

## Oponentský posudek diplomové práce

**Název: Výkonové lasery ve výzkumu prvkového složení meziplanetární hmoty pro aplikace v experimentální astronomii a kosmonautice**

**Autor:** Bc. Anna Křivková

**Školitel:** RNDr. Martin Ferus, Ph.D.

**Fakulta:** Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT

**Katedra:** Katedra fyziky

**Zaměření:** Fyzika a technika termojaderné fúze

**Akademický rok:** 2019 – 2020

Autorka se v předkládané práci zabývá velmi zajímavým tématem – studiem složení meziplanetární hmoty pomocí metody LIBS užívající lasery s vysokým výkonem. Tato práce je zajímavá i v kontextu budoucí prospekce a těžbě surovin na asteroidech. Práce je také navázána na řadu projektů: GAČR, TAČR atd.

Práce má 111 stran z toho 92 stran textu, literatura obsahuje 118 referencí. Práce je rozdělena do šesti kapitol, plus úvodní a závěrečná kapitola. Pět kapitol je převážně rešeršního charakteru, jedna – šestá – kapitola je autorčina vlastní práce. Práce je psaná česky a velmi čtivě. Nicméně z jazykového hlediska práce je velmi nekonzistentní, kdy autorka používá jak české termíny – „dispergovat“, „pufrovací“, tak česko-anglické zkomoleniny – např. „samoabsorpce“ či „selfabsorpce“, kdy existuje spisovný termín „autoabsorpce“, či prosté anglické názvy např. Boltzmanův „plot“, „thresholdu“.

První kapitola uvádí základní poznatky z elektronové struktury atomů – energetických hladin, jež jsou v podstatě zdrojem čárového emisního či absorpčního spektra, včetně pravděpodobností jednotlivých přechodů, jež jsou později nutné pro znalost absolutního zastoupení prvků ve vzorku studovaného pomocí metody LIBS. Dále jsou zde objasněny pojmy jako autoabsorpce (autorka nepravidelně střídá pojmy „samoabsorpce“ a „selfabsorpce“) a rozšíření spektrální čáry, ať už Dopplerovým posuvem (jež odkazuje na teplotu plazmatu), tak Starkovým rozšířením (ukazujícím na hustotu plazmatu).

Druhá kapitola se přímo věnuje technice LIBS. Seznámí nás s procesem laserové ablace, popisuje procesy, které se odehrávají během interakce laserového impulzu s pevným terčem (včetně tepelných procesů odehrávajících se uvnitř terče). Jsou zde také zmíněny rozdíly mezi ablací femtosekundovými, pikosekundovými a nanosekundovými laserovými impulzy. Dále autorka představuje časový vývoj emisních spekter plazmatu, jež je důležité pro správné zpracování a interpretaci naměřeného signálu, z nichž vyplývá nastavení spektrometru, zejména spuštění záznamu spekter, a to po jedné mikrosekundě. Dále jsou zde také uvedeny přednosti a nevýhody metody LIBS: např. jednoduchost, dálkový průzkum složení a např. kvantitativní analýza jako nevýhoda.

Třetí kapitola zmiňuje tzv. bezkalibrační analýzu, která je založena na přesném určení elektronové hustoty a teploty laserem indukovaného plazmatu (získány měřením

intenzit a profilů spektrálních čar). Autorka zde uvádí nutné podmínky: plazma je v lokální termodynamické rovnováze, složení plazmatu reprezentuje složení vzorku před ablací a plazma je opticky tenké, tj. nedochází k autoabsorpci.

Čtvrtá kapitola uvádí problematiku meziplanetární hmoty. Je zde zmíněn rozdíl mezi pojmy – meteoroid, meteor a meteorit. Nicméně překlep v odstavci věnovaný meteoroidům a to „mikrometeoridy“ vnáší do celé této kapitoly zmatek, zda jde o „mikrometeoroidy“ či „mikrometeority“. Dále je zde zmíněn původ meteoritů – ať už to jsou úlomky asteroidů, planetek či planet a měsíců. Velká část kapitoly je věnována klasifikaci meteoritů (chondrity, achondrity, ...). Další část se zabývá spektroskopii meteoru včetně jednotlivých fází průletu tělesa atmosférou.

V páté kapitole je popsáno experimentální vybavení – lasery a přístroje (spektrometry, 3D profilometr, elektronový spektrometr s rentgenovou disperzí), včetně experimentálních podmínek pro nabírání spekter – začátek integračního času a akviziční délka.

Šestá kapitola je vlastní experimentální prací autorky, kde se zabývá mineralogickou a prvkovou analýzou meteoritů získaných metodou LIBS a porovnání s SEM/EDX. Porovnání prvkového složení různých meteoritů a různými metodami je také různé (viz Tab. 6.4, což autorka ve své práci také reflektuje.

Z práce je patrné, že autorka odvedla „velký kus“ práce, zpracování spekter meteoritů z metody LIBS a mineralogických metod je velmi časově náročné. O tomto svědčí i rozsah práce samotné.

Na autorku bych měl několik doplňujících otázek:

1. Jaké jsou chyby měření a materiálové konstanty (směrnice přímkou) pro obr. 6.19 pro meteorit SaU 571 a Seymchan, jež slouží k extrapolaci parametrů v obr. 6.33 (protože obr. 6.19 vzhledem ke škále na obr 6.33 prakticky představuje nulu)?
2. Prováděla se analýza složení v celé ploše kráteru, nebo jen v malé oblasti, jako je na výřezech na obr. 6.6 (jestli hlubší místa jsou bohatší na specifický materiál než mělčí místa), což autorka různou ochotou ablovat pro různé materiály v textu naznačuje?
3. Je možné alespoň metodou LIBS se vyvarovat fluktuací v prvkovém složení pro nehomogenní rozdělení minerálů či prvků v meteoritu?

V celkovém hodnocení se předkládaná diplomová práce dá hodnotit velice kladně, autorka zadání splnila. Doporučuji tedy tuto práci k obhajobě a navrhuji hodnocení **A – výborně**.

V Praze 23. 8. 2020

Ing. Miroslav Krůs, Ph.D.