



PROVA PRÁTICA

7 Medindo a Velocidade da Luz

Nota: Detalhe todos os passos de seus cálculos. Respostas sem justificativa não serão aceitas.

Imagine que, num futuro distante, o Sistema Solar seja habitado por nossos descendentes. No asteroide *Saltis*, uma pequena empresa de mineração robótica é supervisionada por Celesta Spacedigger, que também é uma dedicada astrônoma amadora. Entediada com o seu trabalho, Celesta passa as longas noites de *Saltis* estudando as estrelas e planetas, em particular o glorioso planeta Saturno. Um velho mas confiável almanaque astronômico ajuda-a a tomar nota de eventos astronômicos, como os eclipses da lua Titã por seu planeta Saturno. Para sua surpresa, entretanto, Celesta começa a notar grandes desvios entre os instantes dos eclipses de Titã medidos por ela e os valores do almanaque. Após anos de cuidadosas observações (ela tinha um contrato de longo período em *Saltis*), ela começa a perceber um padrão: os desvios são maiores quando Saturno está próximo de oposição ou conjunção (com o Sol, visto de *Saltis*). Ela conclui que o fenômeno se deve à velocidade da luz ser finita, e uma checagem no almanaque confirma que o tempo tabelado é *heliocêntrico*, isto é, visto do Sol, e não visto de *Saltis*. Satisfeita com sua descoberta, Celesta usa suas observações para calcular a velocidade da luz.

Neste problema você deve repetir os cálculos de Celesta utilizando suas observações. Entretanto, as unidades de tempo e comprimento são um pouco diferentes das que você está acostumado a usar. A unidade de tempo é chamada de *pinit*, e é definida de forma que 1000 *pinit* equivalem ao período sinódico de rotação em *Saltis*. A unidade de comprimento é chamada de *seter*, e é definida como a bilionésima parte (10^{-9}) da distância média entre o Sol e *Saltis*.

Tabela 1 Eclipses de Titã por Saturno

Tabelado ¹ (pinit)	Celesta ² (pinit)	Comentário ³
456.47	450.32	Oposição
18.5	12.28	Oposição
821.41	815.29	Oposição
444.7	450.85	Conjunção
615.43	621.52	Conjunção
791.94	798.02	Conjunção

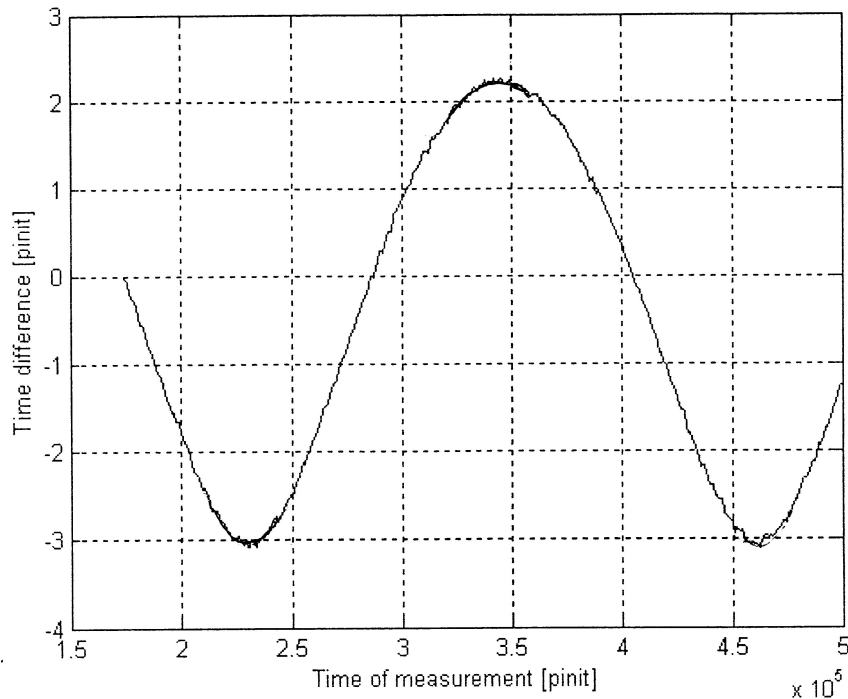
¹ Os valores tabelados referem-se a quando um observador localizado no Sol observa o início do eclipse.

