

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Jan Šlégr

Předpověď a pozorování radiových emisí z planety Jupiter

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 55 (2010), No. 4, 297--301

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141973>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2010

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>

# vyučování

PŘEDPOVĚĎ A POZOROVÁNÍ  
RADIOVÝCH EMISÍ Z PLANETY  
JUPITER

*Jan Šlégr, Litomyšl*

## 1. Pozorované jevy

Magnetosféra planety Jupiter se chová jak obrovský urychlovač částic, který udeľuje volným elektronům energie v řádu až jednotek MeV. Tyto elektrony, které se pohybují kolem siločar magnetického pole, pak vyzařují elektromagnetické vlny v rozsahu vlnových délek  $10^{-3}$  až  $10^4$  m. Jednou z nejsilnějších složek jsou dekametrové vlny, vyzařované pravděpodobně mechanismem cyklotronní maserové nestability. Při tomto jevu se uvolňuje energie až  $10^{11}$  W a Jupiter se tak stává radiovým zdrojem s hustotou záření až  $10^7$  Jy (podle [1]).<sup>1)</sup>

Bylo zjištěno, že nejintenzivnější emise se objevují jen při jistých vzájemných polohách Jupitera a jeho měsíce Io. To vedlo ke vzniku teorie, že zdrojem energie pro vznik cyklotronní maserové nestability je

---

<sup>1)</sup>  $1 \text{ Jansky} = 10^{-26} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$ . Jednotka spektrální hustoty záření používaná v radioastronomii. Je pojmenována podle Karla Gutha Janského, amerického radiového konstruktéra českého původu, který poprvé objevil signály přicházející z vesmíru.

---

Mgr. JAN ŠLÉGR, katedra fyziky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové, Nám. Svobody 301, 500 02 Hradec Králové, e-mail [jan.slegr@uhk.cz](mailto:jan.slegr@uhk.cz)

v tomto případě enormní proud tekoucí podél siločivky magnetického pole Jupitera. Tento proud je indukován pohybem měsíce Io v plazmovém toru, který obklopuje jeho dráhu. Takto vzniklé elektrické pole pak urychlí elektrony, které se následně pohybují po spirále kolem magnetických siločivek, a právě zde dojde ke vzniku cyklotronní maserové nestability.

Na Zemi je možné zachycovat toto záření v rozsahu frekvencí asi 17 – 30 MHz (tyto frekvence se nacházejí v ionosférickém okně, tedy nejsou podstatně zeslabovány při průchodu atmosférou). Na výstupu přijímače se projeví (podle energie při vzniku) jako cvrlikání nebo praskání, podobné zvuku, který vydává pražená kuřice.

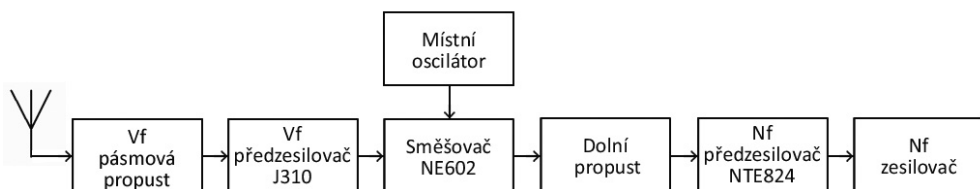
Postupem času bylo zjištěno, že nízkofrekvenční akustické spektrum přijímaného signálu přímo souvisí s polohou Jupitera a měsíce Io. Tak byly rozlišeny tzv. emisní módy (písmena A, B, C, D označují oblast na dráze Io, která s bouří souvisí; tedy nachází-li se měsíc Io v úseku označeném písmenem D, nastane bouře s emisním módem Io-D). Přehled módů uvádí tabulka 1 (převzato z [2]).

Na základě těchto informací lze emise předpovídat (ovšem i když jsou shora uvedené podmínky splněny a Jupiter je na obloze, nemusí být nutně emise na Zemi zachytitelná).

