

Rozhledy matematicko-fyzikální

Eduard Šubert

Proč mají hvězdy na fotografiích z vesmírného teleskopu Jamese Webba
osm cípů?

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 98 (2023), No. 3, 36–51

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/151845>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2023

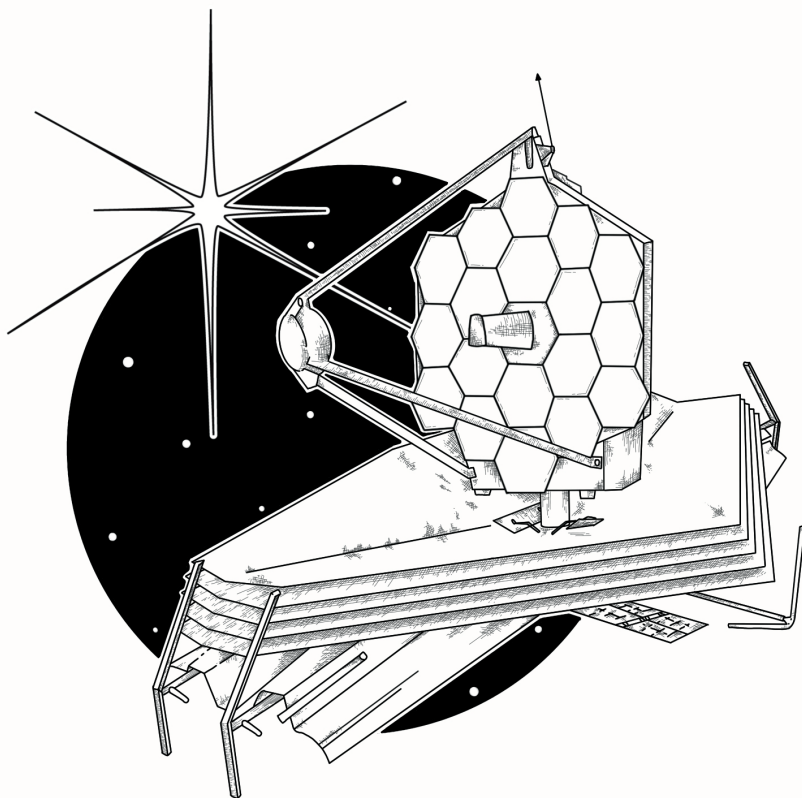
Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ*:
The Czech Digital Mathematics Library <http://dml.cz>

Proč mají hvězdy na fotografiích z vesmírného teleskopu Jamese Webba osm cípů?

Eduard Šubert, Praha



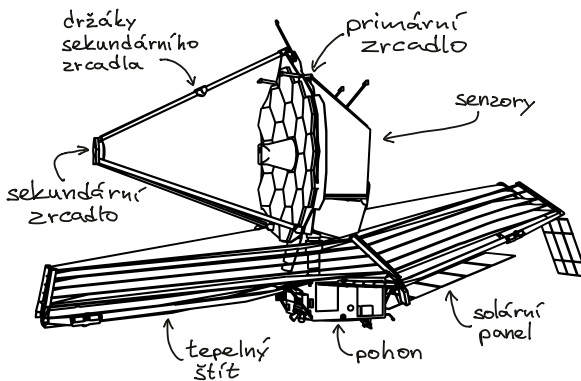
Experiment

Určitě jste už viděli alespoň jednu z úžasných fotografií z Vesmírného teleskopu Jamese Webba (JWST).¹⁾ Všimli jste si, že hvězdy na těchto fotografiích mají osm cípů? Ale proč? To si ukážeme v tomto experimentu! Nejen že společně vytvoříme takovou osmicípou hvězdu z pohodlí domova²⁾, ale navíc přitom zjistíme, *jak* taková hvězda v obraze teleskopu vznikne.

Nejdříve něco málo o teleskopech. Většina dnešních teleskopů má dvě hlavní zrcadla. Světlo se nejdříve odrazí od prvního zrcadla, tomuhle zrcadlu říkáme *primární*, dále světlo dopadne na druhé výrazně menší zrcadlo, tomu se říká *sekundární*. Od sekundárního zrcadla se světlo odrazí na systém senzorů³⁾, který obraz zachytí.

