Určení rychlosti světla Römerovou metodou

Informace pro učitele

Obtížnost: **4. ročník SŠ**

Cíle:
Cílem tohoto cvičení je učit rychlost světla tak, jak ji změřil Olaf Ch. Römer. Studenti si jednak procvičí základy planimetrie, a zejména pojmy zatmění či zákryt u obíhání měsíců kolem centrální planety.

Popis:
Studenti ze dvou údajů začátku po sobě následujících zatmění měsíce Io určují rychlost světla.

Standardy[1]:

- Fyzika: 1.2 (pohyb po kružnici), 1.5 (gravitační pole), 8.2 (sluneční soustava)
- Zeměpis: 1.1 (Země jako vesmírné těleso)
- Matematika: 6.1 (úhel), 6.2 (kosinová věta)

Dovednosti:

- zvládat představu pohybu po kružnici
- určování počtu uplynulých hodin mezi dvěma daty v kalendáři

Pomůcky:

- pracovní list studenta
- kalkulačka

Historický úvod:

V roce 1610 objevil Galileo Galilei čtyři největší měsíce Jupitera: Io, Europa, Ganymed a Kallisto. Galileo se rozhodl tyto měsíce využít k určování přesného času – pohyb měsíců je totiž velmi pravidelný, oběžné doby dostatečně krátké a okamžiky zatmění nezávisí na poloze pozorovatele.

Myšlenku znovuobjevil v roce 1668 Cassini. Pozorování se setkalo s úspěchem, přispěly k tomu zlepšené pozorovací přístroje a vynález hodin (Huygens, 1657).

V průběhu zimy na přelomu let 1671 – 1672 pozorovali simultánně okamžiky zatmění měsíce Io dvě nezávislé skupiny: Picard a Römer z Uraniborgské hvězdárny na ostrově Hven, dnes patřící Švédsku, a Cassini z observatoře v Paříži. Z pozorování zákrytů a zatmění měsíců Jupitera v dalších letech Römer prokázal, že rychlost světla je konečná. Důkaz byl poprvé otištěn v roce 1676 v *Journal des Scavans.*

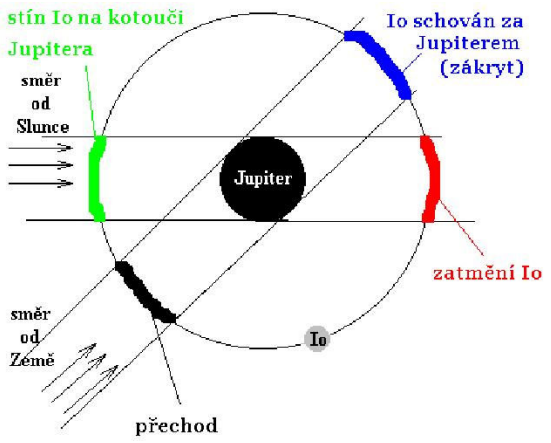
V následujícím textu předpokládáme, že se všechny pohyby těles odehrávají v rovině ekliptiky a že se Jupiter nepohybuje. Dráhy planet i měsíců jsou kruhové, pohyb rovnoměrný po kružnici.

Jak na to:

Nejprve je potřeba studenty seznámit se základními pojmy. Jako první

[1] Standardy jsou očíslovány přesně podle Katalogu požadavků ke společné části maturitní zkoušky v roce 2002 (www.cermat.cz).

úkol je určit, kdy ze Země uvidíme zatmění Io, přechod Io, stín Io na Jupiterově kotouči a Io neuvidíme, protože bude schované za kotoučem Jupitera. Tato úloha je velice jednoduchá, výsledek je vidět na obrázku 1.



Druhým úkolem je si uvědomit, kdy jsou jednotlivé okamžiky (začátek zatmění, konec zatmění) ze Země vidět – záleží zde i na vzájemné poloze Země a Jupitera. Vysvětlují se také pojmy konjunkce a opozice. Pokud uvažujeme soustavu přesně podle obrázku, potom při umístění Země mezi konjunkcí směrem k opozici vidíme začátky zatmění, konce zatmění vidíme, když se Země vzdaluje od Jupitera směrem do bodu konjunkce.

Ke konjunkci došlo 20. července 2002, k opozici dne 2. února 2003. Mezi těmito daty Země urazila na dráze kolem Slunce 180°. (Už zde se otrlý fyzik otřepe. Opravdu velmi velké zjednodušení.) Urazila tedy celkem 197 dní, jednomu dni odpovídá úhel 1,094°. Úhel φ tedy můžeme vyjádřit jako:

$$\varphi = d \,.\, 1{,}094°,$$

kde d je počet dní, které od daného okamžiku zbývají do dne opozice.