² Instantes do início do eclipse observados por Celesta, de *Saltis*. Sua precisão estimada na medida do tempo é 0,03 *pinit*.

³ A posição de Saturno durante os eclipses de Titã nunca eram exatamente de oposição ou conjunção, mas bastante próximas disso.



Figura 1 Diferença entre o relógio de Celesta e o sinal de tempo medido da Terra



- 7.1. Celesta observou eclipses de Titã quando Saturno estava próximo de oposição ou conjunção em seis ocasiões (Tabela 1). Analise seus dados cuidadosamente e estime a velocidade da luz, em unidades de seter por pinit, e o erro esperado em sua estimativa. (50%)

Celesta também gostava de ouvir sinais de rádio da Terra durante seus dias solitários. Com a sua redescoberta da velocidade finita da luz, Celesta ganhou confiança para tentar medir o raio da órbita da Terra (em seter). Ela sincronizou seu relógio com precisão com um sinal de tempo em radiofrequência e regularmente acompanhou o quanto o tempo medido no seu relógio diferia do sinal de tempo periódico. Suas medidas são apresentadas na Figura 1.

- 7.2. Use os dados de Celesta da Fig. 1 para estimar o raio da órbita da Terra em seter. (20%)
- 7.3. Sendo $1 \text{ UA} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$ e $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, quantos metros estão contidos em um seter? Quantos segundos vale um pinit? (10%).
- 7.4. Estime o período orbital de Saltis, em anos, usando os dados da Fig. 1 e a resposta do item 7.3. (20%)

Atenção: Grupo I: fazer somente o problema 7 em 3 horas;
Grupo II: fazer problemas 7 e 8 em 4 horas.



8 Medindo a Massa de Saturno

Introdução

Desde que Galileu Galilei observou o anel de Saturno através de um telescópio pela primeira vez, este planeta vem sendo considerado um dos principais ícones da astronomia. O anel em si não é um corpo rígido, consistindo de inúmeros fragmentos em órbitas keplerianas em torno do planeta, conforme mostrado via espectroscopia simultaneamente por A. Belopolsky e por James E. Keeler. Os resultados deste último foram publicados no primeiro número do periódico *The Astrophysical Journal* em 1895. Nesse problema você deve reproduzir a argumentação deles usando observações recentes, e estimar a massa de Saturno.

Detalhes Observacionais

Saturno foi observado pelo *Nordic Optical Telescope* (NOT, um telescópio de 2,5 m em La Palma, Ilhas Canárias) em 25.02.2002 às 23:25 UT. Uma fenda espectroscópica foi posicionada sobre a imagem do planeta, conforme mostra a Figura 1 anexa. O espectro medido (Figura 2) mostra o espectro solar refletido no planeta. As linhas retas verticais são telúricas, isto é, linhas de absorção criadas pela passagem de luz através da atmosfera terrestre, enquanto as linhas inclinadas são linhas de absorção solar refletidas no planeta. As duas linhas de absorção mais fortes vistas no espectro provêm do NaI (Sódio neutro), nas transições D_2 e D_1 , com comprimentos de onda de 589,00 nm e 589,59 nm respectivamente.

Problemas

Nota: Detalhe todos os passos de seus cálculos. Respostas sem justificativa não serão aceitas.

- 8.1. O espectro da Fig. 2 implica que o anel de Saturno não pode ser um corpo rígido em rotação. Faça um desenho que mostre, qualitativamente, como seria o espectro se o anel girasse como um corpo rígido. (20%)
- 8.2. O período de rotação sideral de Saturno é de 10,66 h. Estime o diâmetro equatorial de Saturno usando o espectro da Fig. 2. (30%)
- 8.3. Estime a massa de Saturno a partir do espectro da Fig. 2. Se não lembrar o valor da constante gravitacional, use os dados: $1 \text{ UA} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$ e $M_{\text{Sol}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. (50%)

Você pode considerar o anel de Saturno plano e paralelo ao equador do planeta para calcular a inclinação do sistema em relação à linha de visada.

