

Existence obřích diamantů

M. Benc

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
m.benc@centrum.cz

Abstrakt

Tento projekt se zabývá existencí obřích diamantů v nitru vesmírných těles, jako jsou hvězdy nebo planety. Nejdříve jsem se zaměřil na naši Sluneční soustavu, poté na blízký vesmír. Zjistil jsem, že ve Sluneční soustavě není velká pravděpodobnost výskytu těchto objektů, ale pokud se zaměříme i na okolní prostor a tělesa v něm, budeme překvapeni, jaké množství se tohoto na Zemi vzácného kamene vyskytuje.

1 Úvod

K myšlence zabývat se existencí diamantů v nitru vesmírných těles mě přivedla teorie Arthura C. Clarka. Podle této teorie je jádro Jupitera tvořeno jediným velkým krystalem diamantu. To by mělo být způsobeno podobným jevem jako je tzv. heliový déšť. Clarke tvrdil, že je možné, aby amoniak v atmosféře Jupitera kondenzoval a po kapkách padal k jádru planety. Protože je amoniak těžší než vodík i helium, dostal by se až do centra planety, kde by vysokým tlakem byla molekula amoniaku rozložena na helium a uhlík, který by zde opět působením velmi vysokých tlaků krystalizoval. Vystává tedy otázka, jestli je výskyt takového jádra skutečně možný. Je v jupiterově atmosféře dostatek uhlíku? Je vůbec možné, aby se diamant v podmínkách, jaké v jádru Jupitera panují, takto choval? Je možný výskyt diamantových jader v jiných planetách či hvězdách? Na tyto otázky se budu snažit odpovědět.

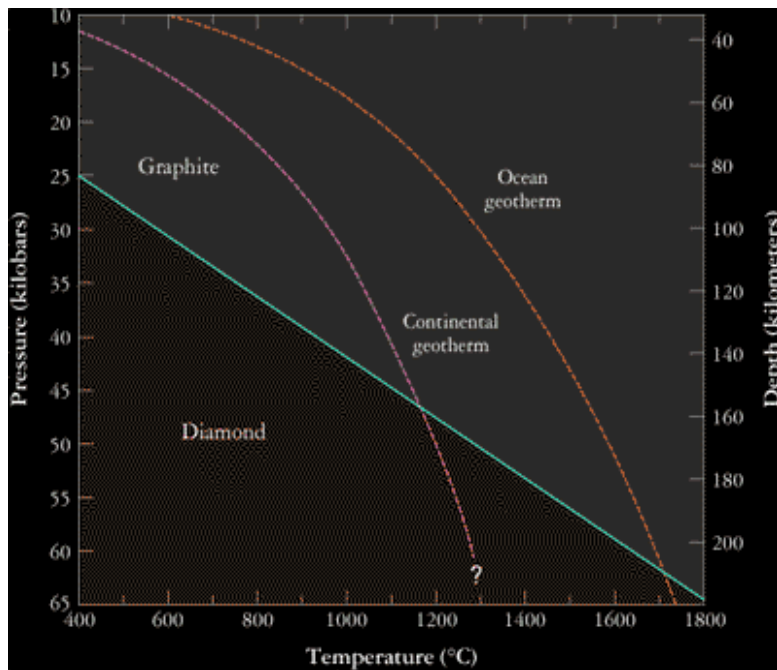
2 Vznik diamantu na Zemi

Nejprve se budu zabývat vznikem diamantu na Zemi. Přestože se podmínky pod povrchem Země od nitra Jupitera velmi liší, ale tyto podmínky nám stačí k pochopení procesu vzniku diamantu.

Diamant je forma krystalického uhlíku s velmi složitou krystalovou mřížkou a vzniká krystalizací. To je druh fázové přeměny, při které dochází k pravidelnému uspořádání částic do krystalové mřížky. Růst krystalu je podmíněn uvolněním tepelné energie taveniny či roztoku, které musí probíhat dostatečně pomalu, aby se stačila vytvořit krystalová mřížka. Diamant má velmi složitou strukturu, proto krystalizuje o něco obtížněji a jeho vznik je vázán ještě jednou podmínkou, a tou je vysoký tlak.

Ke vzniku diamantu je tedy potřeba přítomnosti uhlíku, vysokého tlaku, vysoké teploty (vznik taveniny) a postupného ochlazování. Hned nás napadne, že tyto podmínky panují pod povrchem Země. Zemský povrch je rozdělen na litosférické desky a na jejich okrajích, kde se jedna podsunuje pod druhou, je uhlík v podobě vápence a podobných usazenin dopravován pod povrch. Nové diamanty tedy vznikají i dnes.

Důležitou vlastností krystalu je jejich teplota tuhnutí. Jakmile totiž teplota krystalu tuto hodnotu přesáhne, zruší se krystalová mřížka a krystal zaniká. K tomu aby se krystalová mřížka obnovila, je zapotřebí opět krystalizace.