Teď zkusme přijít na to, *odkud* se osm cípů hvězdy vezme. Když se z povrchu Země podíváme na noční oblohu, uvidíme na hvězdách osm cípů? Neuvídíme! Stejně tak, kdybychom se koukali na oblohu přímo z teleskopu, žádné cípy bychom na hvězdách neviděli.⁴⁾ Ale po tom, co se světelné paprsky odrazí od primárního a od sekundárního zrcadla, tak senzor zachytí osm cípů. Někde mezi primárním zrcadlem a senzorem každá hvězda dostane osm cípů.

Podívejte se na tento náčrtek a zakroužkujte, které části teleskopu podezříváte, že by mohly hrát roli ve tvorbě hvězdných cípů.



¹⁾<https://jwst.nasa.gov>



²⁾Alespoň se o to pokusíme.

³⁾Ten může obsahovat další zrcadla.

⁴⁾Měli bychom ale velký problém s návratem zpět na Zem.

Než začneme modelovat teleskop, potřebujeme ještě vhodné světlo. Paprsky od velmi vzdálených hvězd dopadají na teleskop téměř rovnoběžně. To je výrazně odlišné od světla z obyčejné lampy, ze které se paprsky šíří do všech směrů. Kde bychom na Zemi mohli najít zdroj světla s rovnoběžnými paprsky? Laser! Paprsky laseru jsou rovnoběžné.



Co budeme dělat

Nečtete napřed! Čeká nás série experimentů, ze kterých se dozvíme něco nového o světle a o teleskopech. Každý experiment obsahuje otázku napsanou *kurzívou*. Na tuhle otázku si vždy hned odpovězte, svou odpověď si můžete i zapsat. Až pak proveďte experiment.

A přečtete si odpověď uvedenou obráceně a **tučně**. Potom pokračujte dalším experimentem.

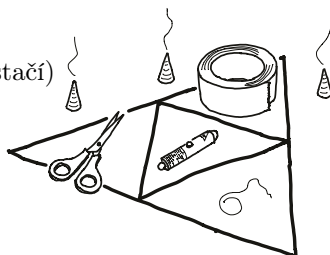
Nakonec nám napište
zpětnou vazbu →



Tohle si teď přečtete

Co budeme potřebovat

- Laser⁵⁾ (malé laserové ukazovátko stačí)
- Nůžky
- Lepicí páska
- Vlasy⁶⁾

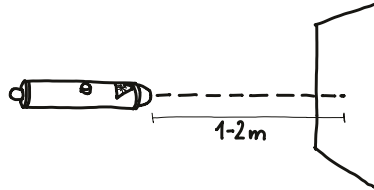


⁵⁾ Podívejte se do obchodu pro zvířata.

⁶⁾ Svoje vlastní nebo obstarané se svolením!

Experiment 1

Co si myslíte, že uvidíte na stěně, když na ni posvítíte laserovým ukazovátkem? ⁷⁾



Měli byste vidět malou tečku. To asi není nic překvapivého, překvapení totiž teprve přijde.

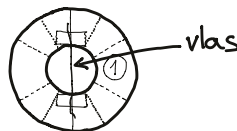
● ← Takovouhle tečku.
Nebude asi tak ostrá

Jestli tečku nevidíte, ujistěte se, že je laser zapnutý.⁸⁾

Experiment 2

Na straně 50 najdete díl ①. Měli byste vystříhnout kroužek, kterému chybí střed. Připravte si také lepicí pásku a vlasy. Místo vlasu by šel použít i velmi slabý drátek, ale já jsem takový neměl k dispozici.

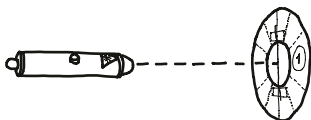
Podél plné čáry přilepte páskou na obou stranách kolečka jeden vlas. Postačí kousek vlasu tak, aby sahal přes celé kolečko. Pokuste se, aby vlas byl napnutý a aby byl rovně přes prostředek kolečka. Pásku lepte jen přes papír, ne do díry uprostřed, tam bude jen vlas.