Pro vyjádření vzdálenosti Země od Jupitera použijeme kosinovou větu. Z tabulek známe hodnoty vzdáleností Země - Slunce (1 AU = 149,6 mil. km) a Slunce - Jupiter (4,2 AU). Vzdálenost Země od Jupitera pro okamžik popsaný úhlem φ je tedy

$$x = \sqrt{(4{,}2^2 + 1 - 8{,}4\cos\varphi)}$$

Jak budeme postupovat dále? Z tabulky z Astronomické ročenky 2002, kterou mají studenti ve svých pracovních listech, vybereme dva po sobě následující okamžiky námi pozorovatelného zatmění Io. Dejme tomu, že si vybereme 1.10.2002 v 3.24 a 8.10.2002 v 5.17. Časový rozdíl těchto okamžiků je T = 7,079 dne. Skutečná perioda Io je 1,769 dne, což znamená, že ve skutečnosti došlo navíc k n = 3 zatměním. Rozdíl ΔT = 0,003 dne.

Při prvním zatmění byla Země ve vzdálenosti asi 4,53 AU a při následujícím zatmění ve vzdálenosti 4,40 AU. Rychlost světla je tak 0,13 AU za 0,003 dne, neboli 73000 km/s.

Dodatky:

- Hodnota je samozřejmě velmi nepřesná, protože zanedbáváme všechno možné. Jednak se během okamžiků zatmění posunuje i Jupiter, pohyb planet není tak rovnoměrný, všechna tělesa neobíhají ve stejné rovině...
- Hodnota rychlosti světla tedy díky tak velkým nepřesnostem závisí i na tom, jaké dvě hodnoty si vezmeme.
- Ač velmi nepřesně, zjistili jsme, že rychlost světla není nekonečná.

Další nápady:

- Rozšířením úlohy může být zjištění rychlosti světla díky obíhání jiného měsíce Jupitera.
- Další možností je získat data okamžiků konců zatmění při poloze Země mezi opozicí a konjunkcí.

Pracovní list studenta
Určení rychlosti světla Römerovou metodou

Olaf Christiansen Römer se narodil 25. září 1644 a zemřel 23. září 1710. Tento význačný dánský astronom v roce 1676 jako první určil, že rychlost šíření světla není nekonečná. Tuto skutečnost odvodil na základě nepravidelností dob zatmění Jupiterova měsíce Io.

Soustava Jupiterových měsíců je velmi rozsáhlá. Zatím poslední počet měsíců je 47, ale je jisté, že číslo není konečné. Nejznámějšími měsíci Jupitera je pravděpodobně čtveřice Galileovských měsíců Io, Ganymed, Europa a Kallisto.

Základní pojmy

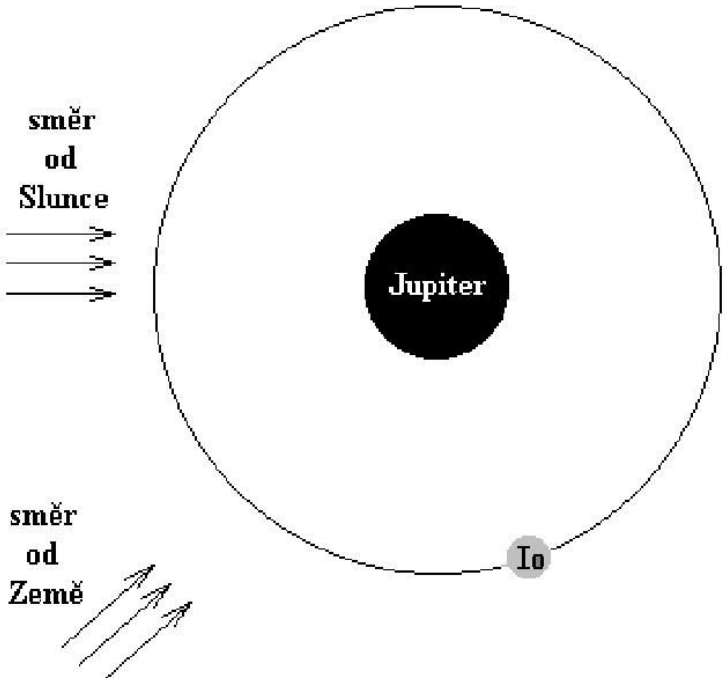
V následujícím obrázku je zachycena dráha měsíce Io kolem Jupitera. Předpokládejme, že se měsíc pohybuje proti směru hodinových ručiček. Zakreslete do obrázku ty úseky dráhy měsíce, kdy vidíme:

a/ zatmění Io - neboli tu část dráhy, kdy se měsíc nachází ve stínu Jupitera,

b/ přechod - měsíc Io přechází přes kotouč Jupitera,

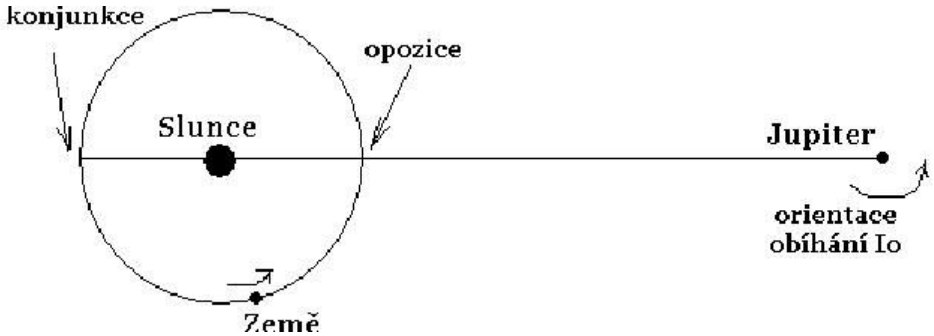
c/ stín měsíce Io na Jupiterově kotouči,

d/ pouze Jupiter, Io se schovalo za kotouč Jupitera.



Země a Jupiter

Představte si, že se díváme na sluneční soustavu shora. Země obíhá kolem Slunce rovnoměrně po kružnici, Jupiter je pro nás umístěn pevně. Kolem Jupitera obíhá Io. Podle obrázku odpovězte na následující otázky:



Kdy můžeme ze Země pozorovat začátky zatmění?

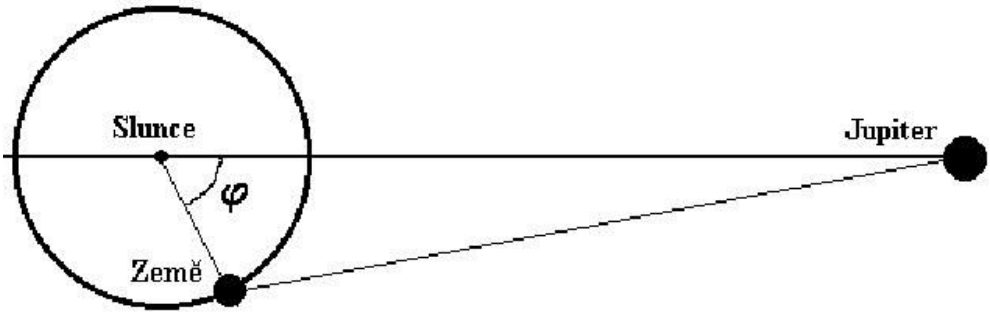
Kdy můžeme ze Země pozorovat konce zatmění?

Oběh Země kolem Slunce

Pro Römerovu metodu potřebujeme znát, jak daleko je Země od Jupitera v jakémkoli okamžiku mezi konjunkcí a opozicí. S využitím tabulky z Astronomické ročenky 2002 zjistěte následující údaje:

datum konjunkce: _____ datum opozice: _____

S využitím obrázku vyjádřete úhel φ pro jakékoli datum mezi touto konjunkcí a opozicí.



φ = _____

Vzdálenost Země od Jupitera

Určete vzdálenost Země od Jupitera pro jakékoli datum mezi konjunkcí a opozicí. Využijte známého úhlu φ a známých vzdáleností Slunce - Země a Slunce - Jupiter. (Není potřeba kosinová věta?)

vzdálenost spočteme jako _____

Römerova metoda

Olaf Römer pozoroval Io a zapisoval čas okamžiku zatmění. Tyto hodnoty máme k dispozici v tabulce z Astronomické ročenky 2002. Samozřejmě, že nemáme k dispozici všechny okamžiky zatmění, které lze pozorovat, neboť jsme omezeni jedním pozorovacím místem. Jelikož je skutečná doba oběhu měsíce Io rovna 1,769 dne, některé okamžiky zatmění připadly na den. Ty v tabulce chybí.