Graf 1 Zobrazení podmínek, za nichž existuje uhlík jako diamant nebo grafit (častější forma uhlíku). Podmínky na Zemi znázorňují dvě křivky, tzv. geotermy. Je to dáno tím, že litosféra pod kontinentálními deskami je chladnější než pod oceánskými. Je vidět, že při vyšších teplotách je ke krystalizaci diamantu potřeba vyššího tlaku[1].

3 Vnitřní struktura Jupitera a Saturna

Dle J. J. Fortneyho a N. Nettelmana [2] Jupiter a Saturn jsou často nazývány plynnými obry, avšak tento název je zavádějící. Pouze 0.01% hmoty Jupitera (0.1% hmoty Saturna) je tvořena vodíkem a heliem v plynném skupenství. Vzhledem k velkému tlaku a teplotám uvnitř planet tvoří zbylá část vodíku a helia kapalinu. Jupiter a Saturn jsou velmi podobné planety lišící se pouze v některých detailech (hmotnost, luminozita, apod.), proto budu dále hovořit jen o Jupiteru. Ten je složen převážně z vodíku a helia, podrobnější detaily o jeho vnitřním složení ale ještě donedávna nebyly známy.

To se změnilo s vysláním sond Pioneer, Voyager a Galileo. Tyto sondy získaly spoustu cenných informací nejen o složení atmosféry, ale i o elektromagnetickém poli Jupitera, apod. Na základě těchto informací a dat získaných z experimentů bylo možno vyvodit stavové rovnice vodíku, helia a těžších prvků v podmínkách panujících v nitru Jupitera (teplota asi 10000 K, tlak asi 200 GPa, vnitru až přes 20000 K a 3000 GPa). Data stavových rovnic vodíku jsou velmi přesně experimentálně ověřena při hustotách pod $\sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ a tlacích pod $\sim 25 \text{ GPa}$ (0.25 Mbar). Proto jsou stavové rovnice vodíku, helia a ostatních prvků v nitru Jupitera pouze teoretické. S jejich znalostí je možné vytvořit model Jupitera.

Jupiter je složen ze čtyř nebo pěti vrstev (rozdílný názor na existenci a složení jádra). Plynná atmosféra, vrstva tekutého vodíku, vrstva tekutého helia, vrstva kovového vodíku (který velmi posiluje elektromagnetické pole planety) a nakonec jádro. Některé modely zahrnují skalnaté jádro nebo jádro z těžších prvků a sloučenin (H_2O , CH_4 , NH_3 , N , O , C , a jiné), podle některých modelů Jupiter jádro nemá. Přehled stavových rovnic je v tabulce.

Jak je vidět, Jupiter neobsahuje (pokud vůbec) velké množství uhlíku. Je otázkou, jestli stačí k vytvoření diamantového jádra. Luca Ghiringhelli a jeho tým (jak uvádí server idnes [3]) se otázkou existence diamantového jádra velkých planet zabývali také, a zjistili, že hraniční hodnota obsahu uhlíku potřebná k vytvoření jádra je 15% celkové hmotnosti. Podle J. J. Fortneyho a N. Nettelmana [2] by byl obsah uhlíku ve vnitřních vrstvách Jupitera právě kolem 15% při použití stavové rovnice Sesame-K04. Je však třeba vzít v potaz i dobu krystalizace uhlíku v podmínkách, jaké v Jupiteru panují. Mohla by trvat i déle než je stáří

planety. Vzhledem k nejistým okolnostem složení Jupitera a doby krystalizace uhlíku v jeho jádru zůstává tato otázka stále nezodpovězena. Podobně je na tom i Saturn.

Tabulka 1 Přehled Jupiterových stavových rovnic

Jméno (EOS*)	H-EOS	He-EOS	Z-EOS	typ	
SCVH-I-99	H-SCVH-I	He-SCVH	He-SCvH	$Y_1 < Y_2$ $Z_1 \neq Z_2$	Z_1 ...obsah těžších prvků ve vnějších vrstvách
SCVH-I-04	H-SCVH-I	He-SCVH	Sesame 7154, Sesame 7100	$Y_1 < Y_2$ $Z_1 = Z_2$	Z_2 ...obsah těžších prvků ve vnitřních vrstvách
LM-SOCP	LM-SOCP	"	"	"	Y_1 ...obsah helia ve vnějších vrstvách
LM-H4	LM-H4	"	"	"	Y_2 ...obsah helia ve vnitřních vrstvách
Sesame-p	H-Sesame-p	"	"	"	
Sesame-K04	Sesame-K03	Sesame-K04	přímá směs $H_2O, CH_4, NH_3,$ $C, N, O, H_2S, S,$ SiO_2, Fe	$Y_1 < Y_2$ $Z_1 < Z_2$	*EOS je zkratka pro equation of state (anglicky stavová rovnice)
LM-REOS	H-REOS	He-REOS	H_2O -REOS, He4-REOS	$Y_1 < Y_2$ $Z_1 < Z_2$	
DFT-MD	DFT-MD	DFT-MD	CH_4, H_2O	$Y_1 = Y_2$ $Z_1 = Z_2$	

4 Uran a Neptun

Uran a Neptun jsou rozdílné planety než Jupiter a Saturn. Jsou složeny z vodíku nebo helia a vody. Otázkou zda na Uranu či Neptunu mohou v jádru těchto planet existovat obří diamanty, se zabýval Luca Ghiringhelli. Právě tehdy objevil onu 15% hranici a také zjistil, že obsah uhlíku těchto planet nepřevyšuje 0.2% jejich celkové hmotnosti. Je tedy nemožné, aby v jádru Uranu nebo Neptunu vznikl obří diamant [3].