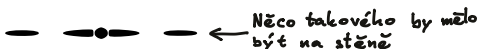
Co byste řekli, že uvidíte na stěně, když laserem posvítíte přes natažený vlas?

⁷⁾ Laserem nesvíte nikomu do očí!

⁸⁾ Nesvíte laserem do očí ani sobě!



Měli byste místo tečky vidět čárku! Ba co víc, ta čárka by měla být přerušovaná. Je to to, co jste čekali? Čárka bude na stěně kolmo na vlas.



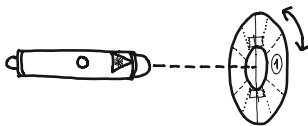
Když budete od stěny dál, čárka bude delší, ale méně jasná. Musíte tedy najít vhodnou vzdálenost. Vzdálenost mezi jedním a dvěma metry by měla být akorát, ale nebojte se experimentovat.

Pokud čárku na stěně nevidíte vůbec, ujistěte se, že paprsek laseru skutečně protne natažený vlas. Další experimenty se vám nepovedou, pokud nepřijdete na to, jak udělat tenhle.

Jevu, který jste právě viděli, se říká *difrakce*. Jeho řádné vysvětlení ani na vlnách na vodě není jednoduché a pro difrakci částic musíme přidat i kvantovou fyziku. Jinak řečeno, v tomto experimentu se nebudeme zabývat tím, *jak* difrakce funguje, ale jen tím, jak vytvoří osm cípů hvězdy na fotografii z teleskopu.

Experiment 3

Co si myslíte, že se stane s čárkou na stěně, když budete kroužkem ① otáčet?



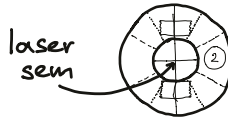
Čárka na stěně se bude také otáčet, bude vždy kolmo na natažený vlas.

Pomocí vlasu a difrakce dokážeme kulatý laserový paprsek přeměnit na čárku. Dá se říci, že tahle čárka je hvězda, která má jen dva cípy.^a A jak z dvoucípé hvězdy uděláme osmicípou? Jak bychom mohli hvězdě přidat další cípy? Zkuste se nad tím zamyslet!

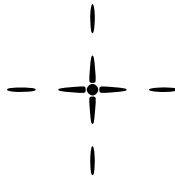
^aJak by vypadala hvězda s jedním cípem?

Experiment 4

Vystříhnete díl ② a nalepte na něj kus vlasu stejně jako předtím na díl ①. Měli byste nyní mít dva podobné díly. Obě kolečka dejte přes sebe tak, aby vlasy byly na sebe kolmo. *Co si myslíte, že uvidíte na stěně, když posvítíte laserem na průsečík vlasů?*

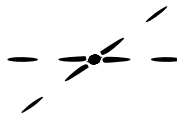


Na stěně byste měli vidět křížek.



Nyní zkuste změnit úhel mezi vlasy tak, aby na sebe nebyly kolmo. *Co si myslíte, že uvidíte na stěně?*

Podle úhlu mezi vlasy se mění i úhel mezi čárkami na stěně. Všimněte si, že obě čárky jsou stále kolmé na natažené vlasy, každá čárka kolmá na jeden vlas.

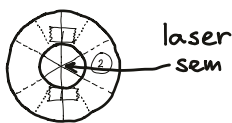


Experiment 5

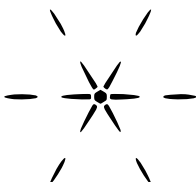
Teď už možná chápete, kde se berou paprsky hvězd v obraze teleskopu. *Jak bychom mohli dostat šesticípou hvězdu? Zastavte se na chvíli a zkuste se zamyslet!*

Stačí když vyrobíme ještě jeden kroužek. Vystříhnete díl ③ a připravte ho stejně jako dva předchozí. Nyní dejte všechny tři kroužky přes sebe tak, aby úhel mezi nataženými vlasy byl 120° . Na kroužcích jsou čárkované čáry, které vám je pomohou nastavit ve správném úhlu. Dejte

si záležet, aby se vlasy protínaly v jednom bodě. Do průsečíku vlasů namířte paprsek laseru.

