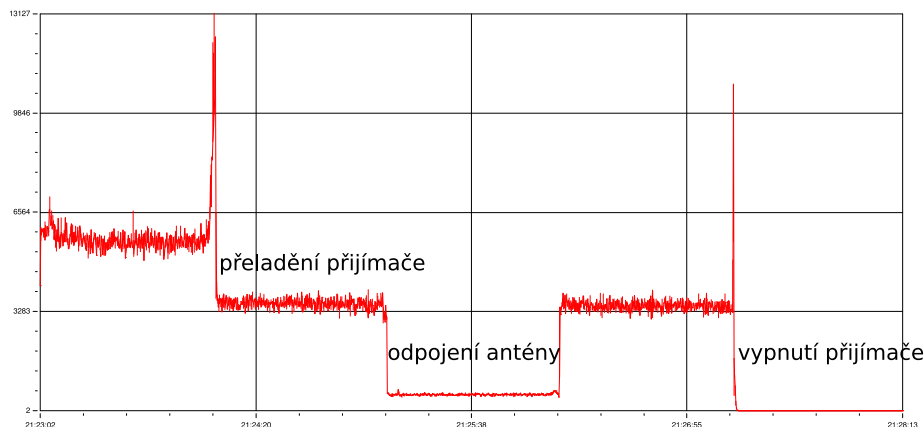


Obrázek 7.3 Vzájemné propojení koaxiálních kabelů. Z postranních vodičů přichází signál z jednotlivých dipólů antény, který je veden k přijímači už jediným koaxiálním kabelem.

Jako přijímač jsem měl k dispozici prototyp sestavený ve spolupráci Ing. Janem Grillem. Tento ojedinělý kus byl sestaven ve velice krátké době a nebyl důkladně otestován. Po připojení k anténě a prvních měřeních se ukázalo, že signál vykazuje příliš velký šum.

Graf 7.1 zobrazuje asi pěti minutový záznam přijímaného signálu. Po přeladění přijímače v celém rozsahu frekvencí 19,9–21,3 MHz je vidět pokles intenzity signálu, ten je tedy závislý na právě naladěné frek-

venci. Po odpojení antény klesne intenzita výrazněji a je vidět nezanedbatelný šum samotného přijímače. Po vypnutí přijímače je hodnota signálu nulová, takže na zvukové kartě počítače žádný dodatečný šum nevzniká.



Graf 7.1 Záznam přijímaného signálu s výraznými změnami intenzity při přeladění přijímače a odpojení antény.

Pro úspěšnou registraci signálu z rádiových bouří na Slunci a Jupiteru je nezbytné, aby celá aparatura skládající se z antény a rádiového přijímače vykazovala co nejmenší vlastní šum.

Žel se nepodařilo odhalit, kde se skrývala příčina vysokého šumu. Mohlo jít o chybu v konstrukci antény, stejně jako samotného přijímače. Na vině mohla být i nevhodná volba součástek použitých v přijímači jako náhrada za nedostupné originální díly.

A v neposlední řadě i velké „rádiové znečištění“ z pozemních zdrojů rádiového záření. Různé mechanické a elektrické zařízení mohou produkovat rádiové záření, které interferuje s přijímaným signálem a působí tak rušení. Zdrojem tohoto rušivého signálu jsou například transformátory vysokého napětí, ventilace budov, výbojové zářivky veřejného osvětlení nebo krátkovlnné rádiové vysílání.

Nejen světelné, ale i rádiové znečištění je velkým problémem moderní astronomie.

V místě pozorování jsem taky identifikoval několik lokálních, širokopásmových zdrojů rádiového záření pravidelně přispívajících k rušivému šumu.

Rok 2007 nebyl ani nejvhodnějším z hlediska pozorovacích podmínek. Jupiter zapadal už čtyři hodiny po západu Slunce a během noci se nacházel na obloze s výraznou zápornou deklinací, tudíž jeho výška nad obzorem nedosahovala ani 20° a nacházel se tak ve směru jen malého zisku antény. Slunce se nacházelo v minimu své aktivity a tak i jeho rádiová aktivita byla utlumená.

Minimální možné deklinace dosáhl Jupiter hned další rok.

Během dvou týdnů se tak žel nepodařilo úspěšně zaznamenat jedinou rádiovou bouří, ať už původem ze Slunce nebo Jupiteru.