V 90. letech 20. století americká agentura pro letectví a vesmír NASA připravila pro žáky středních škol projekt, který je zaměřen na konstrukci a použití jednoduchého radioteleskopu právě pro sledování těchto emisí. O tomto projektu nazvaném Radio Jove (rádio Jupiter) poprvé informoval web Aldebaran (viz [3]) již v roce 2006, v praxi se však prosazuje teprve pozvolna (viz např. [4]). Bližší informace o projektu lze nalézt přímo na stránkách NASA (viz [5]), stejně jako

| Emisní mód | Úhel spojnice Země–Jupiter v CML3 [°] | Poloha Io [°] | Max. frekvence [MHz] |
|------------|---------------------------------------|---------------|----------------------|
| Io-D       | 0 – 200                               | 95 – 130      | 18                   |
| Io-B       | 105 – 185                             | 80 – 110      | 39,5                 |
| non Io-B   | 80 – 200                              | 0 – 360       | 38                   |
| Io-A       | 200 – 270                             | 205 – 260     | 38                   |
| non-Io-A   | 230 – 280                             | 0 – 360       | 38                   |
| Io-C       | 300 – 20                              | 225 – 260     | 36                   |
| non-Io-C   | 300 – 360                             | 0 – 360       | 32                   |

Tab. 1. Emisní módy Jupiterových bouří



Obr. 1. Blokové schéma přijímače Radio Jove

velké množství materiálu, se kterým může pracovat učitel střední školy, např. pracovní listy, a podrobné návody ke stavbě zařízení nutného k pozorování.

## 2. Použitá technika

Běžné přijímače jsou pro použití v radioastronomii nevhodné, protože jejich úkolem je zachytit relativně silný signál vysílače a odfiltrovat nežádoucí signály z okolních frekvencí. Z tohoto důvodu mají poměrně malou šířku přijímaného pásma a jsou vybaveny obvody pro automatickou regulaci zisku (AGC), která brání měření absolutní síly signálu.

Naproti tomu v radioastronomii hledáme signály velice slabé, často jen zlomek dB nad úroveň šumu. Velkým problémem např. přehledových přijímačů jsou pak záněje od děliček a místních oscilátorů, které lze na přijímači naladit i bez připojené antény. NASA proto navrhla jednoduchý jednoúčelový přijímač, jehož blokové schéma je na obrázku 1 (volně podle [6], úplné schéma lze nalézt např. na stránkách [4]).

Většina součástek je dostupná v ČR, pouze nízkofrekvenční předzesilovač NTE824 je nutné nahradit dostupným LM387 a varikap MV209 např. KB109. Další možností je objednat si přímo z NASA sta-

vebnici s celou sadou součástek, případně (za podstatně vyšší cenu) hotový přijímač. Nabídka je dostupná na stránkách [5], stejně jako seznam součástek, výkres plošného spoje a osazovací plán. V současné době probíhá překlad těchto materiálů do českého jazyka a brzy by se měly objevit na stránkách [4].

Přijímač je připojen k anténě, která je tvořena dvojicí sfázovaných dipólů, navržených pro frekvenci 20 MHz a umístěných na podpůrné konstrukci o výšce cca 4 metry (viz obr. 2; na stránkách [4] je k dispozici kompletní fotogalerie). Nutnost konstrukce antény je didakticky velice cenná, protože při práci na tomto projektu si žáci kromě znalostí z astrofyziky, teorie magnetismu a elektromagnetického záření prohloubí i znalosti z elektřiny

