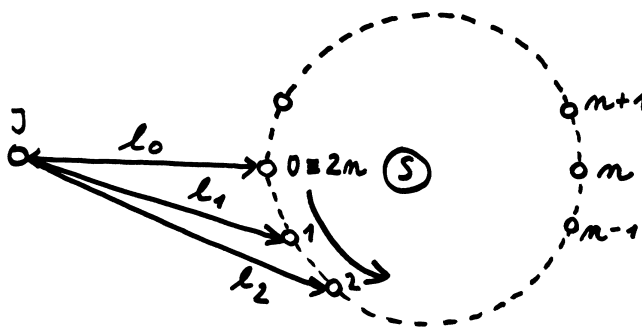


## 5. Měření rychlosti světla

### Cvičení 1 (Römerovo měření)

Obrázek znázorňuje schématický náčrt Römerových pozorování (v souřadnicové soustavě pevně spojené s Jupiterem J).



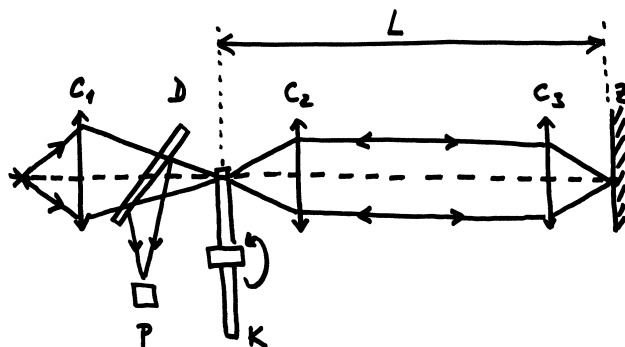
Čísly  $0, 1, 2, \dots, n, n+1, \dots, 2n$  v něm označujeme polohy Země na její dráze kolem Slunce (S) v okamžicích zákrytu vybraného Jupiterova měsíce Jupiterem (J). Těmto okamžikům odpovídají časy (teoretický Römerův "jízdni řád")

$$t_k = kT + t_0,$$

kde  $T$  je doba jednoho oběhu měsíce kolem mateřské planety a  $t_0$  čas odpovídající prvnímu pozorovanému zákrytu.

- V jakých časech  $t'_0, t'_1, \dots, t'_n, \dots$  budeme pozorovat zákryty zvoleného Jupiterova měsíce na Zemi?
- Jaké budou časové odchylky  $\Delta t_k \equiv t'_k - t_k$  mezi teoretickým "jízdni řádem" a okamžiky na Zemi pozorovaných zákrytů.
- Ve kterých fázích oběhu Země kolem Slunce se budou tyto odchylky zvětšovat a ve kterých zmenšovat?
- Ve které poloze Země bude odchylka mezi teoretickým "jízdni řádem" a pozorováním největší? Kolik bude činit, víme-li, že rychlost světla ve vakuu činí přibližně 300 000 km/s a vzdálenost mezi Zemí a Sluncem je asi 149 000 000 km?
- Römer měřil oběžnou dobu Jupiterových měsíců pomocí dvou po sobě následujících zákrytů. Podle něj je proto oběžná doba rovna např.  $T' = t'_1 - t'_0$ . Jak se tato hodnota liší od hodnoty správné ( $T$ ), víme-li, že vzdálenost Jupitera od Slunce činí 5,2 násobku vzdálenosti Země - Slunce, oběžná doba pozorovaného měsíce je  $T = 1,8$  (resp.  $T = 16,7$ ) dne a pohyb Země z polohy 0 do polohy  $2n$  trvá přibližně 1,1 roku? Je tato odchylka velká, nebo malá?

## Cvičení 2 (Fizeauova metoda)



- a) Odvodte vzorec pro výpočet rychlosti světla ve Fizeauově metodě

$$c = 4Lnz,$$

kde  $L$  je vzdálenost ozubeného kola  $K$  od zrcadla  $Z$ ,  $n$  frekvence otáčení ozubeného kola při prvním zatmění okulárového pole  $P$  a  $z$  počet zubů (mezer) na obvodu otáčejícího se kola (viz obrázek).

- b) Určete pomocí tohoto vzorce rychlost světla a odhadněte chybu výsledku, je-li  $z = 240$ , vzdálenost  $L = (10000 \pm 50)$  m a  $n = (32 \pm 2) \text{ s}^{-1}$ . Je získaný výsledek ve shodě s dnes udávanou hodnotou  $c \approx 300000 \text{ km/s}$ ?
- c) Jak by se vzorec uvedený v (a) změnil, kdybychom v něm použili frekvenci otáčení ozubeného kola při druhém, třetím či obecně  $k$ -tém zatmění okulárového pole.
- d) Pokud bychom z experimentálního uspořádání vypustili čočku  $C_3$ , zrcadlo umístěné ve vzdálenosti  $L$  od ozubeného kola by muselo být přesně kolmé k jejich spojnici. Jakou úhlovou odchylku od kolmého směru bychom v tomto případě mohli připustit, jestliže bychom se na vzdálenost 10 km chtěli "trefit" odraženým světlem do čočky  $C_2$ , jejíž průměr je 40 cm?

## Cvičení 3 (grupová rychlost)

Ukažte, že v disperzním prostředí charakterizovaném frekvenčně závislým indexem lomu,  $n = n(\omega)$ , je grupová rychlost nemonochromatického elektromagnetického záření o úhlových frekvencích blízkých hodnotě  $\omega_0$  dána vzorcem

$$v_g = \frac{c'(\omega_0)}{1 + \frac{\omega_0}{n(\omega_0)} \frac{dn}{d\omega}(\omega_0)},$$

kde  $c'(\omega_0) \equiv c/n(\omega_0)$  je fázová rychlost monochromatického záření o úhlové frekvenci  $\omega_0$ .

Dále ukažte, že v oblasti tzv. normální disperze, kdy platí  $\frac{dn}{d\omega} > 0$ , je  $v_g < c'(\omega_0)$ .

**Návod:** Použijte vzorec  $v_g = \left(\frac{dk}{d\omega}(\omega_0)\right)^{-1}$ . Uměli byste ukázat, že je tento vzorec v souladu s běžně uváděnou definicí grupové rychlosti  $v_g = \frac{d\omega}{dk}(k_0)$ ?