8 Závěrem

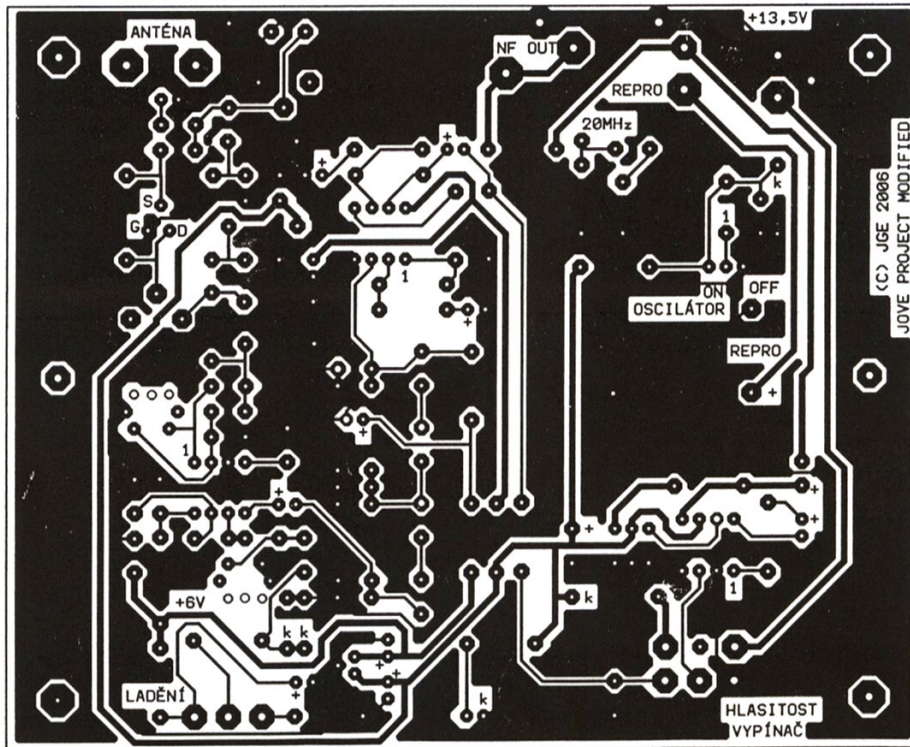
Rádiový přijímač JOVE je relativně dostupné a nikterak na sestavení komplikované zařízení. Při jeho modifikaci pro použití se součástkami dostupnými na českém trhu se však ukázalo, že některé zvolené součástky nemají shodné vlastnosti jako ty původní navržené. Přijímač tak vykazoval příliš velký šum a proto se nepodařilo detekovat slabé záření ze Slunce nebo Jupiteru.

Další nešťastnou komplikací byla nízká sluneční aktivitou a tudíž malý výkon Slunce v rádiovém oboru v době pozorování. Jupiter se na obloze nacházel nízko nad obzorem a tedy ve směru malého zisku antény. V okolí pozorovacího stanoviště se ukázalo být několik lokálních zdrojů rádiového signálu, které se projevily výrazným rušením.

I přes počáteční neúspěch bych se chtěl dále věnovat rádiovému pozorování Slunce a Jupiteru a registraci jejich rádiových bouří. A v budoucnu vytvořit trvale pracující rádiovou observatoř poskytující online záznam pozorování pomocí originálního přístroje JOVE.