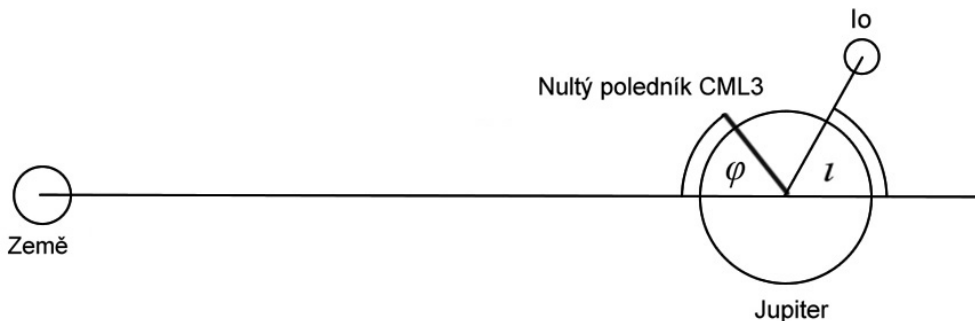


Obr. 2. Sestavený přijímač

a elektroniky. V učebnici se sice hovoří o půlvlnných a čtvrtvlnných dipólech, ale číst o takové anténě v učebnici není nikdy totéž, jako takovou anténu výpočtem navrhnout a pak vlastníma rukama postavit.



Obr. 3. Dvojice dipólů pro příjem dekametrových vln



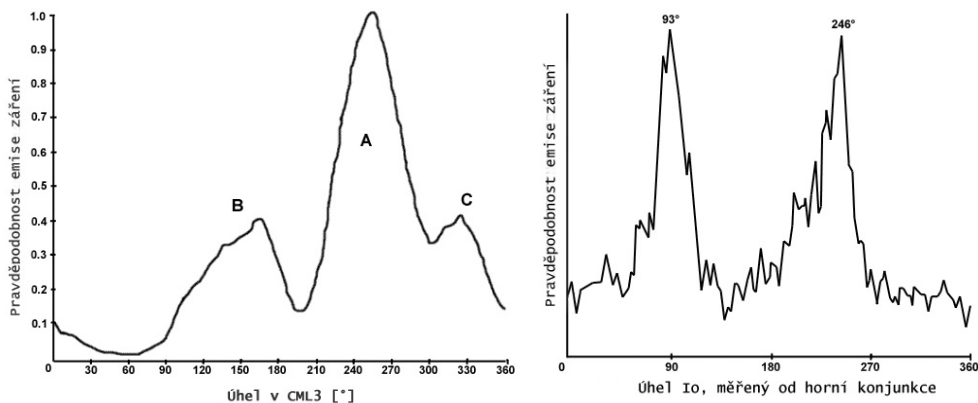
Obr. 4. Geometrie soustavy Země–Jupiter–Io (není v měřítku)

### 3. Předpověď emisí

Protože předpovědní tabulky magnetických bouří na Jupiteru, které se nacházejí na stránkách projektu [5], nebyly aktuální, byl vytvořen program, který tyto tabulky počítá. Jedná se o poměrně zajímavý problém z oblasti astronomie, který může být řešen i v semináři z programování na střední škole.

Jak již bylo uvedeno, emise vznikají při jistých kombinacích natočení Jupitera vzhledem k Zemi, v tab. 1 jsou uvedeny úhly spojnice Země–Jupiter ve vztázném systému CML3 (Central Meri-

dian Longitude System 3), který je spojen s jeho magnetosférou. Astronomové používají pro pozorování Jupitera tři souřadné systémy, jež se liší zavedením nultého poledníku; systémy CML1 a CML2 jsou spojeny s povrchovými plynnými vrstvami – používají se např. k určení polohy Velké rudé skvrny. Druhým parametrem je poloha měsíce Io vzhledem k Jupiteru. Zde se uvádí úhel měřený proti směru hodinových ručiček (ve směru rotace Io) od horní konjunkce se Zemí, viz obr. 4. Třetím důležitým parametrem, který je třeba vzít v úvahu, je to, zda je v danou chvíli v místě pozorování Jupiter nad obzorem.



Obr. 5. Závislost pravděpodobnosti emise na pozici Jupitera a Io

K výpočtu byly použity poměrně jednoduché algoritmy – k určení úhlu CML3 jednoduchá lineární rovnice s korekcemi, nalezená na stránkách [7], které se zabývají primárně pozorováním Velké rudé skvrny. Pro výpočet polohy měsíce Io byl zvolen algoritmus z příručky [8], jinak používaný ke tvorbě podkladů pro vizuální pozorování galileovských měsíců. Přesnost obou dvou výpočtů je v řádu jednotek stupňů, což pro dané účely plně vyhovuje.