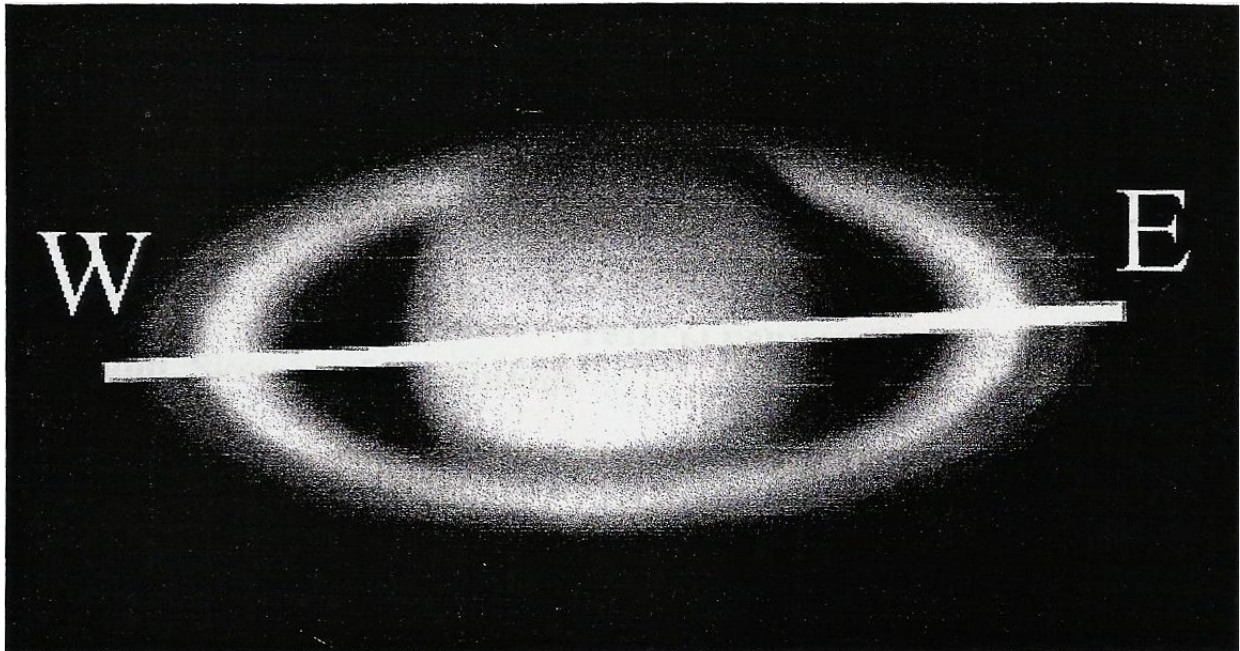


Figura 1

Posição da fenda espectroscópica em Saturno. O Oeste e o Leste estão marcados por W e E respectivamente.

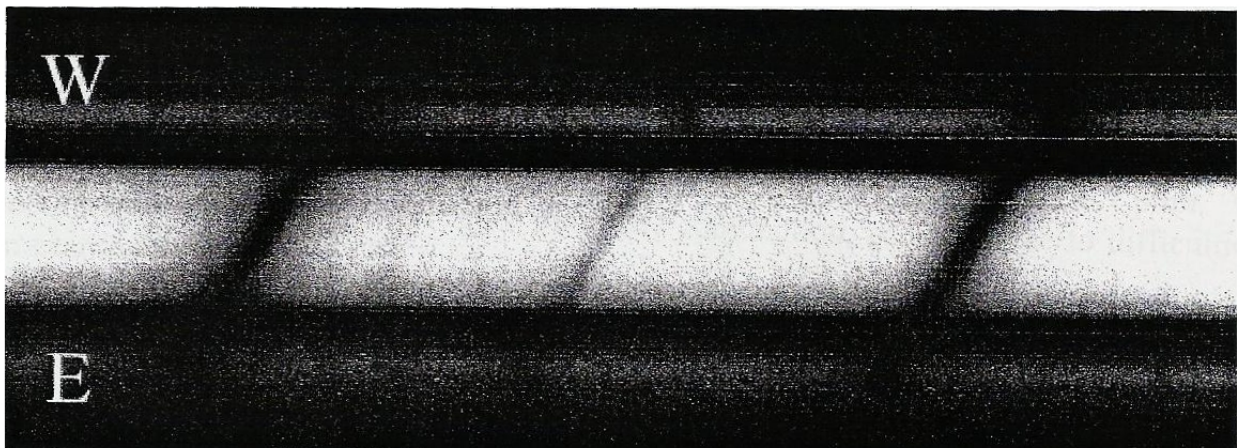


Figura 2

O espectro solar refletido em Saturno. O Oeste está acima, e os comprimentos de onda crescem para a direita.