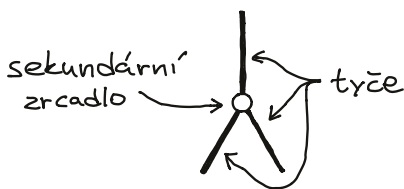


Na stěně byste měli vidět šestícípou hvězdu.



Podářilo se nám podobnému světlu, jako teleskop snímá z dalekých hvězd, přidat šest cípů! Předpokládejme tedy, že na teleskopu musí být něco podobného jako naše natažené vlasy. Podívejte se na diagram teleskopu na straně 37. Najdete v diagramu něco, co by mohlo fungovat jako vlasy v našich experimentech?

Tyče držíci sekundární zrcadlo!

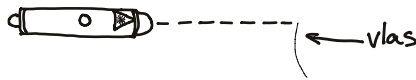


Tyto tyče vedou ale jen od kraje primárního zrcadla do jeho středu, nikoliv přes celý paprsek jako v našich experimentech. Změní to něco?

Experiment 6

Co si myslíte, že se stane, když posvítíte na konec vlasu? Jinými slovy, když vlas nebude sahat přes celý paprsek laseru, ale jen přes jeho část?⁹⁾

⁹⁾ Když je koneček roztřepený, tak ho zastříhněte.



Měli byste vidět podobnou difrakci, jako když je vlas přes celý paprsek!



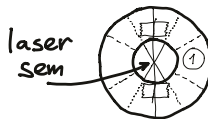
Teď už víme, že tenká překážka, jako například vlas, v paprsku laseru způsobí difrakci. Dokonce tahle překážka ani nemusí sahat napříč celým paprskem.

Na teleskopu takovou překážku tvoří tyče držící sekundární zrcadlo. Jak asi vypadá difrakce, kterou tvoří tyhle tyče?

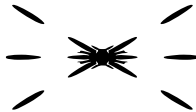
Experiment 7

Vezměte všechny tři kolečka. Tečkované čáry vám je pomohou uspořádat přes sebe tak, aby měly vlasy mezi sebou stejné úhly jako mají tyče na teleskopu. Opět si dejte záležet, aby se vlasy protínaly v jednom bodě.

Co si myslíte, že uvidíte na stěně, až posvítíte na průsečík vlasů laserem?



Měli byste vidět šesticípou hvězdu. Hvězda ale bude trochu zploštělá, nebude úplně rovnoměrná.

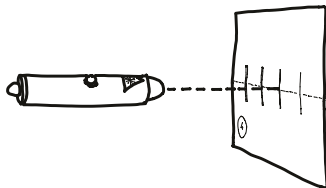


Podívejte se na titulní stranu. Tahle naše hvězda vypadá skoro jako ta na titulní straně, akorát jí chybí dva svislé cípy. Odkud se vezmou ty dva cípy? Na to budeme muset prozkoumat trochu jinou formu difrakce.

Experiment 8

Ze strany 50 vystříhnete díl ④, přehnete ho napůl podél čárkované čáry a na přehybu vystříhejte naznačené obdélníky. Po rozložení papíru byste měli dostat několik úzkých štěrbin.

Co si myslíte, že na stěně uvidíte, když vložíte laseru do cesty jednu za štěrbin?



Uvidíte podobný obraz jako předtím. Na stěně se objeví další přerušovaná čárka.



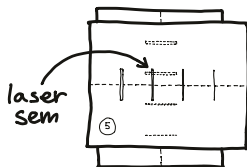
Pokud čárku na stěně nevidíte vůbec, zkuste jinak širokou štěrbinu. Další experimenty se vám také nepovedou, pokud nepřijdete na to, jak udělat tenhle.

Prozkoumejte, jak se čárka mění, když posvítíte skrz různé široké štěrbiny.

I tento jev se nazývá difrakce, funguje sice trochu jinak, ale princip je stejný. Tedy stejně složitý. Dokázali byste vytvořit hvězdu i pomocí karet se štěrbinami?