5 Bílí trpaslíci

Jinak než s planetami by to mohlo být s hvězdami. Každá hvězda obsahuje ke konci svého vývoje spoustu těžších prvků jako produkty jaderné syntézy, která je zdrojem její tepelné energie.

Mladé hvězdy se od sebe složením mnoho neliší. Všechny jsou tvořeny z vodíku. Po ustálení gradientu tlaku plynu a gravitace se teplota ještě zvýší a zapálí se termonukleární reakce. Hvězdy rozlišujeme podle povrchové teploty a svítivosti. Mají však ještě jednu velmi důležitou vlastnost, která rozhoduje o tom, co se s nimi stane, až jim dojde palivo, a tou je hmotnost. Když se tak stane, energii, dříve uvolňovanou při syntéze, která by působila proti gravitaci, už není odkud získávat a hvězda se začne hroutit sama do sebe.

Bílý trpaslík se stane z hvězdy o hmotnosti $< 8M_s$. Gravitační kolaps je zastaven až tlakem degenerovaného plynu. Ten je tvořen elektrony. Hvězda nemá dostatečnou hmotnost, aby tlak elektronů překonala, a tak už jen postupně chladne. Bílí trpaslíci mají průměr 5000-6000 km.

Neutronová hvězda vzniká z hvězd o hmotnosti mezi $8M_s$ a $20M_s$. Ani tlak elektronů již nedokáže odolat gravitaci a volné elektrony vytvoří s protony jader neutrony. Nakonec je

gravitace vyrovnána tlakem degenerovaných neutronů. Tako vzniklá hvězda je velmi malá (10-20 km).

Pokud je hvězda hmotnější než 20 Sluncí, stává se z ní *černá díra*. Síla gravitace je tak obrovská, že ji nedokáže nic zadržet, a hvězda se zhrouť do jediného bodu. Černé díry mohou vznikat i srážkou dvou neutronových hvězd.

Hmotnost rozhoduje i o tom, kdy se zastaví syntéza ve hvězdě. Čím je hvězda hmotnější, tím je její vnitřní teplota vyšší. Pokud má dost vysokou teplotu, atomy ve hvězdě syntetizují až po železo (pak už syntéza není energeticky nezávislá). Pokud je ale hvězda hmotná asi jako naše Slunce, syntéza se zastaví, již dříve. Hvězdy, ze kterých se stanou bílí trpaslíci, dojdou v syntéze až po uhlík nebo kyslík. Bílý trpaslík je tedy uhlíko-kyslíkové jádro zaniklé hvězdy, které postupem času vychládá. Uhlík a kyslík v jádře (prvky mohou se vyskytovat v různém poměru i samostatně) se od sebe začnou působením gravitace separovat a za tlaku 20 GPa a teploty 4000 K začnou krystalizovat [4]. Existence obřího diamantu jako jádra bílého trpaslíka je tedy možná, dokonce se pravděpodobně jedná o velmi častý jev. Jeden takový bílý trpaslík byl již objeven (BPM 37093).

6 Závěr

Nedokázal jsem potvrdit ani vyvrátit existenci diamantu v jádru Jupitera ani Saturna. Podle L. Ghiringhelliho přítomnost obřích diamantů v jádru Uranu a Neptunu není možná. V naší Sluneční soustavě existenci obřího diamantu nemůžeme potvrdit, ale v okolním vesmíru se vyskytují tělesa, u kterých jsou diamantová jádra běžnou záležitostí. Jsou jimi bílí trpaslíci.

7 Poděkování

Děkuji Arturu C. Clarkovi za to, že se nebál svou bláznivě vypadající teorii uveřejnit, jinak bych se jí nemohl nechat inspirovat. Také děkuji Vojtěchu Svobodovi za podnět, který mě přivedl k této práci.

Reference

[1] anonym, The nature of diamonds,

<http://www.amnh.org/exhibitions/diamonds/formation.html>

[2] J. J. Fortney, N. Nettelmann, *The interior structure, composition and evolution of giant planets*, Springer Science+Business Media B.V. 2009, str. 2-8

[3] O. Klimánek, Vědci zkoumají, zda je na planetě Uran obří diamant,

http://technet.idnes.cz/vedci-zkoumaji-zda-je-na-planete-uran-obri-diamant-f71-tec-vesmir.asp?c=A070717_153940_tec-vesmir_vse

[4] J. Kalista, Vlastnosti bílých trpaslíků, <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/trpaslik/812-vlastnosti-bilych-trpasliku>