Vstupem programu je datum. Program pak volá procedury pro výpočet CML3 a polohy Io s časovým krokem jedné hodiny. Výsledky jsou podrobeny souboru podmínek podle tabulky 1. Na základě těchto podmínek je rozhodnuto, jaký druh emise by mohl být pozorován. Výstupem je pak 24 řádků, kde je vypsána poloha CML3, fáze Io a zkratka emisního módu (nebo emisních módů), jejichž pozorování je pravděpodobné. Program včetně zdrojového kódu v jazyce Pascal (prostředí Borland Delphi 7) lze stáhnout ze stránky [5]).

#### 4. Závěr

Projekt Radio Jove je zajímavým doplňkem nejen astrofyziky, ale např. i teorie elektromagnetického pole, který může být využit na střední škole. Na rozdíl od jiných projektů, kde je úloha žáků poměrně pasivní, zde si musí žáci nejprve sami sestavit přijímač a anténu, přičemž získají velké množství znalostí a dovedností, které se jim budou hodit v dalším studiu na technicky zaměřených vysokých školách. Výsledek je zde (na rozdíl od jiných projektů, např. na detekci vysokoenergetických částic) téměř hmatatelný – cyklotronní erupce na Jupiteru je možné detekovat přímo sluchem. Takovýto projekt může být předstupněm pro projekty

další, kde již výsledek není přímo „vidět“ či „slyšet“, ale je nutné jej vyvodit na základě naměřených hodnot.

Z didaktického hlediska se projekt jeví jako velice dobře zvládnutý, odborníci připravili pro žáky i učitele velké množství podpůrných materiálů. České překlady těchto materiálů budou postupně uveřejňovány na webových stránkách [4].

#### L i t e r a t u r a

- [1] MURDIN, P., et al.: *Encyclopedia of astronomy and astrophysics*. 1. London, New York, Nature Publishing Group, 2001. ISBN 1561592684.
- [2] *Radio-Sky Publishing: Resources for Amateur Radio Astronomers, Teachers and Students* [online]. 24. 10. 1997 [cit. 2010-03-04]. Jupiters Decametric Radio Emission Modes. Dostupné z [www://www.radiosky.com/jupmodes.html](http://www.radiosky.com/jupmodes.html).
- [3] ŽÁČEK, M.: *Naladte si Jupiter* [online]. 2006 , 15. 03. 2006 [cit. 2009-11-14]. Dostupný z [http://www.aldebaran.cz/bulletin/2006\\_10\\_jov.php](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2006_10_jov.php).
- [4] ŠLÉGR, J.: *Signály z vesmíru : Informační stránky o radioastronomii* [online]. 2010 [cit. 2010-10-08]. Dostupné z [www://signaly-z-vesmiru.cz/](http://signaly-z-vesmiru.cz/). Odkazy Radio Jove, Fotogalerie, Ke stažení.
- [5] *Radio Jove: Solar & Planetary Radio Astronomy for Schools* [online]. 2006. Poslední aktualizace 20. 12. 2009 [cit. 2010-01-4]. Dostupné z [www://radiojove.gsfc.nasa.gov/](http://radiojove.gsfc.nasa.gov/).
- [6] FLAGG, R. S.: *JOVE RJ1.1 Receiver Kit Assembly Manual* [online]. 1. Hawaii : [s.n.], 2000 [cit. 2010-02-28]. Dostupné na <http://radiojove.gsfc.nasa.gov/library/>.
- [7] GRAY, B.: *Project Pluto* [online]. 2009, 14. 10. 2010 [cit. 2010-03-04]. Formula for Jupiter's central meridians and Great Red Spot transits. Dostupné z [www://www.projectpluto.com/grs\\_form.htm](http://www.projectpluto.com/grs_form.htm).
- [8] MEEUS, J.: *Astronomical algorithms*. 1st edition. Virginia : Willman-Bell, Inc., 1991. 429 s. ISBN 0-943396-35-2.