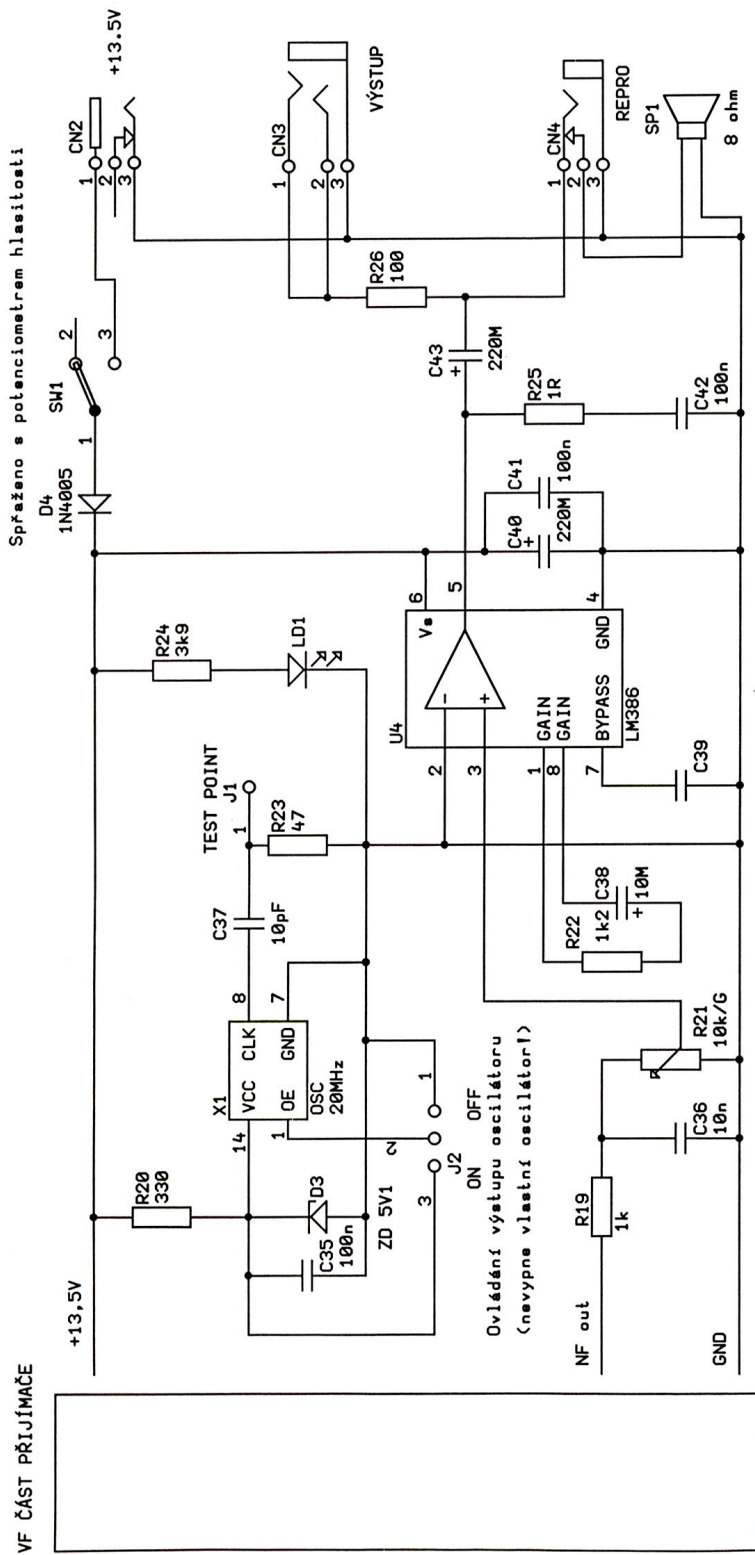
Přílohy

Po konzultaci s Ing. Janem Grillem vzniklo upravené schéma zapojení přijímače JOVE. Přikládám šablonu tištěného spoje a zvláště schéma zapojení nízko frekvenčního a vysoko frekvenčního obvodu přijímače.



VYTVORENO NAVRHOVYM SYSTEMEM FORMICA 4.30
STAV 16.7.2006 135x110mm KRABICKA KP06 GME

Obrázek 8.1 Šablona tištěného spoje upraveného přijímače JOVE.



NF ČÁST PŘIJÍMAČE JOVE PROJECT

⟨MODIFIKOVÁNO PRO DOSTUPNÉ SOUČÁSTKY - STAV 17.7.2006⟩

Obrázek 8.2 Schéma nízko frekvenčního obvodu upraveného přijímače JOVE.

Použitá literatura

- [1] VERSCHUUR, Gerrit. *The Invisible Universe : The Story of Radio Astronomy*. 2nd edition. New York : Springer, 2007. 156 p. ISBN 978-0387-30816-6.
- [2] WILSON, T.L., ROHLFS, K., HÜTTEMEISTER, S. *Tools of Radio Astronomy*. 4th edition. Berlin : Springer, 2009. 515 p. ISBN 978-3-540-85121-9.
- [3] FLAGG, Richard S. *Listening to Jupiter : A Guide for the Amateur Radio Astronomer*. 2nd edition. Radio-Sky Publishing, 2005.
- [4] KIPPENHAHN, Rudolf. *Odhalená tajemství Slunce*. 1. vydání. Praha : Mladá fronta, 1999. 275 s. ISBN 80-204-0805-3.