1/ Vyberte dva po sobě nastávající okamžiky zatmění Io z tabulky, určete jejich časový odstup T.
2/ Určete, kolikrát došlo mezi těmito okamžiky k zatměním ve skutečnosti. Počet zatmění označte n.
3/ Od hodnoty T odečtěte n-krát skutečnou periodu oběhu Io, výsledek označte ΔT.

bereme v úvahu okamžiky: _____ a _____

***T* = _____** ***n* = _____** ΔT = _____

Časový rozdíl ΔT je způsoben tím, že se Země během obou zatmění posunula. Tento rozdíl tedy odpovídá dráze, kterou muselo urazit světlo mezi dvěma polohami Země. Musíme tedy zjistit vzdálenost Země od Jupitera v obou okamžicích zatmění.

vzdálenost Země od Jupitera při prvním zatmění: _____

vzdálenost Země od Jupitera při druhém zatmění: _____

Rozdíl těchto vzdáleností urazilo světlo za čas ΔT.

Rychlost světla

Určete rychlost světla Römerovou metodou.

Úkazy Jupiterových měsíců

konjukce 20. července 2002

opozice 2. února 2003

9.	1	4	20	I OR
	2	3	2	III SI
	3	4	42	II ED
	5	3	12	II TE
	8	3	15	I ED
	9	2	53	I SE
	9	3	41	I TE
	12	3	6	II TI
	12	4	17	II SE
	13	4	0	III OR
	15	5	8	I ED
	16	2	30	I SI
	16	3	23	I TI
	16	4	47	I SE
	17	2	49	I OR
	19	4	1	II SI
	20	4	30	III ER
	20	4	46	III OD
	21	3	57	II OR
	23	2	5	IV TE
	23	4	24	I SI
	23	5	21	I TI
	24	4	48	I OR
	25	2	8	I TE
	27	4	57	III ED
	28	1	45	II ED

vysvětlivky:

I - Io
II - Europa
III - Ganymed
IV - Kallisto

E - zatmění (eclipse)
O - zákryt (occultation)
T - přechod (transit)
S - stín (shadow)

zdroj:
Astronomická ročenka 2002

10.	1	2	44	III TE
	1	3	24	I ED
	1	5	53	IV OD
	2	1	49	I TI
	2	3	2	I SE
	2	4	6	I TE
	5	4	19	II ED
	7	1	20	II SE
	7	3	35	II TE
	8	2	24	III SE
	8	3	25	III TI
	8	5	17	I ED
	9	2	39	I SI
	9	3	46	I TI
	9	4	56	I SE
	9	6	3	I TE
	10	3	13	I OR
	14	1	4	II SI
	14	3	25	II TI
	14	3	55	II SE
	15	2	52	III SI
	16	1	26	II OR
	16	4	33	I SI
	16	5	43	I TI
	17	1	39	I ED
	17	5	9	I OR
	18	1	13	IV OD
	18	1	17	I SE
	18	2	28	I TE
	18	6	5	IV OR
	19	1	22	III OR
	21	3	39	II SI
	21	6	6	II TI
	23	4	4	II OR
	23	6	26	I SI
	24	3	33	I ED
	25	0	54	I SI
	25	2	7	I TI
	25	3	10	I SE
	25	4	24	I TE
	26	0	18	IV SI
	26	0	23	III ER
	26	1	34	I OR
	26	1	51	III OD
	26	4	56	IV SE
	26	5	29	III OR
	28	6	14	II SI
	30	1	19	II ED
	30	6	41	II OR
	31	5	26	I ED

11.	1	0	57	II TE
	1	2	48	I SI
	1	4	2	I TI
	1	5	4	I SE
	1	6	18	I TE
	1	23	55	I ED
	2	0	47	III ED
	2	3	29	I OR
	2	4	21	III ER
	2	5	54	III OD
	3	0	47	I TE
	4	0	45	IV OR
	6	3	52	II ED
	8	0	41	II TI
	8	0	59	II SE
	8	3	34	II TE
	8	4	41	I SI
	8	5	55	I TI
	8	6	57	I SE
	9	1	48	I ED
	9	4	45	III ED
	9	5	23	I OR
	10	0	24	I TI
	10	1	25	I SE
	10	2	40	I TE
	10	23	52	I OR
	12	6	5	IV TI
	12	23	48	III TI
	13	3	24	III TE
	13	6	26	II ED
	15	0	43	II SI
	15	3	15	II TI
	15	3	35	II SE
	15	6	9	II TE
	15	6	34	I SI
	16	3	42	I ED
	17	1	2	I SI
	17	1	5	II OR
	17	2	16	I TI
	17	3	18	I SE
	17	4	32	I TE
	18	1	44	I OR
	18	23	0	I TE
	19	22	42	III SI
	20	1	46	IV ED
	20	2	14	III SE
	20	3	41	III TI
	20	6	33	IV ER
	20	7	17	III TE
	22	3	18	II SI