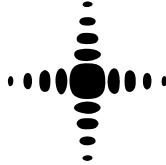
Experiment 9

Vystříhnete díl ⑤ ze strany 50 stejně, jako jste vystříhli díl ④. Najděte štěrbinu o vhodné šířce a obě karty dejte přes sebe tak, aby se štěrbiny křížily a aby na sebe byly kolmo.



Co byste čekali, že uvidíte na stěně potom, co do průsečíku posvítíte laserem?

Měli byste vidět křížek.



Nyní zkuste změnit úhel mezi štěrbinami tak, aby na sebe nebyly kolmo. Co si myslíte, že uvidíte na stěně?
čárka kolmá na jednu štěrbinu.

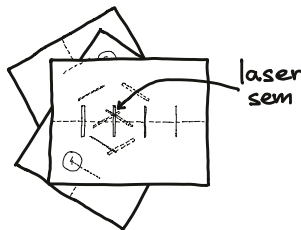
Podle úhlu mezi štěrbinami se mění i úhel mezi čárkami na stěně. Všimněte si, že obě čárky jsou stále kolmé na štěrbinu, každá



Experiment 10

Jak bychom mohli dostat šesticípou hvězdu? Zastavte se na chvíli a zkuste se zamyslet!

Stačí, když vyrobíme ještě jednu kartu. Vystříhnete díl ⑥ stejně jako dva předchozí. Nyní dejte všechny tři karty přes sebe tak, aby úhel mezi kartami byl 120° . Na kartách jsou tečkované čáry, které vám je pomohou nastavit ve správném úhlu. Do průsečíku naniřte paprsek laseru.



Na stěně byste měli vidět šesticípou hvězdu.



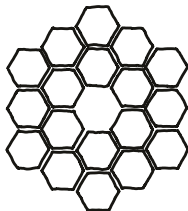
Dokážete umístit karty tak, aby byl jeden paprsek hvězdy svisle? A co vodorovně?

Pak vypněte laser a podívejte se z blízka na průsečík štěrbin. *Jaký tvar uvidíte?*

Šestiúhelník!

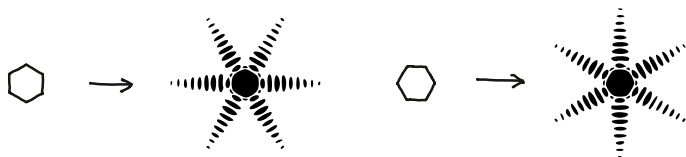
Šestiúhelníková štěrbinina přemění laserový paprsek na hvězdu se šesti cípy. Teď se podívejte na diagram teleskopu na straně 37, najdete na teleskopu nějaké šestiúhelníky?

Přeci šestiúhelníkové díly primárního zrcadla!



Pouze světlo, které se odrazí od těchto jednotlivých zrcadel, se dostane až na senzor teleskopu. Podobně pouze světlo, které projde naší šestiúhelníkovou štěrbinou, se dostane až na stěnu. Primární zrcadlo tedy v podstatě funguje jako naše šestiúhelníková štěrbinina!

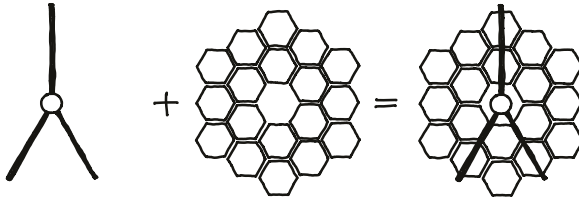
Možná vás napadlo, že celé primární zrcadlo vypadá skoro jako šestiúhelník. Jak si ověříme, jestli šest cípů vytvoří primární zrcadlo jako celek a nebo jeho jednotlivé díly? Nejlepší by samozřejmě bylo vyrobit kartu s maličkatými šestiúhelníkovými dírkami a otázku experimentálně ověřit, ale mně se tak malé šestiúhelníky vystříhnout nepodařilo. Přesto můžeme na otázku odpovědět. Přijdete na to sami?