Užitečné odkazy

- NASA's Radio JOVE Project
<http://radiojove.gsfc.nasa.gov>
- Radio Astronomy for Scientists Teachers and Students
<http://www.radiosky.com>
- Jupiter Radio Astronomy – Information about Planetary Radio Emissions and the RadioJOVE Jupiter Radio Telescope
<http://www.jupiterradio.com>
- Univerzity of Florida Radio observatory online
<http://ufro1.astro.ufl.edu>
- University of Hawaii Windward Community College Radio Observatory
<http://jupiter.wcc.hawaii.edu>

Použité obrázky

- Obrázek 1.1** Astronomy Picture of the Day
A Big Dish at the VLA Radio Observatory
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap061129.html>
- Obrázek 1.2** Astronomy Picture of the Day
The Radio Sky: Tuned to 408MHz
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050205.html>
- Obrázek 2.1** National Radio Astronomy Observatory
National Radio Astronomy Observatory Archives
http://www.nrao.edu/archives/NRAO/nraorecords_item_jantproj.shtml
- Obrázek 3.1** Wikipedia, the free encyclopedia
Radio window
http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_window
- Obrázek 4.1** Astronomy Picture of the Day
Radio Jupiter
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap031009.html>
- Obrázek 4.2** Aldebaran
Jupiter
<http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/sunsystem/jupiter.html>
- Graf 5.1** NASA's Radio JOVE Project
Radio JOVE Data Archive
<http://jovearchive.gsfc.nasa.gov/>
- Graf 4.1** NASA's Radio JOVE Project
Sample Data
http://radiojove.gsfc.nasa.gov/observing/sample_data.htm
- Graf 4.2** NASA's Radio JOVE Project
Sample Data
http://radiojove.gsfc.nasa.gov/observing/sample_data.htm
- Graf 4.3** Jupiter Radio Astronomy – Information about Planetary Radio Emissions and the RadioJOVE Jupiter Radio Telescope
Storms & Probability
<http://www.jupiterradio.com/j/articles/probl/>

- Graf 4.4** Jupiter Radio Astronomy – Information about Planetary Radio Emissions and the RadioJOVE Jupiter Radio Telescope
Storms & Probability
<http://www.jupiterradio.com/j/articles/prob/>
- Graf 4.5** Jupiter Radio Astronomy – Information about Planetary Radio Emissions and the RadioJOVE Jupiter Radio Telescope
Storms & Probability
<http://www.jupiterradio.com/j/articles/prob/>
- Obrázek 4.3** Radio Astronomy for Scientists Teachers and Students
CML-Io Phase Plot
<http://www.radiosky.com/rjpro/rjpcmlphaseplot.html>
- Graf 4.6** Richard S. Flagg
Listening to Jupiter – A Guide for the Amateur Radio Astronomer. 2nd edition. Radio-Sky Publishing, 2005.
- Graf 4.7** Richard S. Flagg
Listening to Jupiter – A Guide for the Amateur Radio Astronomer. 2nd edition. Radio-Sky Publishing, 2005.
- Graf 4.8** Richard S. Flagg
Listening to Jupiter – A Guide for the Amateur Radio Astronomer. 2nd edition. Radio-Sky Publishing, 2005.
- Obrázek 6.4** Jupiter Radio Astronomy – Information about Planetary Radio Emissions and the RadioJOVE Jupiter Radio Telescope
Dipole Antenna's for Jupiter Radio Astronomy
<http://www.jupiterradio.com/jove-antenna.php>
- Graf 6.1** Jupiter Radio Astronomy – Information about Planetary Radio Emissions and the RadioJOVE Jupiter Radio Telescope
Dipole Antenna's for Jupiter Radio Astronomy
<http://www.jupiterradio.com/jove-antenna.php>

- Graf 6.2** Jupiter Radio Astronomy – Information about Planetary Radio Emissions and the RadioJOVE Jupiter Radio Telescope
Dipole Antenna's for Jupiter Radio Astronomy
<http://www.jupiterradio.com/jove-antenna.php>
- Graf 6.3** Jupiter Radio Astronomy – Information about Planetary Radio Emissions and the RadioJOVE Jupiter Radio Telescope
Dipole Antenna's for Jupiter Radio Astronomy
<http://www.jupiterradio.com/jove-antenna.php>
- Obrázek 6.5** Radio Astronomy for Scientists Teachers and Students
Radio-SkyPipe II – An Internet Enabled Strip Chart Recorder
<http://www.radiosky.com/skypipeishere.html>