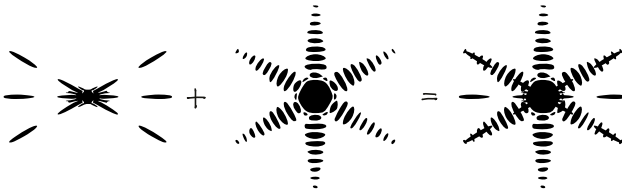
Z předchozího experimentu víme něco o orientaci čárky na stěně a štěrbině, která čárku vytvořila. Jsou na sebe kolmé! Stejně tak bude šest cípů hvězdy kolmých na strany šestiúhelníku.

Na fotografiích z JWST vidíme šest cípů, jako má hvězda vpravo, to odpovídá orientaci šestiúhelníku, jako mají díly primárního zrcadla. Paprsky hvězdy tedy tvoří jednotlivé díly, ne zrcadlo jako celek.

Teď už máme všechny základní stavební díly pro osmicípou hvězdu. Nejdříve světlu stojí v cestě tři tyče, které drží sekundární zrcadlo. Tyto tyče my simulujeme pomocí vlasů. Dále se světlo odrazí od šestiúhelníkových dílů primárního zrcadla. To je podobné, jako když my posvítíme skrz šestiúhelníkovou štěrbinu.



Čtyři ze šesti cípů druhé hvězdy se překrývají se čtyřmi cípy první hvězdy, a tak má výsledná kombinace cípů osm.^a



^aJak byste upravili konstrukci teleskopu, aby měla výsledná kombinace jen šest cípů?

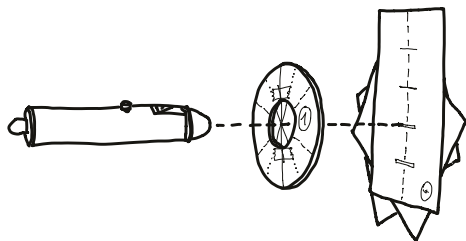
Experiment 11

Poslední experiment je opravdu náročný, protože musíte udržet všechny díly v paprsku laseru a navíc ještě pod správným úhlem. Teoreticky je ale možný.¹⁰⁾ *Co si myslíte, že uvidíte na stěně, když dáte laseru do cesty*

¹⁰⁾Mně se podařilo! ©



všechny díly najednou?



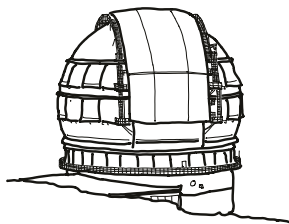
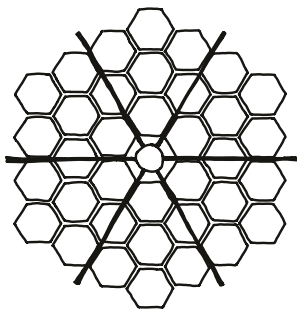
Pokud všechno udržíte správně, na stěně uvidíte stejnou hvězdu jako na fotografiích z **Webbova vesmírného teleskopu**. Nic si z toho ale nedělejte, když se vám poslední experiment nepovede. Teď už rozumíte, jak na fotografiích osmicípá hvězda vznikne, a to je alespoň stejně důležité.

Další experimenty

Proč mají hvězdy na fotografiích z JWST osm cípů už víme. Co ale ostatní teleskopy? Navrhněte vlastní experimenty a zkuste přijít na to, kolik a jakých cípů budou mít hvězdy na obrázcích z těchto teleskopů.

Gran Telescopio Canarias

Gran Telescopio Canarias je pozemní teleskop na Kanárských ostrovech. Je to jeden z největších teleskopů na světě. Primární zrcadlo je také složeno ze šestiúhelníkových dílů, má jich ale 36. Zatímco JWST má průměr primárního zrcadla 6,5 metru, Gran Telescopio Canarias má zrcadlo o průměru 10,4 metru! Sekundární zrcadlo drží šest tyčí.

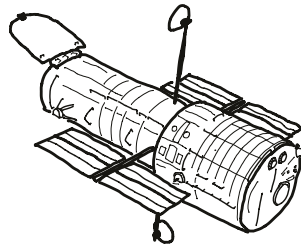
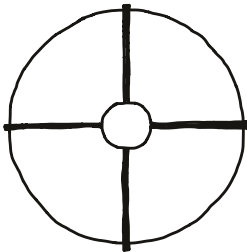


Nejdříve si načrtněte svůj odhad, jak budou vypadat difrakční hvězdy ve fotografiích z Gran Telescopio Canarias, pak si vyzkoušejte potřebné experimenty, a až pak se podívejte na skutečné fotografie.

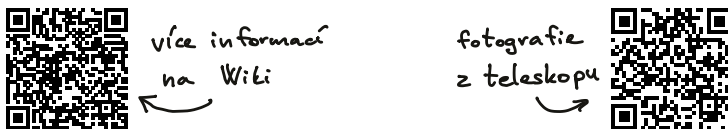


Hubbleův vesmírný dalekohled

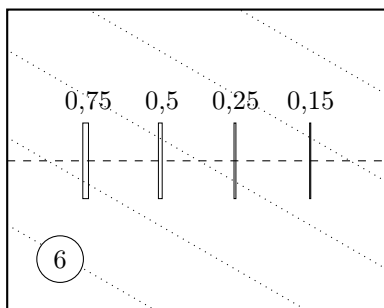
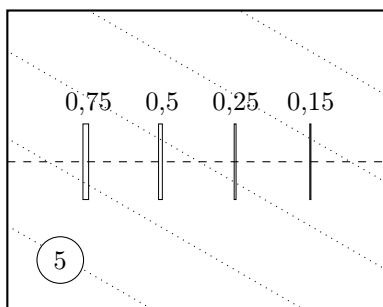
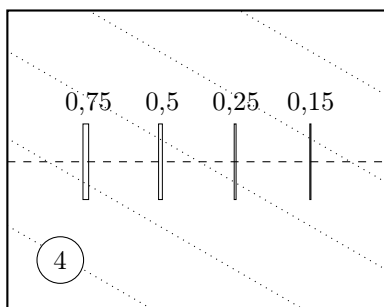
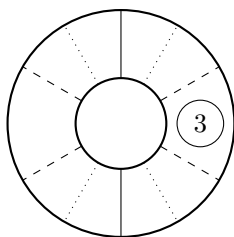
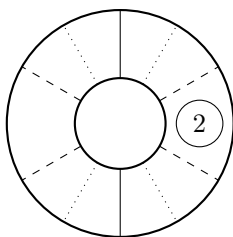
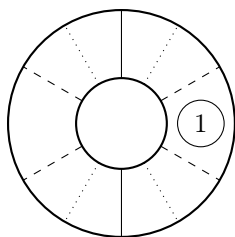
Hubbleův vesmírný dalekohled je na oběžné dráze Země už od roku 1990. Je to v podstatě předchůdce teleskopu Jamese Webba. Primární zrcadlo má v porovnání maličké, jen 2,4 metru! Přesto Hubbleův teleskop pořídil obrovské množství úžasných snímků, mnoho z nich jste již určitě viděli. Primární zrcadlo je v tomto případě z jednoho kusu a je kruhové. Jakou difrakci způsobí kruhové zrcadlo? Vyzkoušejte to! Možná vám přitom pomůže špendlík. U tohoto teleskopu drží sekundární zrcadlo tyče čtyři.



Načrtněte svůj odhad difrakční hvězdy ve fotografiích z Hubbleova teleskopu, pak si vyzkoušejte potřebné experimenty, a až pak se podívejte na skutečné fotografie z teleskopu.



DÍLY



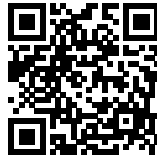
Stránka A4 s díly ke stažení je k dispozici na:



*Základ je, abyste neošálili sami sebe,
a sami sebe ošálíte nejsnadněji.*

Richard Feynman

Co si o experimentu myslíte?



Dejte nám zpětnou vazbu

Text	Eduard Šubert
Ilustrace na titulní straně	Klára Kvardová
Diagramy a ilustrace	Eduard Šubert
Korektura	Vendula Šubert, Anežka Smutná a Lubomíra Dvořáková
Testování	Vendula Šubert a Šimon Mauler
JWST	NASA, ESA a CSA



Uveďte původ-Neužívejte dílo komerčně-Zachovejte licenci 4.0
Mezinárodní (CC BY-NC-SA 4.0)

verze 2.0

 MALÉ PSÍ